

ANÁLISIS ESPACIAL: APLICACIONES Y RETOS PARA EL FUTURO

Por Luis Giovanni Ramírez Sánchez (et. al)

ANÁLISIS ESPACIAL: APLICACIONES Y RETOS PARA EL FUTURO

Ciudad vs. Vejez: Análisis espacial de las barreras del entorno urbano para la movilidad de los adultos mayores

Carlos Misael Rivera Sánchez¹

Juan Campos Alanís²

Hugo Montes de Oca Vargas³

Resumen

El crecimiento urbano ha aumentado las distancias entre viviendas y los bienes y servicios que demanda la población para sus actividades cotidianas, afectando especialmente a grupos vulnerables en áreas alejadas. Simultáneamente, el envejecimiento poblacional es una preocupación global, notable en el mundo y en México por la velocidad en la que se está registrando este proceso, producto de la transición demográfica registrada en el siglo XX. El Estado de México es una de las entidades federativas donde dicha transición se evidencia más significativamente dada su historia demográfica y por haber sido una de las entidades que recibieron importantes flujos de inmigrantes a raíz de la hegemonía que tuvo la Ciudad de México como centro económico y político administrativo en ese periodo, de ahí se estima que la población adulta mayor será un grupo predominante a mediados del siglo XXI.

⁸¹ El objetivo de este trabajo es analizar el papel de la estructura urbana en las posibilidades de acceso y movilidad en la población mayor de sesenta años. Los resultados muestran que la concentración de servicios en áreas con mejor equipamiento e infraestructura generan diferencias espaciales en

¹ Egresado del programa de Especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y SIG de la ¹⁵ Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico criveras299@alumno.uaemex.mx

² Profesor Investigador de tiempo completo de la Facultad de Geografía, UAEMex. Correo electrónico jc⁴⁹posa@uaemex.mx

³ Profesor-Investigador del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población (CIEAP) de la UAEMex. Correo electrónico hmontesdeocav@uaemex.mx

el acceso a las oportunidades urbanas, además de que la configuración de la red vial afecta la movilidad de los mayores.

Palabras clave: Entorno urbano, accesibilidad, infraestructura, envejecimiento demográfico

Introducción

A partir de la década de los cuarenta, México ha tenido un crecimiento urbano que se ha influenciado por distintos procesos como la concentración, invasión, sucesión, segregación, centralización y descentralización (Unikel, 1976). Lo que ha provocado un crecimiento sin una continuidad espacial y, por lo tanto, una dispersión urbana (Montejano-Escamilla et al., 2023). Además, el crecimiento de las ciudades está relacionado con el de la población. Al punto que, de acuerdo con datos el Banco Mundial (2022), el 81% de la población en el país es urbana.

De manera paralela al proceso de urbanización, México y otros países del orbe están registrando un proceso de envejecimiento demográfico acelerado que se caracteriza por la disminución de la fecundidad y mortalidad en conjunto con el aumento de la esperanza de vida (Montoya y Montes de Oca, 2006; Spijker, 2023). Esta transición demográfica hacia el envejecimiento cobra cada vez más relevancia a nivel mundial. Tan solo en América Latina y el Caribe se estima que la población adulta mayor incrementa de un 13.4% a 16.5% para el 2030 y, hasta un 30% para el año 2060 (CEPAL, 2022). Para el caso de México, se prevé un aumento de adultos mayores en el primer quinquenio de la siguiente década, población que será más longeva y conformará un grupo demográfico importante en la población mexicana (Cárdenas, 2022; Álvarez-Lobato et al., 2018; CEPAL, 2022).

Esto implica retos en la generación de políticas públicas pues como detalla Campos (2023) el envejecimiento se modifica con el tiempo y en el espacio de distinta manera. Según el autor, el Estado de México se posicionaba para el año 2000 en el lugar 29 según el nivel de envejecimiento y de acuerdo con su trayectoria demográfica, para el 2030, 2050 y 2070, la entidad se ubicará en el octavo lugar para el primer año; en el quinto lugar para el segundo y tercer año, con un 15.2%, 26.1% y 37.9% respectivamente de población de 60 años y más de acuerdo con las proyecciones de población del CONAPO (2024). Para el caso de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) el autor indica que el proceso de envejecimiento de su población residente, está replicando el patrón de crecimiento de la ciudad de Toluca.

Con la información que proporciona Aranda (2000), Sobrino (1995) y Garza (2010), se puede observar que el envejecimiento demográfico en Toluca se ha desarrollado por migración laboral a causa de la industrialización. Entre los años 60's y 70's, se impulsó el desarrollo industrial de Toluca con la construcción del corredor industrial Toluca-Lerma, fue así que técnicos especializados y obreros calificados que provenían principalmente del Distrito Federal (hoy Ciudad de México) que empezaron en asentarse en la ciudad y demandar vivienda, educación y servicios, consolidando importantes barrios y colonias obreras. Después del sismo de 1985, la Ciudad de México expulsó alrededor de 400 mil personas, de las cuales cerca de 230 mil eligieron como destino el Valle de Toluca, aún sin perder los nexos de trabajo y bienestar social que ofrece la megaurbe. Estos desplazamientos trajeron consigo transformaciones territoriales y sociales que han acelerado el proceso de envejecimiento en la ciudad.

El crecimiento urbano ha traído diversas consecuencias en cuanto a condiciones de vida de la población, siendo una de las más relevantes para este estudio, las distancias entre las viviendas y la oferta comercial o de servicios necesarios para las personas. Al haber cambios en la estructura de edad, esto traerá modificaciones en las capacidades y requerimientos actuales, así como la preocupación de no contar con las condiciones necesarias para que las personas mayores vivan saludablemente y activa en las ciudades (Ham, 2010; Garrocho y Campos, 2016; Narváez-Montoya, 2012). Estos procesos de envejecimiento demográfico y creciente concentración de la población en ciudades ha sido retomados en las agendas internacionales como temas prioritarios, por ejemplo, la Agenda 2030 y el Nueva Agenda Urbana que ofrecen iniciativas para atender el envejecimiento demográfico en los países, propone mejorar la accesibilidad de mujeres, niños, adultos mayores y personas con discapacidad, así como de abordar una planificación sensible a la edad en las ciudades (ONU 2018, pp. 51 – 53; ONU-Hábitat, 2021). En el caso del país, a nivel federal, existe la Ley General de Movilidad y Seguridad Vial que busca la ¹⁵ implementación de políticas, planes y programas en materia de movilidad que debe de favorecer a las personas.

Para el desarrollo de este trabajo, se parte de la base de que existen diversas aproximaciones para abordar el envejecimiento al interior de las ciudades utilizando herramientas de análisis espacial, trabajos que combinan índices demográficos y espaciales para identificar la distribución de la población, sus características y patrones espaciales. Autores como Florencio y Real (2019), Trujillo et al. (2022) y Mesillas (2021) proponen índices para evaluar condiciones de infraestructura urbana y del entorno urbano para la población la población envejecida. Estos

estudios previos motivan el análisis de los servicios e infraestructura urbanos y su impacto en la movilidad potencial del adulto mayor en la ciudad de Toluca. Por esta razón el objetivo de este estudio es demostrar los obstáculos que puede llegar a tener una persona mayor en la ciudad, para atender sus necesidades.

Fundamentos teóricos y conceptuales

Para este trabajo se analizan cuatro líneas temáticas que permitirán abordar el proceso de envejecimiento y la satisfacción de sus necesidades en las ciudades: primero se aborda el envejecimiento en el lugar y urbanismo gerontológico; segundo, estructura urbana y personas mayores; tercero, relacionado con envejecimiento activo, movilidad potencial y accesibilidad y; por último, teorías del space syntax. Con esta recopilación, permite contar una base teórico-conceptual para abordar el tema de los entornos urbanos accesibles y beneficiosos para la población en general y especialmente para la adulta mayor.

Envejecimiento en el lugar y urbanismo gerontológico

La definición de envejecer en el lugar se considera como el viaje del individuo para mantener su independencia en el lugar de residencia y participar en comunidad, por lo que envejecer debe observarse como un proceso personal de involucrarse en el espacio, comunidad y conservar su independencia (Rogers et al, 2020, p. 9). Este concepto según Cárdenas (2021), puede explicarse en cuatro dimensiones: el primero se relaciona hacia los aspectos psicológicos y sociales de los adultos mayores en vivencia del lugar; el segundo desarrolla las percepciones de la población sobre el entorno y sus preferencias de interacciones sociales; el tercero se relaciona con el espacio por distintas escalas y; por último, el estructural se deriva de los elementos de diseño urbanos y disponibilidad de infraestructura, para implementar políticas públicas en temática de vivienda, movilidad y urbanización.

Ante estos factores se origina el urbanismo gerontológico cuyo fin es adaptar los entornos urbanos ante una población envejecida y vulnerable (Bello, 2013; García-Valdez et al, 2019). Existen tres principales campos de estudio del urbanismo para las personas mayores; el campo cuantitativo donde se analiza la distribución de la población urbana y su relación con procesos urbanos. El segundo trabaja con las percepciones de las personas mayores en las ciudades, analizando su habitabilidad e identidad, así como la vida cotidiana del individuo. Por último, está

el enfoque propositivo en el diseño urbano y de política pública que coadyuven en el bienestar de las personas mayores (Cárdenas, 2021).

El urbanismo gerontológico es un elemento clave para el análisis de los cambios en grupos de edad y en los elementos urbanos, pues según Cardo (2021) este tipo de urbanismo aborda las temáticas: desplazamiento y transporte, espacios públicos y áreas verdes, equipamiento y servicios, y vivienda. Los cuales garantizan la accesibilidad, seguridad y adecuación de los espacios, promoviendo su independencia y bienestar. promoviendo su independencia y bienestar. Lo que evita la existencia de diferencias territoriales a causa del envejecimiento y el enfoque de programas para este sector (Narváez-Montoya, 2012; García-Valdez et al, 2019; Sánchez, 2007).

Para esta investigación se retoma el concepto de la estructura urbana de Zoido et al. (2000) y Ducci (1990) el cual se refieren a ⁷⁵ una serie de elementos físicos destinados a la realización de actividades y son primordiales en la conformación de la ciudad como lo son las vialidades, equipamientos, infraestructura urbana, áreas verdes y zonificaciones, que se relacionarían con las temáticas de intervención del urbanismo gerontológico.

Estructura urbana y adultos mayores

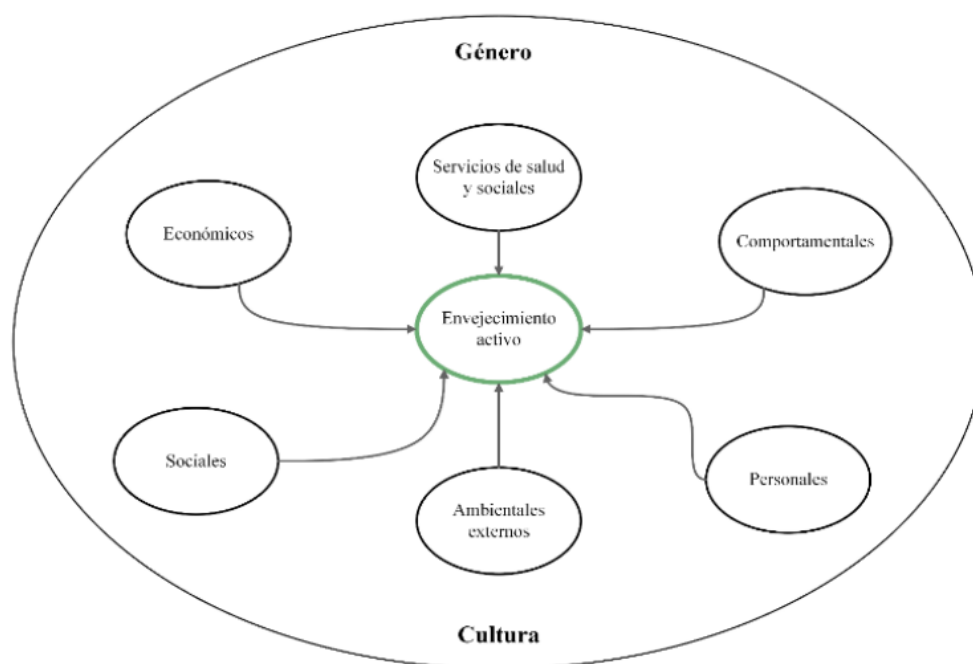
El desplazamiento de los adultos mayores está condicionado a la estructura urbana. Por ejemplo, si prevalece condiciones desfavorables en el entorno como banquetas estrechas, automóviles que bloquean las aceras, poca o nula iluminación en la calle generan sentimientos de inseguridad a este grupo de edad (Rivera y González, 2024). Igualmente, el mal diseño o la ausencia de la infraestructura obstaculiza el confort y seguridad del adulto mayor al no contar con elementos necesarios para este grupo como la existencia áreas verdes y de descanso, sanitarios públicos, señalización clara, aceras sin obstrucciones o transporte público que este adecuado para personas con sillas de ruedas, así como medidas de seguridad vial (Cortés-Topete y Tavares-Martínez, 2022; Pérez y Viramontes, 2022). Por lo tanto, las recomendaciones para abordar el cambio de las ciudades hacia un enfoque de ciudades amigables con el envejecimiento es la adecuación de banquetas, existencia de rampas, la creación de entornos de tranquilidad, seguridad y de confort térmico, la señalización adecuada para peatones y cruces seguros (De la Rosa y Castañeda, 2018).

Envejecimiento activo

El envejecimiento activo se refiere a mejorar la salud, la participación y la seguridad para aumentar la calidad de vida en la vejez (WHO, 2002). Por lo que las políticas derivadas de esta definición es que los adultos mayores mantengan su autonomía el mayor tiempo posible (Garrocho y Vilchis, 2021). En la figura 1 se observa los determinantes esenciales para reconocer e implementar políticas enfocadas al envejecimiento activo. No obstante, tal como desarrolla Marzo et al. (2023) y WHO, (2002) que si los determinantes transversales de género y cultura no son atendidos las desigualdades persistirán en este grupo de edad.

Figura 1

Factores del envejecimiento activo



Fuente: OMS (2007)

Movilidad potencial y accesibilidad

En este apartado se define a la movilidad como la acción de trasladarse entre diversos puntos con el fin de realizar una actividad necesaria y cotidiana (Reyes et al., 2019). No obstante, para el adulto mayor, la deficiente infraestructura y las condiciones de los sistemas de movilidad y servicios urbanos generan barreras que aíslan a este grupo de edad, lo que conlleva a un

aislamiento involuntario y, por ende, afectaciones en la salud de las personas mayores (Cinderby et al., 2018; Garrocho y Vilchis, 2021).

Por otra parte, la accesibilidad es entendida como la oportunidad de actividades mediante la realización de viajes eficaces y que favorece la visita al mayor número de lugares posibles en el viaje (Reyes et al, 2019; Miralles-Guasch, 2002). Este concepto está asociado a las actividades económicas, distribución poblacional y la configuración de la red vial, por lo que es fundamental medir la posibilidad de desplazamientos con base en la oferta de espacios e infraestructura para cada tipo de traslados (Pereira y Herszenhut, 2023; Herce, 2009).

Otro aspecto por considerar son las dinámicas y características urbanas que influyen en la movilidad y calidad de vida de los habitantes. De acuerdo con Bazant (2020) clasifica los espacios urbanos en cinco categorías. La primera son los centros urbanos típicamente coloniales, que concentran actividades administrativas y comerciales, resultando en una alta población flotante. El siguiente son las colonias céntricas, valorizadas por su accesibilidad, se remodelan para usos mixtos, incrementando también la población flotante. Continúa con los corredores urbanos, con intenso tránsito vehicular y peatonal, albergan numerosos comercios, aunque los vendedores ambulantes pueden obstruir la movilidad. Los pueblos conurbados se transforman en subcentros urbanos debido a la expansión de la ciudad. Finalmente, las colonias consolidadas, conectadas por vialidades principales, soportan una gran carga funcional y acceso a servicios urbanos. Esta clasificación ayuda a comprender las dinámicas urbanas y su impacto en la movilidad y calidad de vida de los adultos mayores.

Por último, es importante de mencionar la clasificación de un sistema vial. Para ello, se retoma la aproximación de Reyes y Cárdenas (2018) que, habitualmente se clasifica en tres grupos: primarias, secundarias y locales, cada una tiene un nivel de grado de movilidad y accesibilidad. Por ejemplo, las calles principales favorecen la movilidad en diversos puntos de la ciudad y conectan por vías rápidas o carreteras. Las vialidades secundarias mantienen un equilibrio entre movilidad y accesibilidad, al repartir el tránsito hacia las calles locales y principales. Por último, las calles locales aproximan los viajes hacia residencias o hacia el comercio o la industria.

Teorías del Space Syntax

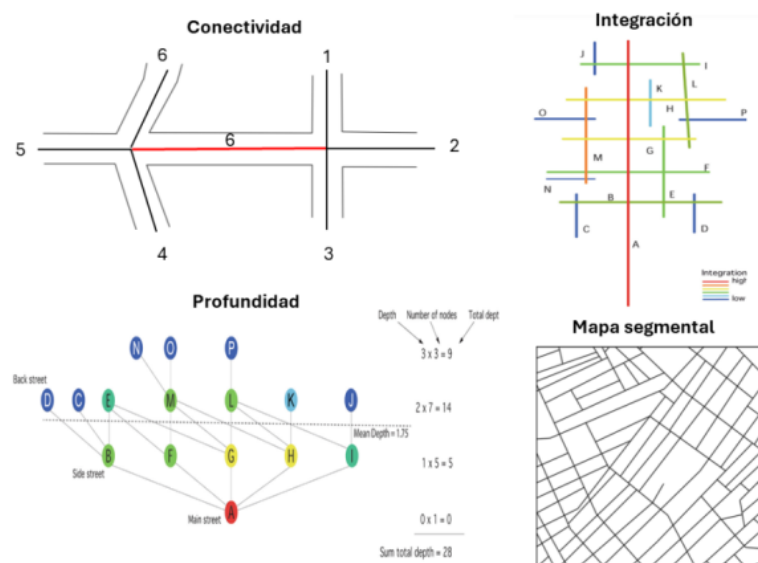
El Space Syntax es un método y a la vez una teoría relacionada con la forma urbana, donde sus aplicaciones son en estudios de diseño urbano y arquitectura con el fin de comprender la

configuración espacial y el desplazamiento de las personas (Koohsari et al, 2016). Adicionalmente la teoría está basada en los principios espaciales sobre qué tan céntrico es un elemento en un espacio definido, su extensión, las relaciones de vecindad y densidad (Yamu et al., 2021).

Entre los conceptos fundamentales del Space Syntax, según Paranaiba (2018) se encuentran la **conectividad**, que mide el número de conexiones que tiene una calle con sus calles vecinas, en otras palabras, la conectividad facilita el desplazamiento a lo largo y ancho de la una ciudad. La **integración** es la accesibilidad de una calle con respecto a las demás; mientras que la **profundidad** hace referencia a cuantas calles hay que atravesar para llegar al destino determinado; la **elección angular** hace referencia a la accesibilidad de las calles considerando su angularidad, es decir, cuantas veces se hace un cambio sustantivo de dirección para llegar a un destino; por último, el **mapa segmental** que es una representación de la red vial mediante nodos y segmentos conectados. En la figura 2 se puede observar un ejemplo de estos conceptos de la sintaxis espacial. Otro concepto importante es el **radii** que es un atributo que nos permite medir la red vial bajo criterios de topología, geometría y distancia. Para este estudio, se destaca el **radii métrico** que mide la integración de una línea según su conexión con otras dentro de una distancia específica en la red.

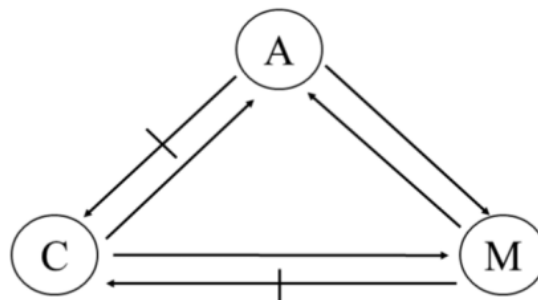
Una teoría relevante de la sintaxis del espacio es el del movimiento natural. Las nociones básicas de esta teoría se ejemplifican en la figura, 3 que demuestra las conexiones entre la configuración espacial (C) los puntos atractivos (A) y los desplazamientos (M). Según Hillier et al. (1993) las atracciones puntuales y los movimientos influyen mutuamente entre sí, a mayor presentación de sitios atractivos mayor son los movimientos, pero, estos dos o influyen en la configuración espacial. Por el contrario, la morfología urbana influye en la ubicación de las actividades y, por lo tanto, en los desplazamientos.

Figura 2. *Conceptos principales del space syntax*



Fuente: van Nes y Yamu (2021)

Figura 3. *Triada de la configuración, atractores y movimiento*



Fuente: Hillier et al., 1993

Metodología para el análisis del envejecimiento y el entorno urbano

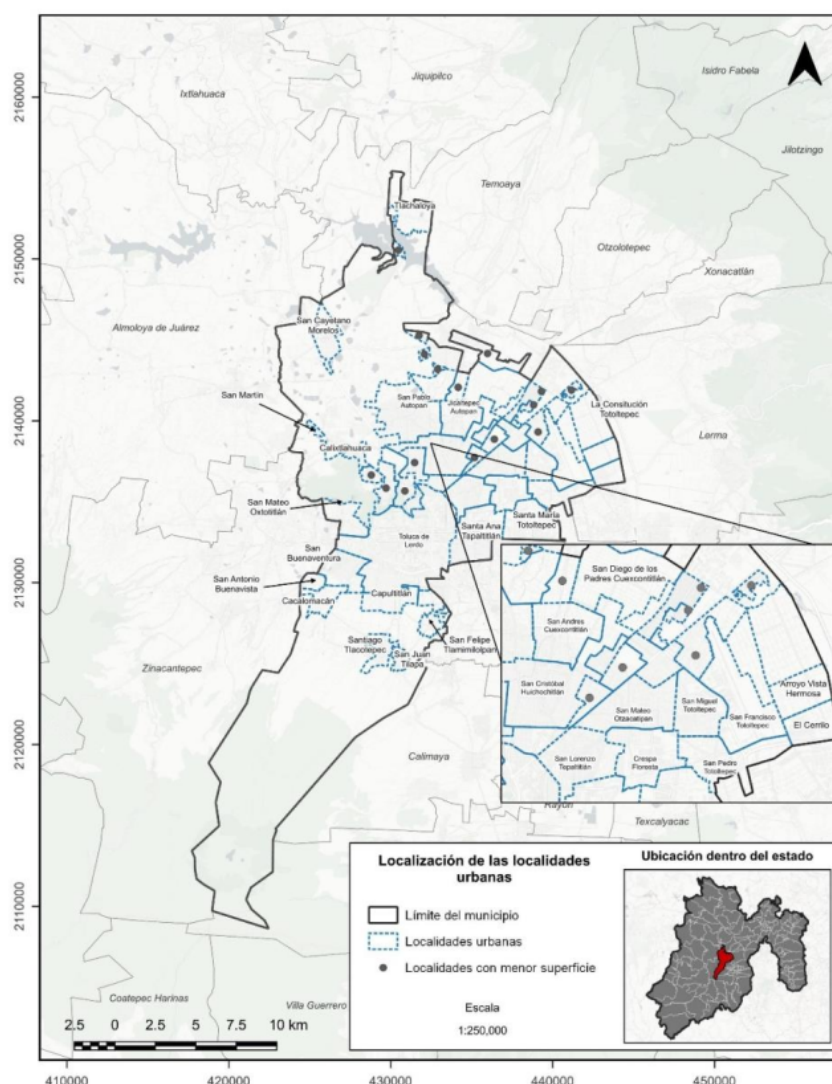
El alcance de esta investigación es cuantitativo por lo que se obtienen datos socioeconómicos para describir y explicar la movilidad de las personas mayores y estructura urbana. Para esto, esta investigación se consideró a 7,910 manzanas urbanas como universo, ubicadas en 51 localidades urbanas del municipio de Toluca, las cuales se observan en la figura 4,

las que están representadas puntualmente son las que tienen una menor superficie. Por ejemplo, las que están cercanas a Toluca de Lerdo corresponden a Santiago Tlaxomulco y Santa Cruz Azcapotzaltongo, al norte de estas dos se sitúan las localidades de San Marcos Yachihuacaltepec (el cual colinda con Calixtlahuaca) y Santiago Miltepec.

Los lineamientos de este estudio son el análisis espacial, entendido como el conjunto de técnicas y modelos con los que es posible explotar los datos espaciales (Olaya, 2020). Por ello, se retoman los principios que Buzai y Montes (2021) establecen como asociados a ¹⁰¹ la ciencia geográfica: localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial, evolución espacial y globalidad territorial. Tomando en cuenta estos principios es posible el análisis de la vejez y el entorno urbano.

Para analizar datos demográficos se consideró como población adulta mayor a las personas de 60 años o más. La organización de este estudio consiste en cuatro fases, en cada una se procesa diversos datos censales o espaciales para un análisis robusto de los entornos urbanos y la población objetivo. En general, los softwares utilizados para el procesamiento de datos fueron SPSS 21, Excel y el software de sistema de información geográfica Qgis 3.28. Las actividades de cada fase se explican a continuación.

Figura 4. Localización de localidades urbanas del municipio de Toluca, 2020



Nota: Mapa base de CartoDB. Fuente: elaboración propia con base en Marco Geoestadístico, INEGI (2020)

Fase 1. Condiciones sociodemográficas y espaciales

En esta fase la principal fuente de información fueron los censos poblacionales de los años 2010 y 2020, así como de la encuesta intercensal 2015 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Con estos datos, se obtuvieron las condiciones sociodemográficas de la población adulta mayor, tasas de crecimiento, e índices demográficos. Este último insumo, se

obtuvo de acuerdo con la información de Huenchan (2021) que se integra en el documento ⁸⁶ “*Indicadores sobre envejecimiento y personas mayores en Centroamérica, México y el Caribe hispano*”. Con esta revisión, los índices aplicados fueron el índice de envejecimiento, envejecimiento interno y razón de dependencia.

- Índice de envejecimiento: Mide la cantidad de población ⁵⁵ de 60 años y más por cada 100 menores de 14 años.
- Razón de dependencia demográfica: Calcula la población mayor de 65 años por cada 100 personas de 20 a 64 años.
- Índice de envejecimiento interno: Representa la proporción de ⁵⁵ personas de 80 años y más con respecto a las de 60 años y más.

Para calcular la tasa de crecimiento poblacional se utilizó la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\ln \frac{P_1}{P_0}}{t} * 100$$

Donde:

- $\ln \frac{P_1}{P_0}$ = Logaritmo natural de la población final entre la población inicial.
- t = tiempo intercensal, tomando en cuenta el día medio del levantamiento de la información.

Para identificar espacialmente las manzanas que cuentan una mayor cantidad de adultos mayores se realizó la solicitud de información a INEGI. Con los datos obtenidos, se calcularon el índice de envejecimiento y envejecimiento interno. Una vez hechos estos indicadores se estratificaron por el método de Dalenius y Hodge. El cual consiste en estandarizar los datos para minimizar la varianza de cada estrato. Para llevarlo a cabo, se siguió el procedimiento que establece INEGI (2010) y Campos (2009). El resultado fueron la obtención de tres estratos para el índice de envejecimiento y cinco para el envejecimiento interno. Cabe mencionar importante que se eliminaron los casos que no incluían ningún grupo de población considerada para el índice. Por lo que, se observó una diferencia de valores perdidos, es así como para el índice de envejecimiento se contaron con 4619 valores válidos y envejecimiento interno con 1136. Es por ello, que en la

visualización cartográfica existen áreas sin resultados pero que son referentes de las zonas donde se localizan.

Fase 2. Entorno amigable para la población adulta mayor

El análisis del entorno amigable que facilite la movilidad de los adultos mayores, consistió en la selección de variables a partir de la revisión en el apartado teórico de este trabajo, que describen los requerimientos urbanos apropiados para el adulto mayor. Una vez identificadas las variables para el grupo de edad, se seleccionaron las correspondientes a la documentación de *Características del Entorno Urbano* de INEGI (2021) para la elaboración del producto cartográfico. Además de añadir variables que la propia documentación integra y que se valoraron como apropiadas para el modelo (tabla 1).

Tabla 1. *Variables del índice del Entorno Amigable para la Población Adulta Mayor*

Grupo	Número	indicador
Confort, seguridad y accesibilidad	1	Número de vialidades con pavimento o concreto
	2	Número de vialidades con banquetas
	3	Número de vialidades con árboles o palmeras
	4	Número de vialidades con alumbrado público
	5	Número de vialidades con rampa para silla de ruedas
Señalización vertical y horizontal	6	Número de vialidades con paso peatonal
	7	Número de vialidades con letrero con nombre de la calle
	8	Número de vialidades con parada de transporte colectivo
Movilidad segura y accesibilidad	9	Número de vialidades sin teléfono público
	10	Número de vialidades sin puesto semifijo
	11	Número de vialidades sin restricción del paso a peatones
	12	Número de vialidades sin puesto ambulante
	13	Número de vialidades con transporte colectivo

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2021).

Después, se realizó la estandarización de los indicadores para el índice sintético por el método de componentes principales (PCA). Según Buzai (2015) el PCA facilita en la extracción y simplificación de variables al reducir la dimensionalidad del problema, lo que puede presentarse como una síntesis de la distribución espacial. Al calibrar el modelo, a partir del segundo

componente la varianza total explicada de este es del 52%, por lo que se considera válido el modelo, además que contiene una carga importante de elementos para personas mayores, como restricciones a peatones, puestos comerciales, banqueta y pavimentación. Posteriormente con el método de Dalenius y Hodge se obtuvo cinco estratos que se clasificaron como valores de muy baja a muy alta amigabilidad del entorno.

Después de estimar el índice resumen de calidad del entorno urbano, se realizó un análisis de autocorrelación espacial aplicando el índice de Moran. Según Buzai y Montes, (2021) este análisis indica que el existe una relación del espacio geográfico, pero los lugares con mayor cercanía tienen relaciones más fuertes. Por lo que podemos esperar tres resultados según los autores: 1) una similitud cuando las unidades espaciales tienen valores similares y obtenemos una agrupación espacial positiva 2) una disimilitud cuando los valores son diferentes, en este caso se observará una autocorrelación negativa y 3) una aleatoriedad cuando exista una autocorrelación espacial observable. Para aplicar el índice de Moran univariante se utilizó el software GeoDa 1.22. Los resultados incluyeron el diagrama de dispersión de la variable y los mapas LISA (Local Indicators of Spatial Association) y valores de significancia.

Fase 3. Accesibilidad potencial a servicios urbanos para el adulto mayor

En esta sección se demuestra cómo se elaboró el índice de accesibilidad potencial a partir de cuatro servicios que se consideraron apropiados para el grupo de edad, estos son los servicios urbanos de abastecimiento, de salud, financiero y parques urbanos. Para esto, se aplicó el modelo de accesibilidad potencial utilizado en Campos-Alanís et al. (2020) .

$$Acc = \sum_{i=1}^j \frac{I_j}{Pob_{UP} dij^b}$$

Donde:

- ²¹ Acc = indicador de accesibilidad potencial
- I_j = Atractividad de las unidades de servicio
- Pob_{UP} = Población que es usuaria potencial de los servicios, en este caso, el total de las personas de 60 años o más del municipio.

- d_{ij} = Distancia lineal entre el centroide de cada manzana i , considerada como los lugares origen de la población usuaria y, como destino, las unidades del servicio j .
- b = Parámetro que refleja la sensibilidad de los usuarios ante cambios de los costos de transporte.

Previamente de aplicar la fórmula, se obtuvieron de manera puntual los centroides por manzana y el de los servicios. Una vez que se creó los datos puntuales se generó una matriz de distancias lineales estándar de cada centroide hacia la localización del servicio con el software QGis. Después se trabajó la matriz en una hoja de Excel para realizar las operaciones del índice. Los resultados obtenidos fueron la accesibilidad por manzana o “calidad urbana” y al del servicio como “desempeño urbano”, que retoma la conceptualización de Campos-Alanís et al (2020).

En la tabla 2 se representa las categorías de servicios urbanos elaborados para el índice de accesibilidad potencial, así como fuentes de información y atraktividad del servicio. En resumen, las fuentes secundarias consultadas son el Catálogo de Clave Única de Establecimientos de Salud (CLUES) para su año 2022, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del año 2023 y el Plan Municipal de Desarrollo Urbano (PMDU) del año 2018 del municipio. En el caso de los mercados se realizó la búsqueda de los mercados o tianguis fijos y central de abastos en el municipio. La atraktividad en cada servicio fue distinta de acuerdo con su capacidad de atención, por ejemplo, en los de la salud se consideró el número de consultorios y los turnos de atención, este último, siguiendo la norma de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) para los centros de salud.

En el caso de supermercados y tiendas al mayoreo se utilizó el número promedio de personal ocupado. Con respecto a los mercados se consideró un factor de atraktividad la superficie total de la edificación. Esta misma premisa fue aplicada para el servicio de parques urbanos, en este punto, se decidió realizar el índice de parques exclusivamente de los más representativos para la ciudad, en el se incluyen el Parque Sierra Morelos, Parque Metropolitano Bicentenario y Alameda Central.

Tabla 2 . Fuentes y atraktividad de servicios urbanos para el índice de accesibilidad

Servicio	Categoría	Atractividad	Fuente de información
Salud de primer nivel público	Turnos de atención	CLUES,2022	

	Salud de primer nivel privado	Turnos de atención	CLUES, 2022
	Farmacias	Promedio de personal	DENUE, 2023
Abastecimiento	Mercados públicos y central de abastos	Superficie construida	Digitalización de áreas de abastecimiento en el municipio.
	Supermercados y tiendas al mayoreo	Promedio de personal ocupado	DENUE, 2023
Financieros	Unidades referentes banca múltiple, cajas de ahorro, montepíos y unidades de crédito	Promedio de personal ocupado	DENUE, 2023
Parques	Parques populares del municipio	Superficie construida	PMDU, 2018

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el índice sintético de accesibilidad potencial al sistema de servicios que conjunta las siete variables de accesibilidad potencial de cada sistema de servicios. Nuevamente, con el método de PCA, la varianza a partir del segundo componente es de 74.7% siendo un valor factible para el indicador. Una vez aprobado el modelo se aplicó el método de valor índice medio para la clasificación de los datos. Este método es propuesto García De León (1989) y es de utilidad para identificar la semejanza entre unidades espaciales para formar subconjuntos.

Fase 4. Space syntax

En esta última fase se desarrollaron los índices del Space Syntax, específicamente *choice* e *integration*. Primero, se obtuvo la red vial de Open Street Map del año 2023 y se realizó una limpieza topológica de esta con el software ArcGIS 10.8. Después de validarse la topología, se importó la información al software DepthmapX 0.8 donde se realizó un análisis segmental considerando un radio de n para calcular la distancia métrica total de la red.

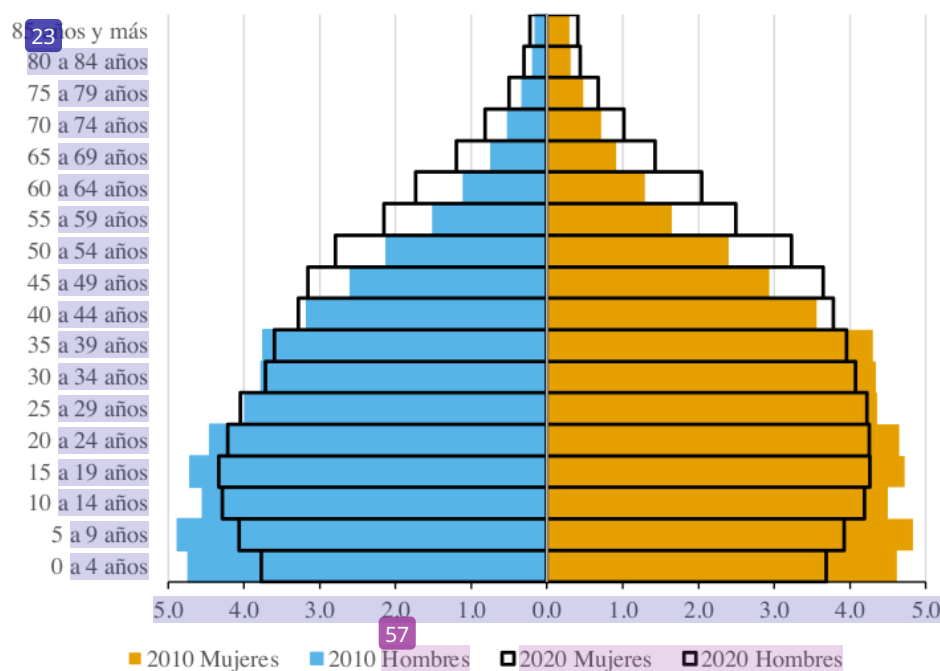
Ciudad vs. Vejez: resultados y discusión sobre las barreras urbanas para los adultos mayores

En este apartado se hace una ajustada revisión de la participación porcentual que tiene la población adulta mayor con respecto a la población total del municipio. Para 2010 el municipio de Toluca registró una población de 819 mil 561 y que pasó a 910 mil 608 en el 2020. En cuanto a la

población de 60 y más años, en el 2010 se registraron 57 mil 691 personas de este grupo de edad. Una década más tarde esta cifra ascendió a 98 mil 137 personas. Al estimar la tasa de crecimiento medio anual del periodo censal 2010-2020, se identifica que el municipio registró un ritmo de crecimiento bajo del 0.83%, en contraste, el subgrupo de adultos mayores para el mismo periodo registró un ritmo de crecimiento de 5.05 % anual. En otra palabra, el grupo de personas mayores aumentan su ritmo de crecimiento 6 veces más rápido que la población total del municipio. Al calcular el tiempo de duplicación de la población mayor, se espera que para el 2034 los adultos mayores representen el doble de lo registrado en el 2020.

En cuanto a la estructura de la población, la pirámide demográfica por grupos quinquenales y sexo (figura 5), muestra la transición hacia el envejecimiento demográfico del municipio de Toluca. En ella se observa una clara reducción de población entre los grupos de 0 a 24 años en la década la representar del 46.7% al 41% de la población total. En contraste, la participación porcentual de los adultos mayores pasó del 7.0 al 10.8% en el mismo periodo. Se puede establecer visualmente, la notoria transición demográfica hacia el envejecimiento, pues aumenta la participación de los grupos de edad madura y adultos mayores, mientras que se reducen los grupos quinquenales de la base de la pirámide, que se transforma de una pirámide progresiva a una estacionaria.

Figura 5. *Pirámides poblacionales por sexo y grupos quinquenales de edad del municipio de Toluca, 2010 y 2020.*



Fuente: Elaboración propia con base en el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010) y el Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020)

En la tabla 3 se presentan algunos indicadores demográficos sobre los adultos mayores. El índice de envejecimiento en el 2010 fue de 25 adultos mayores por cada 100 jóvenes, para el 2020 esta cifra aumentó significativamente a 45.1 por cada 100 jóvenes. Para el caso de la razón de dependencia demográfica, se observa el aumento de población de esta población que pasó de 8.3 personas dependientes por cada 100 en edades productivas a 11.6, cifra que se explica principalmente por el incremento de los adultos mayores más que por la población infantil. Finalmente, el envejecimiento interno indica que no hay una variación significativa entre los dos periodos. Para el primer año cerca de 14 personas eran mayores 80 años, mientras que una década después esta cifra se reduce levemente para registrar cerca de 13 personas. Lo mismo sucede con la población de mujeres del municipio, mientras que la de hombres se mantiene constante. En resumen, los datos generales muestran que la población municipal ha envejecido significativamente en el periodo analizado. Al haber un mayor número de población envejecida y dependiente, se requerirán de políticas orientadas en atender sus necesidades salud, cuidado y pensión.

Tabla 3. *Índices demográficos sobre el envejecimiento*

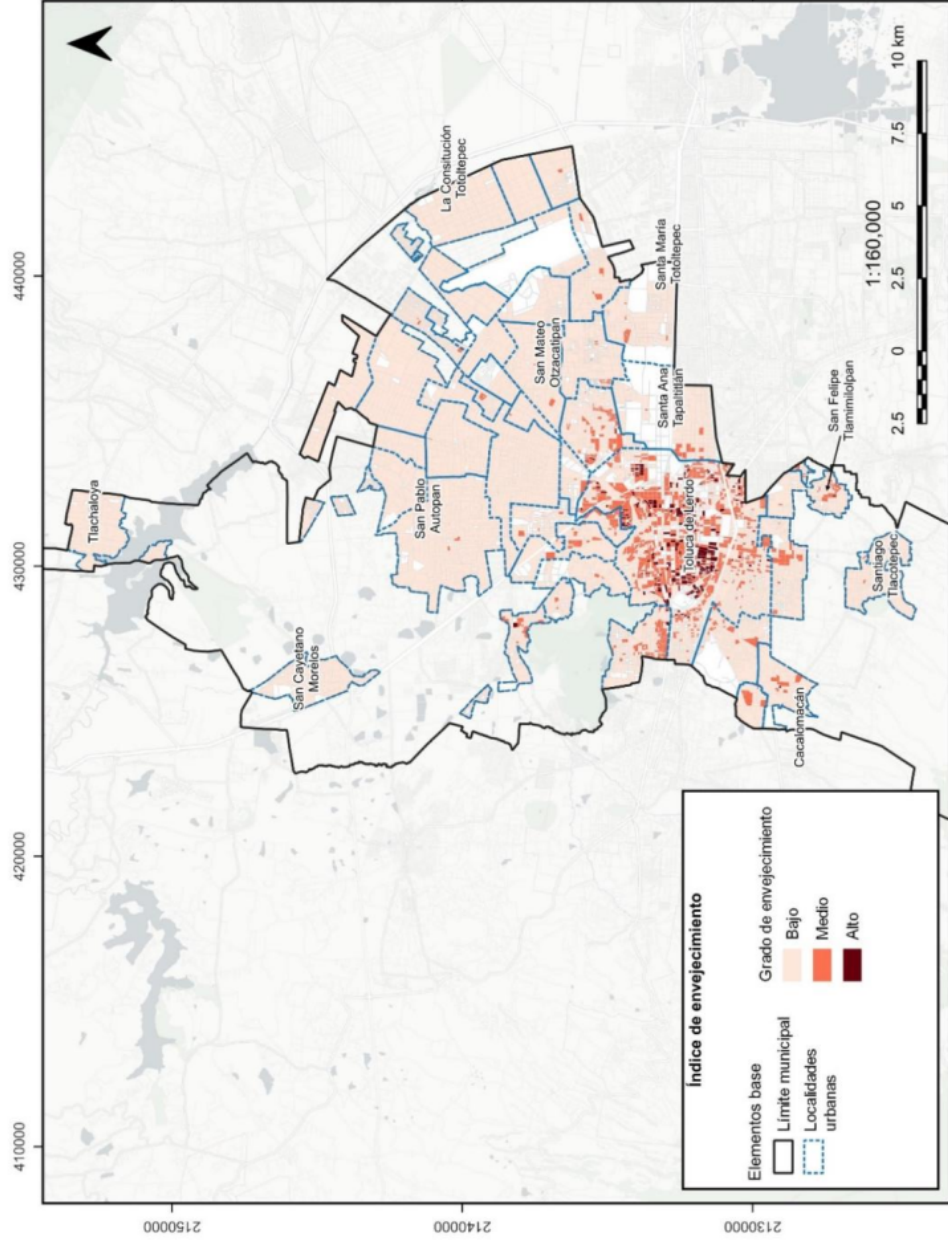
Índices	2010			2020		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Envejecimiento	25.0	10.8	14.3	45.1	19.9	25.1
Razón de dependencia	8.3	3.4	4.9	11.6	5.0	6.6
Envejecimiento interno	13.5	4.8	8.7	12.7	4.9	7.9

59

Fuente: Elaboración propia con base en el [Censo de Población y Vivienda 2010 \(INEGI, 2010\)](#) y el [Censo de Población y Vivienda 2020 \(INEGI, 2020\)](#)

En la figura 6 se muestra el índice de envejecimiento por manzana. El gráfico revela una concentración de población en edad avanzada en Toluca de Lerdo, colindando con las vialidades de Paseo Tollocan y Paseo Matlazincas y que disminuye conforme se aleja a las periferias. Estas vialidades, en los inicios del crecimiento urbano marcaba el límite de la ciudad, ahora tienen un carácter de circulación interurbana y comunicador de carreteras (Hoyos-Castillo y Camacho-Ramírez, 2010). Al norte se encuentra una menor cantidad de zonas envejecidas. Al disminuir la escala se observa que el envejecimiento se ha dado alrededor de los ejes estructurantes como Paseo Colón, esta vía que fue un eje de expansión al sur de la ciudad (Liévanos, 2016).

Figura 6. Índice de envejecimiento de las localidades urbanas de Toluca, 2020.

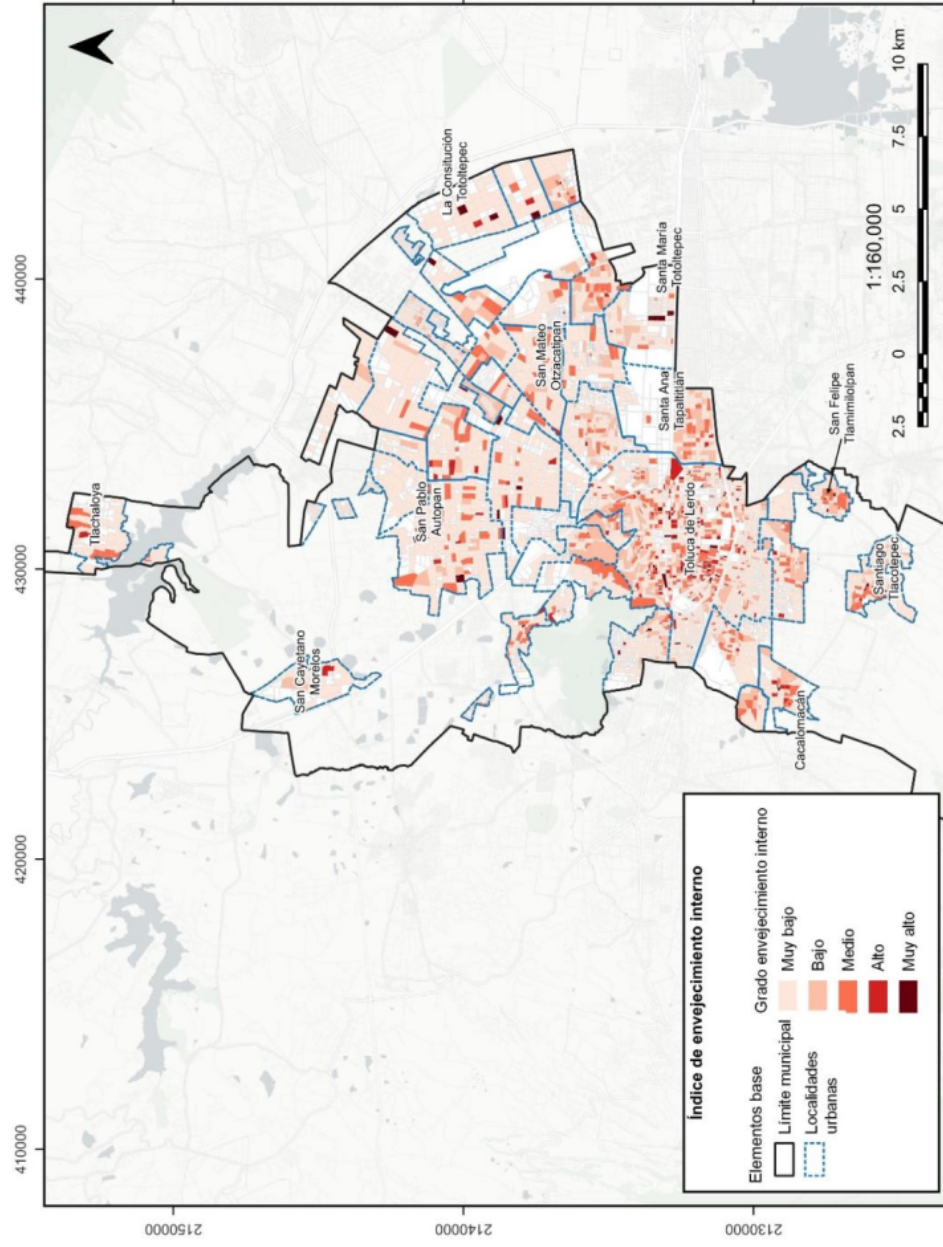


Nota: Mapa base de CartoDB. Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por INEGI

Para el índice de envejecimiento interno, se toma como ejemplo la localidad de Santa Ana Tlapaltitlán (véase figura 6 y 7 de esta zona). Al visualizar el índice de envejecimiento nos indica que es un área que está rejuveneciendo, Al tener un nivel bajo de adultos mayores nos demuestra que existe una mayor cantidad de jóvenes y en edad productiva en la localidad. Ahora bien, el envejecimiento interno nos señala que se mantiene una concentración en el centro de la localidad con población mayor a 80 años. En la localidad analizada prevalecen valores medios, es decir que las personas mayores habitantes de esta demarcación tienen una edad superior a los 80 años, lo que aporta información relevante para implementar políticas más adecuadas al grupo de edad.

Las figuras del envejecimiento y el envejecimiento interno nos señalan que los valores altos siguen el patrón del proceso histórico de expansión urbana de Toluca. En la zona sur hay una mayor agrupación de envejecimiento interno a comparación de la zona norte. Esto se debe principalmente a que, en la época de la industrialización de la ciudad, la instalación de la industria sobre el corredor Toluca-Lerma influyó en la localización de barrios obreros en las colindancias del mismo.

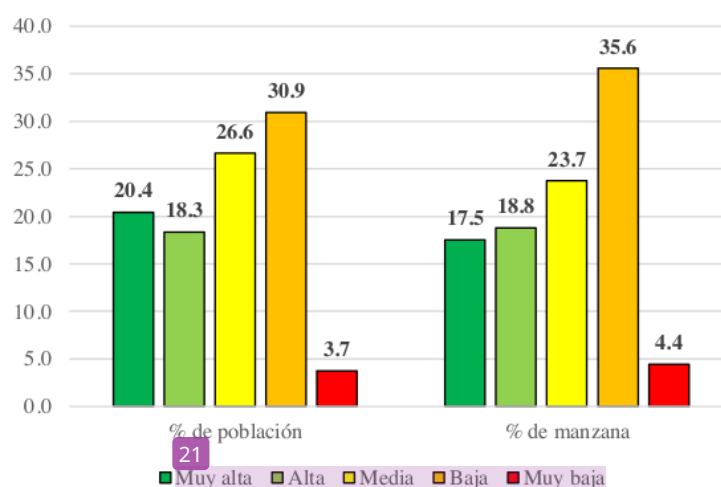
Figura 7.2 Envejecimiento interno por manzana, 2020.



Nota: Mapa base de CartoDB. Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por INEGI

Por otro lado, al analizar la información estimada para la determinación del entorno amigable para los adultos mayores, se revelan patrones interesantes que destacan las barreras y facilidades dentro del entorno urbano. Algunos hallazgos se observan en la figura 8, donde el 40% de las manzanas se encuentran en condiciones hostiles para el grupo de edad, esto afecta a uno de cada tres personas mayores. El porcentaje de población residente en condiciones medias es del 26.6%, donde el 23.7% de las manzanas tienen este grado de amigabilidad. Es interesante observar que un poco menos del 40% de las personas mayores residan en manzanas con condiciones muy altamente y altamente favorables, lo que representa que existe una gran proporción de adultos mayores a los cuales se pueden beneficiar con solo mejorar las condiciones de su entorno, lo que se convierte en un área de oportunidad de la planeación urbana local.

Figura 8. Porcentaje de manzanas por grado del entorno amigable

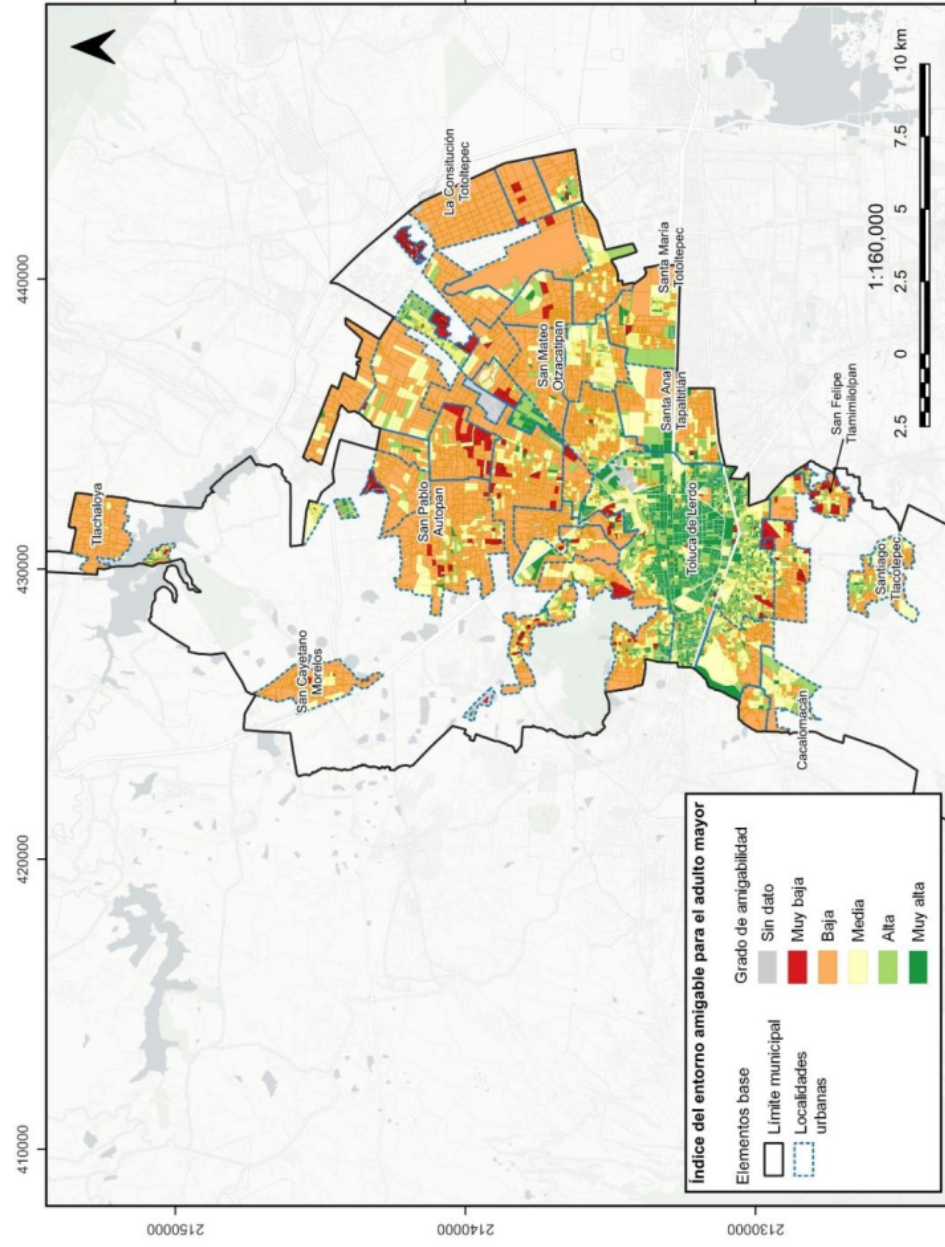


Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI (2020)

En la figura 9 se observa el comportamiento espacial del índice del entorno amigable. Las zonas de excelentes condiciones están presentes en principalmente en la localidad de Toluca de Lerdo, de manera dispersa fuera del área delimitada por el Paseo Toluca-Matlazincas. Localidades como San Pablo Autopan, San Mateo Otzacatipan, Tlacheloya, La Constitución Totoltepec y algunas porciones importantes de San Buena Ventura y San Cayetano son las que tiene condiciones de muy baja y baja amigabilidad en prácticamente toda su extensión. La imagen es muy evidente la prevalencia de una zona central donde se tienen las mejores condiciones de

amigabilidad y una periferia donde persisten las desventajas de este indicador de entorno, con excepciones puntuales. Si bien la figura imagen nos permite observar y analizar las condiciones del entorno, se aplicó la autocorrelación espacial para resaltar las áreas con mayores similitudes o diferencias de ese indicador.

Figura 9. Índice de Entorno Amigable para el Adulto Mayor, 2020.



Nota: Mapa base de CartoDB. Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI (2020)

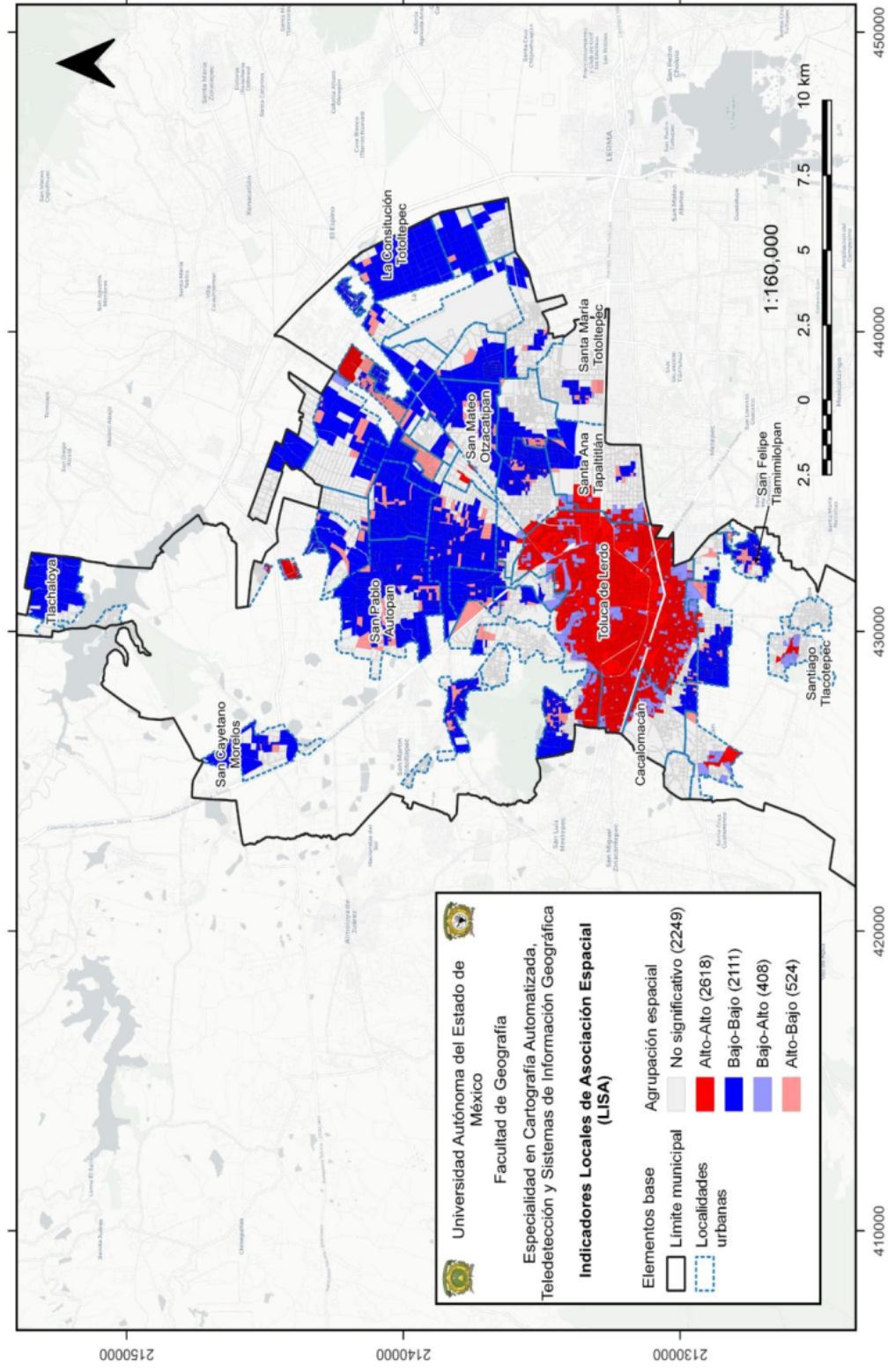
El análisis de autocorrelación espacial aplicado al índice del entorno amigable ha revelado patrones interesantes en la distribución. Con un índice global de Moran de 0.586, se observa una asociación espacial positiva moderada, lo que sugiere que las zonas con condiciones similares de amigabilidad tienden a agruparse espacialmente. Este suceso no se debe a una situación al azar, como lo confirma el p valor de 0.001 y un valor Z alto de 272.83, que indica que el índice observado es totalmente distinto de lo que se esperaría de una distribución aleatoria.

El mapa del entorno amigable mostraba un grado de variabilidad de las condiciones urbanas apropiadas para el adulto mayor. Ahora, se identifica que hay una asociación de áreas con altos valores de amigabilidad que están situadas cerca una de otras, y lo mismo ocurre con las áreas de baja condición (véase figura 10). Esta distribución, además ser estadísticamente significativa, revela cómo las dinámicas urbanas influyen en la calidad del entorno.

Las zonas con mayor amigabilidad del entorno se sitúan en Toluca de Lerdo, esta área al ser el centro de la ciudad suele recibir mayor inversión en infraestructura para facilitar los desplazamientos y el acceso a servicios urbanos. La constante atención y desarrollo en estas áreas favorecen la creación de entornos más amigables para la población flotante y residente de la zona. En contraste, las áreas con menor amigabilidad resaltan en las localidades periféricas donde la infraestructura no ha sido priorizada. Los valores intermedios clasificados como “Alto-Bajo” en su mayoría, se tratan de fraccionamientos. Por lo que es comúnmente observar que en el interior de estas urbanizaciones se cuentan con los servicios suficientes, pero, al exterior disminuyen estas condiciones.

En conclusión, la autocorrelación espacial del índice del entorno amigable ofrece una comprensión más profunda de cómo la accesibilidad y el flujo de personas influyen en la calidad del entorno urbano. Este tipo de análisis es recomendable para orientar futuras intervenciones urbanas, que busquen equilibrar las condiciones del entorno amigable a través de la ciudad, en especial en áreas que actualmente están menos favorecidas.

Figura 3. Indicador de Autocorrelación Espacial Local de Moran.

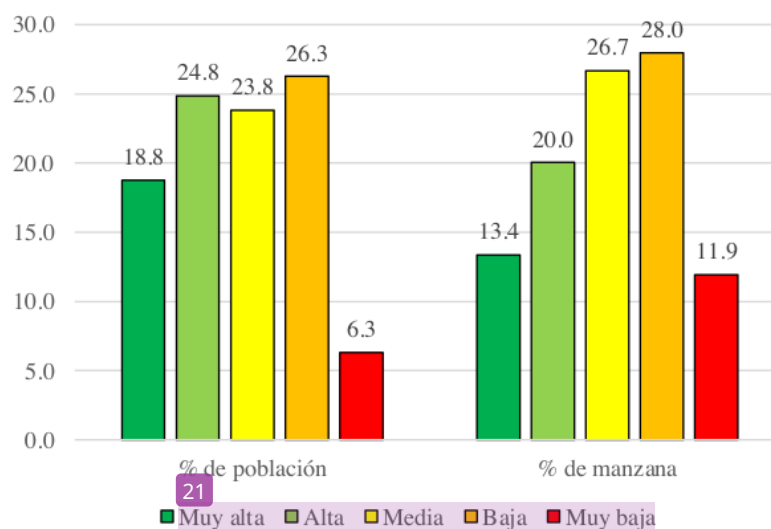


Nota: índice LISA elaborado con el software GeoDA, considerando valores del índice resumen del entorno amigable. Fuente: elaboración propia.

En lo relativo al análisis de accesibilidad a servicios clave para la población mayor, la figura 11 nos demuestra que una de cada tres personas habita áreas de baja accesibilidad a los satisfactores seleccionados previamente. En este caso, el 40% de las manzanas de la zona urbana se pueden considerar inaccesibles. Mientras que el 33.4% presenta una excelente condición de servicios urbanos. Anteriormente se ha mencionado que el entorno urbano ha tenido mejores condiciones en el casco central de la ciudad, por el acceso a servicios presentes en la zona. Con la figura 12 se verifica la información, Toluca de Lerdo es un área accesible y que este grado de accesibilidad disminuye hacia las periferias urbanas.

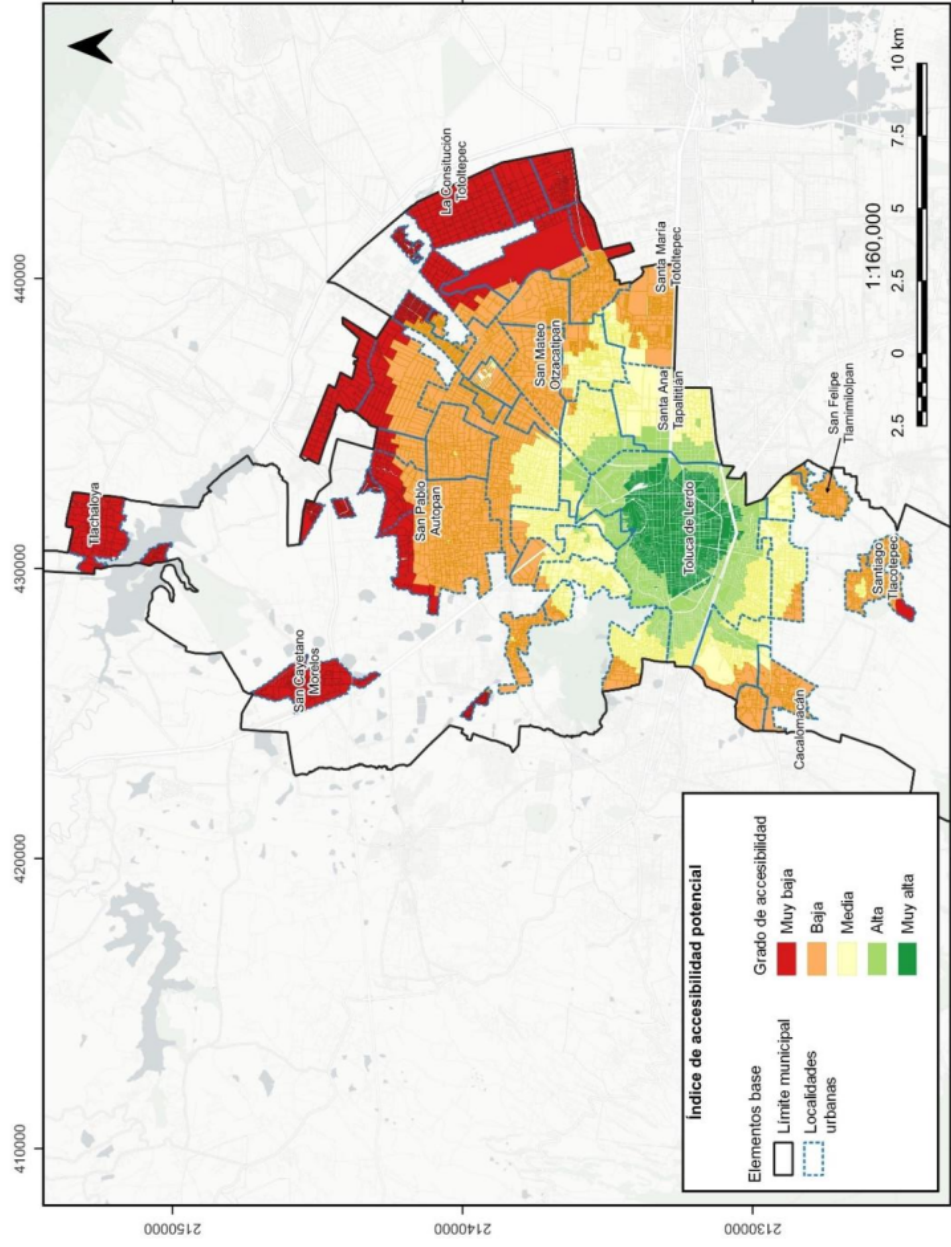
En resumen, el índice de accesibilidad demuestra que la ciudad de Toluca aún mantiene un carácter monofuncional de actividades, donde las oportunidades de cubrir un requerimiento se encuentran en el centro urbano (Véase figura 14). Por lo tanto, los lugares a los cuales las personas mayores tendrán que recurrir son en estas áreas. Esto indica, que los subcentros urbanos de la ciudad no cuentan con las características suficientes para aproximar los servicios urbanos a distintas localidades.

Figura 11. Porcentajes de población y manzanas del índice de accesibilidad potencial.



Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI (2020)

Figura 12. Índice resumen de accesibilidad al sistema de servicios urbanos, 2020.

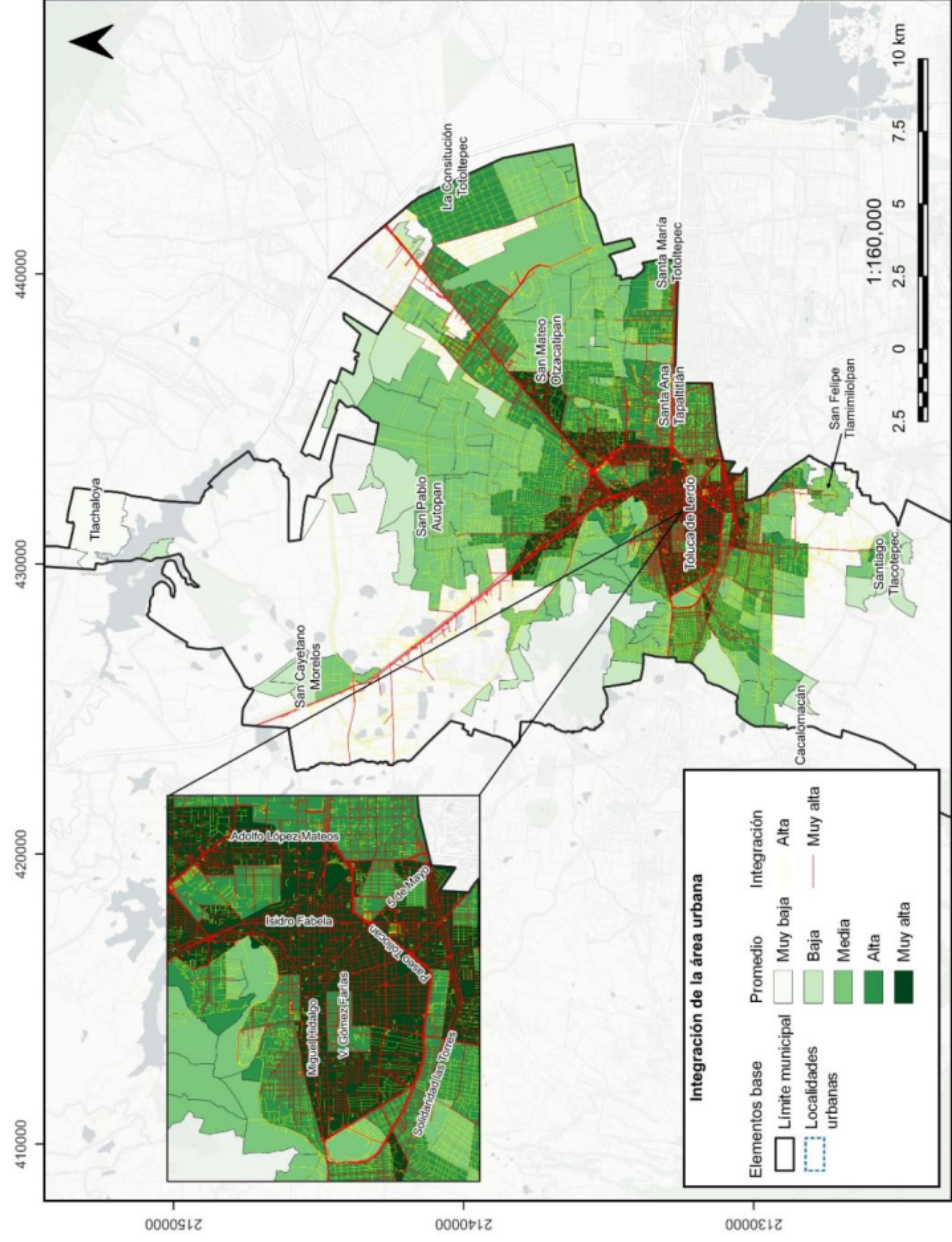


Nota: Mapa base de CartoDB. Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI (2020)

Desde el punto de vista de la estructura urbana y como se señaló al inicio del capítulo, se utilizó el enfoque de análisis *Space Syntax*, que permite a partir de la configuración de la red vial de la ciudad, determinar el nivel de integración y conectividad de esta. En este sentido, el análisis de integración de Toluca muestra que las vialidades del centro de la ciudad, como Paseo Tollocan, Isidro Fabela y Miguel Hidalgo, son las de mayor conectividad, es decir, son las hacen más accesibles los desplazamientos al interior de la ciudad con respecto a todo el sistema, pero también propensas a la saturación en horas punta. En la figura 13, las zonas con verde más intenso son las más beneficiadas en este indicador, mientras que aquellas con una menor intensidad serían las zonas de menor integración. De esta forma, la red de calles conecta el centro de la ciudad a distintos puntos de las periferias urbanas, no obstante áreas como Tlachaloya, más alejadas del centro, presentan muy baja integración por la ausencia de conexiones directas a la localidad.

Como recomendación, es importante que en estas vialidades se realicen estudios constantemente de sus condiciones para eficiente los tiempos de traslados de viaje. También de realizar estudios de evaluación para implementar transporte público que permita optimizar los desplazamientos y adecuados a las personas mayores. Para el caso de la localidad de Tlachaloya, es recomendable considerarla como de atención prioritaria, ya que, no cuenta con condiciones favorables de amigabilidad y oportunidades de accesos a servicios fácilmente.

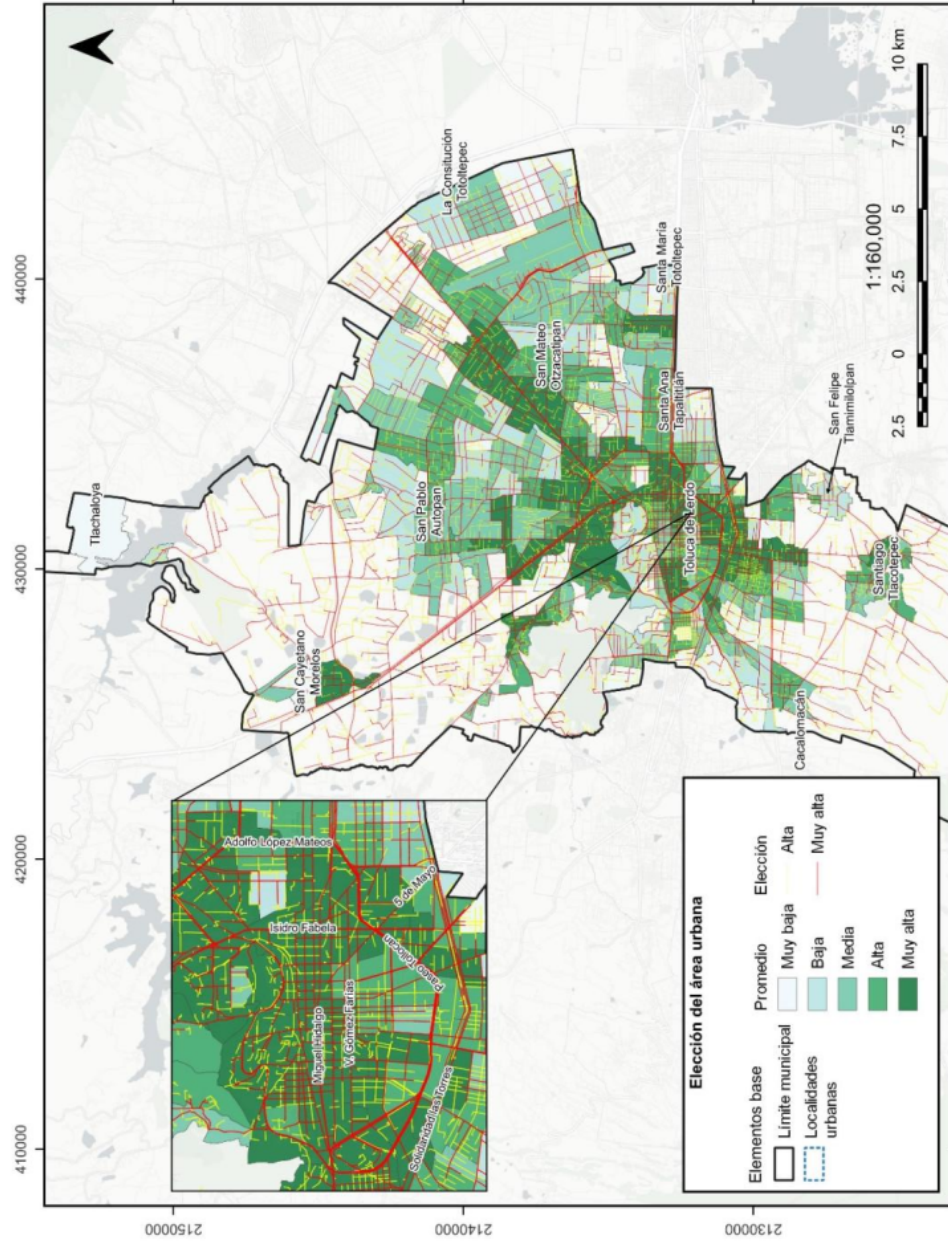
Figura 4. Integración de la zona urbana de Toluca, 2020.



Nota: Clasificación por cortes naturales. Para mayor legibilidad de la información se clasificó de muy bajo a muy alto la información. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al criterio de elección (*Choice*), que resalta las calles principales que conectan distintos puntos de la ciudad y que serían la elección principal de la población para sus desplazamientos, en el mapa se observa claramente las zonas de verde más oscuro como las de mayor preferencia de la población para la realización de sus desplazamientos dado que en ellas se pueden realizar los viajes más largos. En contraste, tenemos las avenidas secundarias como Valentín Gómez Farías que distribuyen el tránsito hacia las calles locales. Las zonas centrales tienen un mayor grado de elección, lo que indica que son preferidas para rutas cortas y rectas, por lo tanto, hay mayor saturación de tránsito. En cambio, las áreas con menor elección tienen menos conectividad y dependen de pocas vialidades principales, lo que podría requerir mejoras en la infraestructura vial para aumentar la accesibilidad (figura 14).

Figura 14. Elección de movimiento de la zona urbana de Toluca, 2020.



Nota: Clasificación por cortes naturales. Para mayor legibilidad de la información se clasificó de muy bajo a muy alto la información. Fuente: Elaboración propia.

Los hallazgos de este trabajo se pueden resumir en la identificación de barreras urbanas que puede afectar a los adultos mayores son referentes a las condiciones de la infraestructura urbana y la inaccesibilidad a los servicios urbanos que requiere la población, particularmente en las zonas periféricas de la ciudad, en donde se conjunta la menor dotación de bienes y servicios demandados por este grupo de población, aunado a la configuración del sistema vial que refuerza el esquema monofuncional de esta ciudad. Por lo tanto, se puede establecer que el objetivo planteado al inicio se cumple satisfactoriamente. Como se explicaba en secciones anteriores, existe una buena proporción de adultos mayores que habitan en condiciones desfavorables de accesibilidad y de falta de infraestructura que facilite su movilidad. Bazant (2020) establece que, a causa del crecimiento urbano, las características urbanas dentro de las zonas urbanas implican una diferencia entre sí, cada asentamiento tiene una conectividad y movilidad diferente, por lo que las políticas urbanas que se deriven de este tipo de estudios deben de tomar en cuenta las particularidades del entorno.

Para esta investigación, la información expuesta en este capítulo permite ser aplicable a los tomadores de decisiones para identificar, agrupar, zonificar áreas de atención prioritarias, complementándose con estudios posteriores que involucren la observación de campo, aforos vehiculares y peatonales, u estudios etnográficos con los que se trabaje con el adulto mayor.

La inhospitalidad del entorno y la inaccesibilidad a los servicios son aspectos que deberá estar constante en la agenda pública de la ciudad. Pues la estructura urbana limita las condiciones de la población vulnerable. La situación se agrava aún más ante procesos como el envejecimiento demográfico y, serán las mujeres quienes enfrentarán los mayores desafíos si no se toman las medidas necesarias.

Con relación con los fundamentos teóricos que se integran como innovación en este campo y que provienen del *Space Syntax*, los aportes de Hillier et al. (1993) sobre los movimientos naturales son observables para el caso de Toluca. Tras analizar la integración y elección angular del sistema vial, la configuración espacial interviene en la movilidad y la atractividad en ciertas partes de la zona urbana. De esta forma la zona centro de la ciudad reporta una mejor conectividad, al igual que, las posibilidades de elección de desplazamientos para llegar a distintos puntos de la ciudad.

En cuanto a las limitaciones de este estudio fueron la disponibilidad de los datos, pues en la escala de trabajo no se cuenta con información desagregada a este grupo de población, por lo que se recurrió a solicitar información al instituto correspondiente. En la revisión documental se identificaron ambigüedades en la información relativa a los equipamientos urbanos, por lo que imposibilitó profundizar en esta temática con un análisis de accesibilidad a corta distancia para los adultos mayores.

Consideraciones finales

La metodología propuesta en este estudio es altamente adaptable a las necesidades de la población que se desee estudiar, así como de fácil replicabilidad y de adición de otras variables importantes para el sector de la población. Con esta operacionalización del envejecimiento y entorno urbano descubrimos que a corto y mediano plazo la población aumente en este grupo de edad y exista un mayor número en las zonas colindantes a la del centro urbano, expandiéndose así hasta la periferia. Esto es observable en colonias céntricas, donde la vivienda que antes era habitada por adultos mayores ahora tiene aprovechamiento para uso comercial o construcción de departamentos.

Esta transformación urbana implica cambios en la dinámica urbana, así como en la identidad local, la oferta servicios y modificaciones en la estructura demográfica. Por lo que es recomendable profundizar en futuras investigaciones, cómo impactan las modificaciones urbanas en la calidad de vida de residentes actuales, si ocasiona desplazamientos voluntarios o forzosos, y cómo se abordan las necesidades de las partes interesadas en el desarrollo urbano sensible a la edad.

Como recomendación de acciones de intervención desde el urbanismo gerontológico, quiera la propuesta de mejora de alumbrado público, la remodelación de cruces a nivel de calle, o simplemente la existencia de banquetas que promuevan el confort y calidad urbana es beneficioso para las personas mayor. Además, es prioridad la incorporación de sistemas de movilidad urbana que implemente nuevas opciones de desplazamiento en beneficio al transporte público. Esto implica en exigir mejoras en este transporte y su flota vehicular para que sea un transporte seguro para personas mayores.

Bibliografía

- Alvarez-Lobato, J. A., Trujillo, A., & Garrocho, C. F. (2018). Multifuncionalidad urbana y personas adultas mayores en el Área Metropolitana de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas*, 96. <https://doi.org/10.14350/rig.59611>
- Aranda, J. M. (2000). *Conformación de la zona metropolitana de Toluca, 1960-1990* (1ª. Ed.). Centro de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Bazant, J. (2020). *Micro urbanismo: Al rescate del peatón en los espacios urbanos* (1a. Ed.). Editorial Trillas.
- Bello, W. (2013). Vulnerabilidad socio-demográfica de las personas de la tercera edad. Estudio de caso, centro histórico de La Habana. *Cuadernos Geográficos*, 52(1), 153–177. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/930/1104>
- Buzai, G. (2015). *Análisis espacial en Geografía de la Salud. Resoluciones con Sistemas de Información Geográfica* (1a. Ed.). Lugar Editorial .
- Buzai, G., & Montes, E. J. (2021). *Estadística Espacial: Fundamentos y aplicación con Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Nacional de Luján. Instituto de Investigaciones Geográficas. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/161048>
- Campos, J. (2009). *La geografía de la marginación: enfoque conceptual y metodológico alternativo para el caso de México* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Campos, J. (2023). Adultos mayores y condiciones relativas de vida: el uso de indicadores espaciales para su focalización en la ZMCT 2020. En *Coloquio Ciudades amigables con los adultos mayores*. El Colegio Mexiquense A.C. .
- Campos-Alanís, J., Ramírez-Sánchez, L. G., & Garrocho, C. (2020). Inclusión de la variable espacial en la medición de las condiciones relativas de vida en ciudades mexicanas. *Papeles de Población*, 26(103), 53–88. <https://doi.org/10.22185/24487147.2020.103.03>
- Cárdenas, G. (2021). Envejecer con el lugar. *REVISTA PLANEIO*, 46, 21–21. <https://doi.org/10.7764/PLAN.046.095>
- Cárdenas, G. (2022). Envejecer con el lugar: los retos de una ciudad que envejece. En J. Bautista Vergara & J. Delgado Campos (Eds.), *Recuperar la ciudad hoy. Modelos urbanos: cuidados, salud, educación, bienestar y ocio: Vol. I* (PUEC-UNAM, pp. 30–66). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cardo, B. (2021). *El urbanismo gerontológico ante el reto del envejecimiento demográfico. El caso de Arganzuela* [Trabajo Fin de Grado]. Universidad Politécnica de Madrid.
- CEPAL. (2022). *Envejecimiento en América Latina y el Caribe: inclusión y derechos de las personas mayores (LC/CRE.5/3)*. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- Cinderby, S., Cambridge, H., Attuyer, K., Bevan, M., Croucher, K., Gilroy, R., & Swallow, D. (2018). Co-designing Urban Living Solutions to Improve Older People's Mobility and Well-Being. *Journal of Urban Health*, 95(3), 409–422. <https://doi.org/10.1007/S11524-018-0232-Z/TABLES/3>

- Consejo Nacional de Población (2024). Población a mitad de año, 1950-2070. Disponible en <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2020-2070/resource/ae83f2b0-f23e-45e3-91ae-f85594775dff>.
- Cortés-Topete, M. B., & Tavares-Martínez, R. A. (2022). Oportunidades de inclusión y bienestar de las personas mayores en sus vecindarios. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 37(2), 719–744. <https://doi.org/10.24201/edu.v37i2.2031>
- De la Rosa, J. J., & Castañeda, P. E. (2018). *Indicadores de satisfacción de la infraestructura peatonal en la perspectiva del espacio público saludable en la Ciudad de México* (J. Pablos, Ed.; 1a. edición). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ducci, M. E. (1990). *Conceptos básicos de urbanismo*. Trillas.
- Florencio, G., & Real, J. (2019). Propuesta metodológica: Índice de Infraestructura Urbana para el diagnóstico urbanístico sobre el traslado de personas mayores de 60 años en tres AGEB de la Jurisdicción Sanitaria Magdalena Contreras. *Realidad, Datos y Espacio Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 11(1), 52–67. <https://rde.inegi.org.mx/wp-content/uploads/2020/02/RDE30.pdf>
- García De León, A. (1989). La metodología del valor índice medio. *Investigaciones Geográficas*, 19, 69–87. <https://doi.org/10.14350/RIG.58975>
- García-Valdez, M. T., Sánchez-González, D., & Román-Pérez, R. (2019). Envejecimiento y estrategias de adaptación a los entornos urbanos desde la gerontología ambiental. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(1), 101–128. <https://doi.org/10.24201/EDU.V34I1.1810>
- Garrocho, C., & Campos, J. (2016). *Segregación socioespacial de la población mayor: La dimensión desconocida del envejecimiento* (1a. Ed.). El Colegio Mexiquense, A.C.
- Garrocho, C., & Vilchis, I. (2021). Las Age-Friendly cities facilitan la movilidad de los adultos mayores. *Korpus* 21, 21, 295–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.22136/korpus21202135>
- Garza, G. (2010). La transformación urbana de México, 1970-2020. En G. Garza & M. Schteingart (Eds.), *Los grandes problemas de México: Vol. II* (1a. ed., pp. 31–87). El Colegio de México.
- Ham, R. (2010). Envejecimiento demográfico. En B. García & M. Ordorica (Eds.), *Los grandes problemas de México: Vol. Vol. 1 Población* (1ª. Ed., pp. 53–78). El Colegio de México.
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad : propuestas para recuperar un derecho ciudadano* (1a. ed.). Editorial Reverté.
- Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 20(1), 29–66. <https://doi.org/10.1068/b200029>
- Hoyos-Castillo, G., & Camacho-Ramírez, M. D. (2010). Vialidad Paseo Toluca en la Ciudad de Toluca. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 221–247.
- Huenchan, S. (2021). *Indicadores sobre envejecimiento y personas mayores en Centroamérica, México y el Caribe hispano*. www.cepal.org/apps

- INEGI. (2021). *Características del entorno urbano 2020. Síntesis metodológica y conceptual*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825199425.pdf
- Koohsari, M. J., Owen, N., Cerin, E., Giles-Corti, B., & Sugiyama, T. (2016). Walkability and walking for transport: Characterizing the built environment using space syntax. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0448-9>
- Liévanos, J. (2016). *El papel del centro histórico de Toluca como centralidad en la Zona Metropolitana de Toluca desde una perspectiva histórica* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Marzo, R. R., Khanal, P., Shrestha, S., Mohan, D., Myint, P. K., & Su, T. T. (2023). Determinants of active aging and quality of life among older adults: systematic review. *Frontiers in Public Health*, 11, 1193789. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2023.1193789/BIBTEX>
- Mesillas, M. I. (2021). *Bienestar y vejez: Un análisis espacial de la Zona Metropolitana de Toluca* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Miralles-Guasch, C. (2002). *Ciudad y transporte. El binomio imperfecto*. Ariel Geografía.
- Montejano-Escamilla, J. A., Caudillo-Cos, C. A., & Ávila-Jiménez, F. G. (2023). Expansión y crecimiento urbanos en México, 1975-2020. *región y sociedad*, 35, e1734. <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1734>
- Montoya, J., & Montes de Oca, H. (2006). Envejecimiento poblacional en el Estado de México: situación actual y perspectivas futuras. *Papeles de Población*, 12(50), 117–146. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8651>
- Narváez-Montoya, O. L. (2012). Envejecimiento demográfico y requerimientos de equipamiento urbano: hacia un urbanismo gerontológico. *Papeles de Población*, 18(74). <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/8416>
- OMS. (2007). *Ciudades Globales Amigables con los Mayores: Una Guía*. <https://iris.who.int/handle/10665/43805>
- Paranaiba, A. (2018). Praxeology and Space Syntax: *MISES: Interdisciplinary Journal of Philosophy, Law and Economics*, 6(2). <https://doi.org/10.30800/MISES.2018.V6.565>
- Pereira, R. H. M., & Herszenhut, D. (2023). *Introduction to urban accessibility: a practical guide with R* (First). Ipea - Institute of Applied Economic Research. <https://doi.org/http://dx.doi.org/9786556350653>
- Pérez, R., & Viramontes, L. Y. (2022). El papel de la banqueta en la vida social urbana. En G. Capron, J. Monnet, & R. Pérez (Eds.), *Banquetas: el orden híbrido de las aceras en la Ciudad de México y su área metropolitana* (1a. Ed., pp. 187–214). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Reyes, R. C. y M., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*.
- Reyes, V., Suárez, M., & Delgado, J. (2019). *La Merced: movilidad y flujos de personas en un mercado popular antiguo* (1st ed.). Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad.

- Rivera, J., & González, I. de L. (2024). DESIGUALDAD EN SALUD EN LOS ENTORNOS URBANOS: CONSTRUCCIÓN DE LOS ESTILOS DE VIDA EN EL ENVEJECIMIENTO. En G. Cárdenas & G. Villagómez (Eds.), *ENVEJECER EN EL LUGAR. Vejece y territorios con sentido* (1a. edición, pp. 87–114). Universidad del Caribe. <https://www.researchgate.net/publication/378741778>
- Rogers, W. A., Ramadhani, W. A., & Harris, M. T. (2020). Defining Aging in Place: The Intersectionality of Space, Person, and Time. *Innovation in Aging*, 4(4), 1–11. <https://doi.org/10.1093/GERONI/IGAA036>
- Sánchez, D. (2007). Envejecimiento demográfico urbano y sus repercusiones socioespaciales en México: Retos de la planeación gerontológica. *Revista de geografía Norte Grande*, 38, 45–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022007000200003>
- Sobrinho, J. (1995). Funciones económicas predominantes del sistema metropolitano de México. En C. Garrocho & J. Sobrinho (Eds.), *Sistemas metropolitanos: nuevos enfoques y prospectiva* (1ª. Ed., pp. 245–270). El Colegio Mexiquense A.C: SEDESOL.
- Spijker, J. (2023). The future of ageing in Latin America and the Caribbean from different methodological perspectives. *Papeles de Población*, 28(114), 15–38. <https://doi.org/10.22185/24487147.2022.114.27>
- Trujillo, A., Álvarez, J. A., & Garrocho, C. (2022). ÍNDICE DE MULTIFUNCIONALIDAD URBANA Y LOCAL PARA PERSONAS ADULTAS MAYORES EN ZONAS METROPOLITANAS DE MÉXICO: CONCEPTO, MÉTODO Y APLICACIÓN. *Decumanus*, 9(9), 1–22. <https://doi.org/10.20983/DECUMANUS.2022.2.3>
- Unikel, L. (1976). *El desarrollo urbano de México, Diagnóstico e implicaciones futuras* (2ª. Ed.). El Colegio de México.
- WHO. (2002). *ACTIVE AGEING: A POLICY FRAMEWORK Active Ageing*. <https://iris.who.int/handle/10665/67215>
- Yamu, C., van Nes, A., & Garau, C. (2021). Bill Hillier's Legacy: Space Syntax—A Synopsis of Basic Concepts, Measures, and Empirical Application. *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 3394*, 13(6), 3394. <https://doi.org/10.3390/SU13063394>
- Zoido, F., Benayas, S. de la V., Morales, G., Mas, R., & Lois, R. (2000). *Diccionario de geografía urbana, urbanismo y ordenación del territorio* (1a. Ed.). Ariel, S.A.

**Análisis espacial de áreas con aptitud para la expansión urbana mediante Evaluación
Multicriterio**

Noelia Principi¹

¹ Doctora en Geografía. Docente-investigadora del Instituto de Investigaciones Geográficas de la Universidad Nacional de Luján (UNLu-INIGEO). Investigadora asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8819-6743/> ; ID's Scopus: 57204362582

Resumen

El capítulo detalla el marco teórico-metodológico de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC), destacando su papel en la toma de decisiones mediante la evaluación de múltiples criterios y prioridades. Este proceso, que incluye la definición del problema, la búsqueda y evaluación de alternativas, y la selección de la opción óptima, es fundamental para la toma de decisiones espaciales complejas.

La EMC y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se combinan y permiten profundizar el análisis espacial cuantitativo en pos de optimizar la capacidad de acogida del territorio, evaluando factores y restricciones a nivel locacional. Este enfoque integrador es importante para la planificación territorial y la resolución de problemas socioespaciales complejos.

Se presenta, a modo de ejemplo, una aplicación en el partido de Luján (Buenos Aires, Argentina), donde se integran diversas variables espaciales y se genera un mapa de aptitud urbana con la identificación de las áreas óptimas para el desarrollo o la expansión urbana.

Palabras clave: Expansión urbana, Evaluación Multicriterio (EMC), Sistemas de Información Geográfica (SIG), Planificación territorial

Introducción

La expansión urbana plantea un gran desafío para los organismos de planificación y gestión territorial, especialmente en áreas periféricas donde el crecimiento puede generar desigualdades espaciales en el acceso a servicios urbanos esenciales o en terrenos con aptitudes para diversos usos, generando conflictos de ubicación.

En este contexto, es fundamental avanzar en estudios geográficos que, a través del análisis espacial, faciliten la toma de decisiones acerca de la localización de diferentes usos del suelo, identificando aquellas áreas que presenten las mayores aptitudes para la expansión urbana y, de esta forma, poder dirigir políticas de planificación hacia esos sectores.

La "Agenda 2030" ⁸⁹ de las Naciones Unidas (ONU, 2016), ⁶⁸ establece diecisiete "Objetivos de Desarrollo Sostenible" (ODS), incluyendo el de lograr "ciudades y comunidades sostenibles", donde se destaca la importancia de abordar el problema del crecimiento urbano descontrolado, especialmente en países en desarrollo, que enfrentan desafíos relacionados con infraestructuras y servicios insuficientes o sobrecargados.

En este sentido, el conocimiento del territorio es fundamental y resulta necesario que las decisiones que se toman en el marco de la planificación estén apoyadas por evaluaciones de carácter científico, derivadas de procesos de análisis espacial tal como lo permiten las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) a partir de procesar y relacionar diferentes variables de índole espacial con apoyo en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El presente capítulo presenta el desarrollo teórico-metodológico y la aplicación de técnicas de EMC con el propósito de generar un mapa de aptitud urbana que permita determinar las zonas con ² mayores posibilidades de expansión o desarrollo del uso de suelo urbano en el partido de Luján (Buenos Aires, Argentina), considerando diversos criterios espaciales. Se trata de un ejemplo de aplicación de análisis espacial sencillo, pero no por esto menos efectivo en la búsqueda de soluciones a problemáticas socioespaciales complejas.

Teoría de la decisión y Evaluación Multicriterio

La Evaluación Multicriterio (EMC) engloba un conjunto de técnicas diseñadas para facilitar el proceso de toma de decisiones y se enmarca en la teoría de la decisión que encarga de analizar cómo se elige una acción que, dentro de un conjunto de acciones posibles, conduce al mejor resultado, según determinadas preferencias (Malczewski y Rinner, 2015)

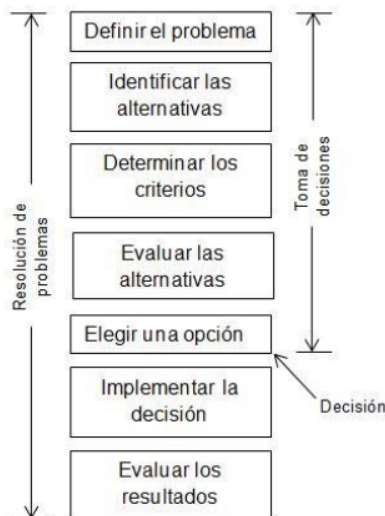
La finalidad principal radica en asistir al responsable de tomar decisiones ⁴⁰ en la selección de la alternativa "óptima" entre un conjunto de opciones factibles, considerando la existencia de múltiples criterios y diversas prioridades asociadas a esos criterios.

Esto se da en un proceso de resolución de problemas que según Jankowski (1995), referenciando a McKenna (1980), consta de cuatro pasos fundamentales en un modelo racional de resolución de problemas: 1) *definición del problema*, que implica reconocer la discrepancia entre el estado actual y el estado deseado como una necesidad que requiere

una decisión, 2) *búsqueda de alternativas y criterios de selección*, donde se establecen las alternativas factibles y los criterios para evaluarlas, 3) *evaluación de alternativas*, que consiste en evaluar los impactos de cada alternativa en cada criterio de evaluación y finalmente 4) *selección de alternativas*, que consiste en ordenar las alternativas de la más a la menos deseable y seleccionar la más óptima o las mejores opciones, para una evaluación adicional.

Toskano Hurtado (2005), por su parte, amplía los pasos del proceso de resolución de problemas a partir un modelo para optimizar la toma de decisiones que consta de siete pasos, de los cuales los cinco primeros corresponden específicamente a la toma de decisiones. Esto incluye, desde la identificación y definición del problema hasta que la elección de una alternativa de solución (Figura 1). Lo propuesto por el autor, al ser expresado desde una perspectiva conductual – no matemática - permite su aplicación para describir prácticamente cualquier situación de toma de decisiones, incluyendo las decisiones espaciales.

Figura 1. *Proceso de toma de decisiones*



Fuente: Toskano Hurtado, 2005:14

Según el relevamiento realizado por Páez Gallego (2015) el inicio del estudio de la toma de decisiones surge en el siglo XVII, liderado principalmente por autores franceses. Estos pioneros se destacaron por desarrollar modelos matemáticos destinados

a identificar regularidades en el comportamiento óptimo durante la toma de decisiones en juegos de azar. El primer trabajo documentado data de 1738 y es atribuido a Daniel Bernoulli (1700-1782). Con el tiempo, el estudio de la teoría de la decisión se expandió hacia otros campos en los que el comportamiento decisional humano desempeñaba un papel crucial.

48

Bernoulli introdujo un enfoque psicológico al reemplazar el concepto de valor por el de utilidad, definiendo esta última como la asignación de un valor subjetivo, único para cada individuo, a las distintas cantidades monetarias que se pueden ganar. Este cambio implicó la introducción del componente racional en la búsqueda de la máxima utilidad esperada en las decisiones.

A partir de este momento, la dicotomía que rige el estudio de la conducta decisoria se divide en dos modelos: los modelos normativos, que buscan explicar la mejor forma de decidir y que se han vinculado fundamentalmente al campo de la Economía, y los modelos descriptivos, que intentan describir cómo las personas toman decisiones en la práctica y que se relacionan originalmente al campo de la lógica, la Psicología y la Sociología.

Por su parte, Malczewski y Rinner (2015), se remontan a los modelos de decisión del siglo XVIII, sobre sistemas de votación preferencial por rango, atribuidos a los franceses Jean-Charles de Borda (1733-1799) y Nicolás de Condorcet (1743-1794). Los autores manifiestan que recién en la segunda mitad del siglo XIX Francis Edgeworth (1845-1926) y Vilfredo Pareto (1848-1923) propusieron una metodología para integrar criterios contradictorios en un único índice de evaluación. Éste último introdujo uno de los conceptos esenciales de la teoría de la decisión moderna: la eficiencia, también conocido como el óptimo de Pareto. El trabajo de Pareto ha sido crucial para el desarrollo de modelos de decisión en diversos campos del conocimiento, tales como la ciencia regional (Isard, 1969), la planificación urbana y regional (Chadwick, 1973) y la Geografía (Chorley y Haggett, 1967).

Según plantean Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) en la década de los setenta, se estableció fuertemente el paradigma de la toma de decisiones multicriterio, marcando una revolución en el campo de la teoría de la decisión dentro del enfoque normativo. Este nuevo paradigma comenzó a abordar la resolución de problemas

15
decisionales más complejos, donde los criterios y objetivos pueden ser múltiples, e incluso se pueden dar situaciones donde los objetivos pueden entrar conflictos entre sí.

En este trabajo, se abordará el enfoque normativo a partir de las aplicaciones en el entorno SIG que han permitido ampliar la toma de decisiones hacia el ámbito locacional a través de la evolución hacia la toma de decisiones espaciales.

99 Evaluación Multicriterio y Sistemas de Información Geográfica

Las decisiones acerca de cuál es la mejor zona para la asignación de determinado uso del suelo suele implicar la evaluación de diversos criterios que responden a diferentes objetivos, que incluso a veces pueden ser conflictivos. A partir de los SIG existe la posibilidad de llevar a cabo un proceso de toma de decisiones locacionales a través de herramientas específicas de análisis espacial que permiten respaldar este proceso.

En la implementación de estos modelos de decisiones espaciales, los SIG desempeñan un papel crucial en la búsqueda de alternativas viables, particularmente la búsqueda de alternativas y criterios de selección, ya que tradicionalmente la búsqueda de ubicaciones, rutas y asignaciones de uso del suelo se realizaba mediante superposiciones manuales de mapas en el análisis de idoneidad y a partir de la llegada de los SIG y su capacidad para superponer mapas digitales estos estudios se volvieron más sofisticados permitiendo incorporación una gran cantidad de variables lo que permitió el abordaje de problemáticas espaciales más complejas (Jankowski, 1995).

Existen diversas metodologías de superposición cartográfica aplicables a datos espaciales que se representan mediante diferentes capas temáticas. Estas técnicas son fundamentalmente parte del ámbito conocido como modelado cartográfico, (Tomlin, 1990; DeMers, 2002). Un destacado progreso en el campo del modelado cartográfico lo constituyen justamente las técnicas EMC, detalladas extensamente por Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) y Buzai y Baxendale (2011), las cuales amplían las posibilidades de trabajo hacia la obtención de resultados como escenarios de posibilidades a futuro, que están altamente vinculados a los procedimientos subjetivos necesarios en el funcionamiento de metodologías objetivas.

2
A través de la EMC, se evalúan diversas alternativas a través de múltiples criterios, considerando uno o varios objetivos. Cuando se abordan objetivos de decisión múltiples, se utiliza el término Evaluación Multiobjetivo (EMO), un ejemplo se encuentra en Buzai

16
y Principi (2017), donde a través de la aplicación del modelo de resolución estandarizada *Land-use Conflict Identification Strategy* (LUCIS), desarrollado por Carr y Zwick (2006, 2007) se consideraron tres objetivos posibles vinculados a diferentes usos del suelo (urbano, agrícola y conservación) y a través del modelo se identificaron áreas de potencial conflicto entre los usos del suelo considerados. Por otro lado, si la EMC persigue un único objetivo, nos encontramos ante un análisis multicriterio-uniobjetivo (Figura 2), tal como se abordará en este capítulo. Otros ejemplos pueden encontrarse en Principi (2021 y 2017) donde se aplica el análisis de EMC con objetivos únicos, vinculados a la expansión urbana y el desarrollo agropecuario, en la ciudad de Luján y en la cuenca hidrográfica del río Luján respectivamente.

Para alcanzar los objetivos establecidos, se pueden aplicar diversas técnicas, como análisis *booleanos*, media ponderada ordenada o combinación lineal ponderada, entre otras¹.

En el presente trabajo, la aplicación de técnicas de EMC mediante SIG tiene como objetivo realizar una evaluación de la aptitud o capacidad de acogida del territorio en relación con funciones o actividades específicas, definidas en el proceso de evaluación, que este caso se vincular al uso del suelo urbano.

Según Gómez Orea (2008) la capacidad de acogida del territorio se define como la relación entre el entorno físico y las actividades humanas, podría considerarse como el "grado de idoneidad" para su uso, teniendo en cuenta tanto su fragilidad como su potencialidad. Esta noción implica la convergencia entre aquellos que evalúan la relación desde la perspectiva del entorno, principalmente en términos de impacto, y aquellos que la perciben desde la actividad o uso, principalmente en términos de aptitud o potencial del territorio, centrando la búsqueda de las condiciones más favorables.

2
El análisis de EMC se inicia con información básica compuesta por variables cartográficas (capas) que actúan como criterios para llevar a cabo los procedimientos de evaluación. La correcta elaboración de estos criterios es esencial, ya que, como señalan Eastman et al. (1993) 12 un criterio es la base para la toma de una decisión y debe ser medible y evaluado, ya que es la evidencia sobre la cual se basa tal decisión.

70
¹ El detalle de las diversas técnicas mencionadas se puede encontrar en el capítulo 7 de: Buzai, G. y Baxendale, C. 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 1. Lugar Editorial. Buenos Aires.

En este contexto, existen dos tipos de criterios: los factores, que presentan valores continuos o discretos de aptitud locacional en cada variable, y los limitantes, también conocidos como restricciones, que operan con la finalidad de asignar resultados en un sector delimitado del área de estudio con un propósito restrictivo. Mientras que los factores resaltan la posibilidad de ciertas alternativas, los limitantes restringen la disponibilidad de opciones en función de lo que se está evaluando.

Las formas de vinculación de los criterios se denominan reglas de decisión, y su proceso de aplicación se conoce como evaluación. Como existen diversas formas para determinar estructuras espaciales, la flexibilidad en el manejo de la información es un aspecto fundamental en esta instancia ya que los resultados pueden variar en función de la importancia que se les asigne a los criterios involucrados.

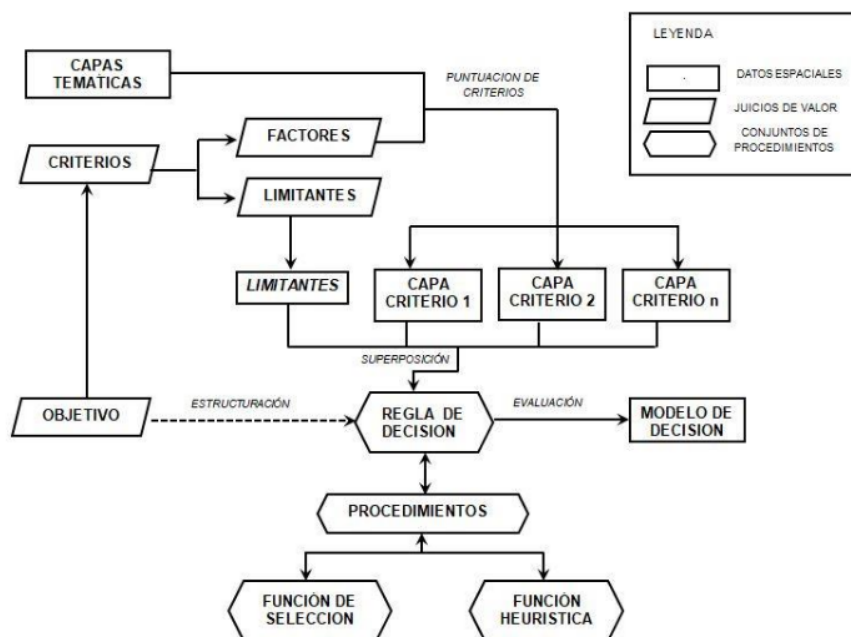
Por esto, la regla de decisión debe permitir la integración coherente de los diferentes criterios implicados en la evaluación. Una vez que la regla de decisión está estructurada, el siguiente paso, denominado evaluación, es lo que finalmente generará el modelo de decisión con los resultados finales de la EMC. Se pueden realizar varias evaluaciones variando alguno de los aspectos considerados con el fin de comparar resultados.

Además, es importante considerar que la regla de decisión puede contemplar la realización de dos tipos de procedimientos: la función de selección, que implica procedimientos matemáticos para comparar alternativas y seleccionar aquella que mejor cumpla los objetivos propuestos, generalmente a través de un proceso de optimización y comparación de todas las posibles soluciones, y la selección heurística, más comúnmente utilizada debido a su simplicidad, ya que no se utiliza una función matemática sino que se especifica el procedimiento a seguir en la evaluación y selección de la mejor alternativa (Eastman et al., 1993).

Gómez Delgado y Barredo Cano (2006) justamente presentan un ejemplo de aplicación de estos procedimientos para el caso de evaluación de la capacidad para el asentamiento urbano, similar al que se presentará en este trabajo. En este sentido, a través de la función de selección sería posible definir las áreas susceptibles de ser o no urbanizadas, formando, por ejemplo, grupos jerárquicos de capacidad de urbanización, a partir de procedimientos de clasificación o, por otro lado, aplicar una función heurística

para seleccionar las mejores áreas para el asentamiento urbano, con procedimientos de selección, tal como se llevará adelante en la evaluación propuesta.

Figura 2. Sistema de integración entre SIG y EMC



Fuente: Gómez Delgado, M.; Barredo Cano, J.I. (2006:48).

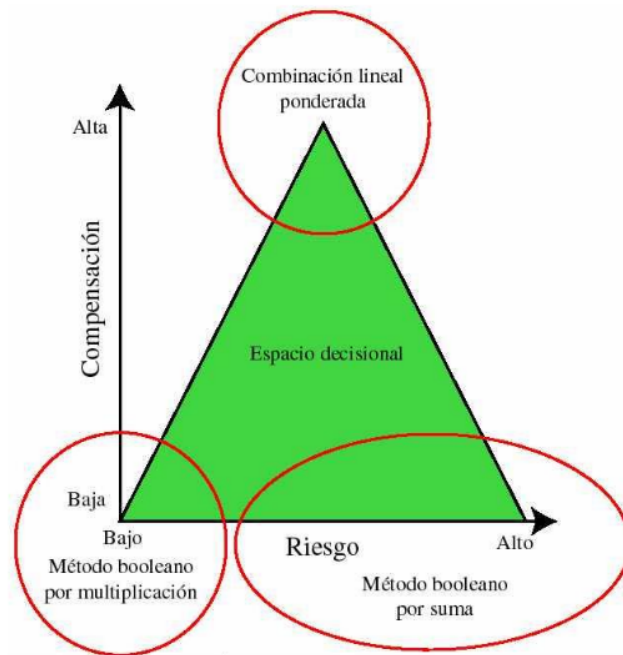
Los modelos de decisión Multicriterio / Multiobjetivo han consolidado un cuerpo teórico y metodológico maduro que ya ha sido considerado por varios autores en la toma de decisiones espaciales en el campo de la Geografía Aplicada. Este enfoque ha encontrado aplicaciones significativas en la planificación territorial, especialmente a través de la integración de técnicas de EMC con SIG, ofreciendo modelos operativos para abordar el proceso de ordenamiento territorial y las propuestas de solución a problemas socioespaciales complejos.

Buzai y Baxendale (2011) explican que las decisiones locacionales se encuentran dentro de un triángulo de decisiones estratégicas (Figura 3), delineado por dos ejes ortogonales: el eje *x* representa el nivel de riesgo, y el eje *y* representa el nivel de compensación a través de los valores de ponderación de los factores considerados. Existen diversas técnicas para mover la decisión locacional dentro de este triángulo. Las

soluciones posibles se presentan mediante métodos *booleanos*, como la multiplicación para un análisis de riesgo mínimo sin compensación, la suma para un escalonamiento hacia el riesgo máximo sin compensación, y la combinación lineal ponderada para un análisis de riesgo medio con máxima compensación. Por lo tanto, el progreso metodológico en la toma de decisiones de localización espacial dependerá de la flexibilidad para determinar diversas posiciones dentro de ese espacio estratégico.

El objetivo último, que consiste en identificar los mejores lugares de ubicación, se puede alcanzar entonces principalmente mediante procedimientos *booleanos* o de combinación lineal ponderada (WLC - *Weighted Linear Combination*). El primero superpone mapas de aptitudes discretas para obtener resultados claramente definidos y con aptitudes fijas, mientras que el segundo incorpora elementos de incertidumbre en situaciones empíricas más realistas.

Figura 3. Triángulo de decisiones estratégicas



Fuente: Buzai y Principi (2017) en base a Buzai y Baxendale (2011)

Proceso de Análisis Jerárquico

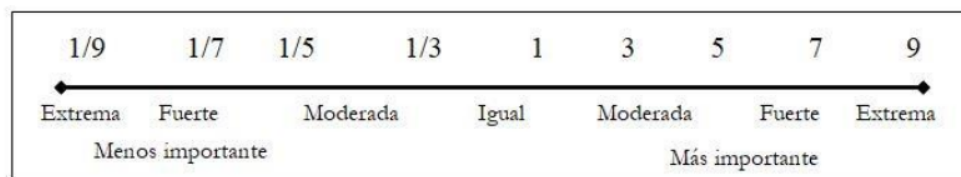
Como se adelantó, un paso importante en el proceso de EMC implica la asignación de valores o pesos a los distintos criterios, con el fin de expresar su importancia en términos

cuantitativos. Este procedimiento puede generar controversias debido a la forma en que se asignan dichos pesos. Por tanto, resulta fundamental emplear un método de ponderación que respalde la determinación de los pesos de manera objetiva. Uno de los métodos más ampliamente utilizado y reconocido en el ámbito de las decisiones multicriterio es el Proceso de Análisis Jerárquico (*Analytical Hierarchy Process* – AHP), propuesto por el matemático Thomas Saaty en 1980.

El método AHP posibilita la modelización del problema de toma de decisiones mediante una estructura jerárquica, utilizando comparaciones entre pares de criterios para incorporar las preferencias del investigador o el tomador de decisiones. Esto se realiza mediante una escala de razón considerada válida para decisiones complejas (Saaty, 1987).

Los criterios se organizan en una matriz cuadrada cuyo tamaño está determinado por el número de criterios a ponderar. Así, se crea una matriz de comparación por pares de criterios, donde se evalúa la importancia de cada uno en relación con los demás a través de juicios de valor. Estos juicios pueden fundamentarse teóricamente, ser prácticos o derivar de consultas a expertos, según el objetivo de la toma de decisiones. Se utiliza una escala de medida para asignar pesos a los criterios según su importancia, la cual se detalla en la Figura 4.

Figura 4. Escala de medida para la asignación de los juicios de valor en los criterios



Fuente: Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005: 73

La matriz es recíproca, es decir, los valores asignados a ambos lados de la diagonal son inversos. Una vez establecidos los valores en la matriz de comparación por pares, se realiza el cálculo del vector de prioridad (w_j), que representa el orden de prioridad de los criterios. El procedimiento consiste en obtener los valores de la matriz normalizados por columnas, a partir del cociente entre cada valor de celda y el valor de la sumatoria de cada columna. Luego, estos valores se suman por filas para obtener el vector de prioridad de cada criterio.

Estos valores también se normalizan, dividiendo cada uno de los valores del vector entre el número de criterios. De aquí se obtienen los diferentes pesos (w_{j_nor}) que van a proporcionar una medida cuantitativa de consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

El método AHP proporciona una medida operativa de la consistencia en la asignación de pesos a través del vector de prioridad máximo (λ_{MAX}). Este se obtiene multiplicando el vector de prioridad normalizado por la matriz de comparación por pares, y se utiliza para evaluar la consistencia al analizar la proporcionalidad de las preferencias implícitas en los juicios de valor asignados. Para calcularlo, se realiza una suma lineal ponderada de los pesos de cada alternativa según su peso normalizado (w_{j_nor}). Posteriormente, los resultados se dividen por sus respectivos pesos (w_{j_nor}). El promedio de los valores obtenidos corresponde al $\lambda_{máx}$ del criterio analizado.

Este análisis se complementa con el cálculo de la razón de consistencia (RC). La RC se obtiene dividiendo el valor del índice de consistencia (IC) por el índice aleatorio medio (IAM). El IC se determina mediante la siguiente fórmula, donde n es el número de criterios en la matriz de comparación.

[1]:

$$[1] \quad IC = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1)$$

Para el Índice Aleatorio Medio (IAM) de matrices recíprocas cuadradas, se utilizan los siguientes valores (Tabla 1), presentados por Saaty (1987):

Tabla 1. Valores de IAM para matrices cuadradas de orden n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IAM	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,4	1,45	1,49

Fuente: Saaty (1987)

Cuando RC inferior a 0,10 se considera que los juicios de valor están dentro de los límites recomendados, son consistentes y se debe continuar con el proceso. Si el valor es mayor o igual a 0,10 los juicios deben ser revisados, ya que no serían lo suficientemente consistentes para establecer los pesos (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2006).

Aplicación de la EMC para expansión urbana en el partido Luján

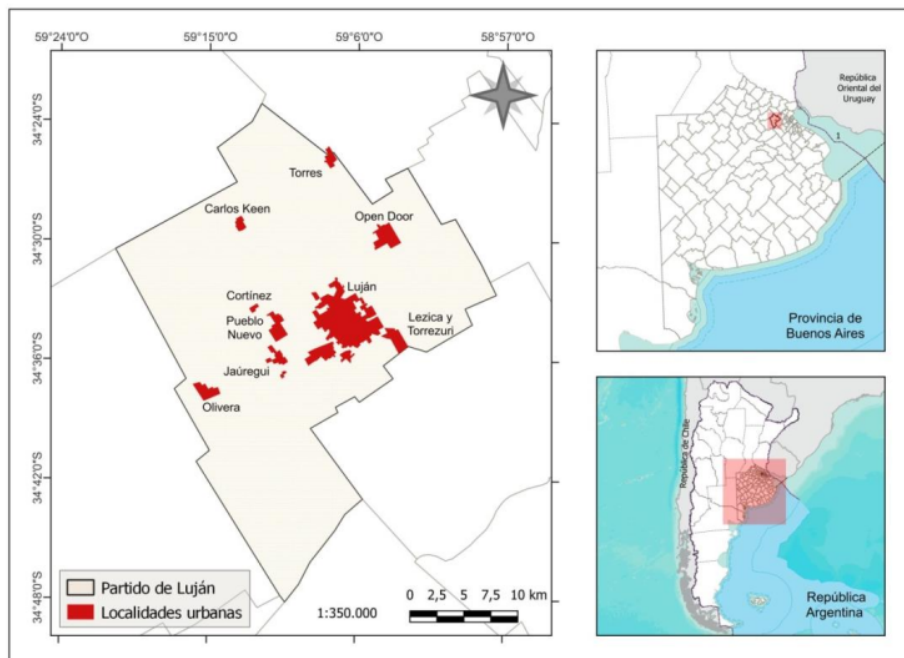
El área de estudio donde se realizará la aplicación de la EMC es el partido de Luján (Figura 5), uno de los 135 partidos que conforman la provincia de Buenos Aires, en la República Argentina. Este se encuentra ubicado en el último anillo de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA). La localidad cabecera del partido, Luján, se encuentra a 68 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) pero si se considera su mancha urbana, es decir, la ciudad desde un punto de vista físico como aglomeración se encuentra separada a sólo 2 km. del extremo del corredor Oeste del Gran Buenos Aires (Humacata, 2017). En un trabajo realizado por Buzai y Montes Galbán (2020) se mostraron evidencias que indican que Luján ya forma parte de la Megaciudad Buenos Aires, a partir de considerar la infraestructura gris, teniendo en cuenta conjuntamente el espacio adaptado y el sistema de flujos.

El partido de Luján ocupa una superficie total de 777 km² y comparte límites al norte con el partido de Exaltación de la Cruz, al este y noreste con Pilar, y al este y sudeste con General Rodríguez. Se encuentra dentro de la denominada llanura pampeana, drenando al occidente la subregión de la pampa ondulada y al oriente la subregión del Delta, con un relieve que es marcadamente llano, con una suave pendiente que disminuye de oeste a este, rondando los 60 msnm.

Según los datos del último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado del 2022, la población total es de 111.365 habitantes (INDEC, 2023).

El partido está compuesto por varias localidades: Jáuregui, Pueblo Nuevo, Cortines, Carlos Keen, Open Door, Torres y Olivera. Históricamente, la ciudad cabecera ha concentrado alrededor del 75% de la población urbana total del partido.

Figura 5. Área de estudio: Partido de Luján (Buenos Aires, Argentina)



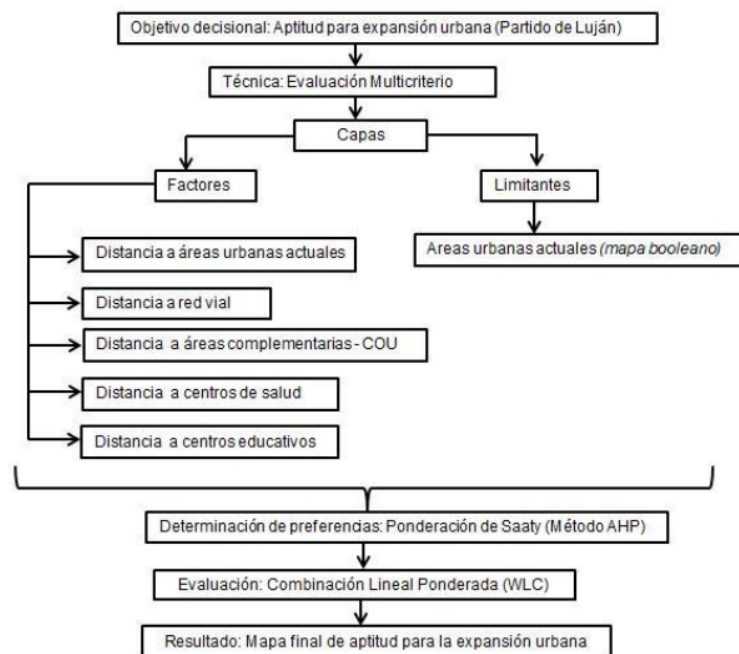
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina

Hacia el mapa de aptitud urbana

Las definiciones preliminares implicaron evaluar diversas capas temáticas con información relevante para su inclusión para el análisis de la aptitud urbana en el partido de Luján. Todas las variables en formato vectorial fueron convertidas al formato raster para aplicar la EMC en el software Teraset. En este proceso, la intervención del investigador-decisor es crucial al determinar qué variables se incluyen, qué peso se le otorga a cada una, considerando su importancia para el objetivo de expansión o desarrollo urbano. Se trata de una aplicación exploratoria y a modo de ejemplo, a partir de datos disponibles, que podría ampliarse para mejorar el análisis.

A continuación, se presenta el esquema metodológico utilizado (Figura 6) y se explicitan los pasos y decisiones llevadas a cabo para el análisis de EMC.

Figura 6. Diagrama de solución



Fuente: Elaboración propia

1. Definición del objetivo

En este caso se trata de una EMC con un único objetivo decisonal que es poder determinar las áreas que presentarían mayor aptitud para la expansión o el desarrollo del uso del suelo urbano en el partido de Luján.

2. Base de datos geográfica

Se realizó la recopilación de información a partir de antecedentes y trabajos realizados en el área de estudio relacionados con la temática propuesta. Se seleccionaron, actualizaron y realizaron bases cartográficas a partir de diferentes fuentes de información oficiales. Las capas en formato vectorial se convirtieron a raster, cada una de estas se considera un tema diferente a nivel cartográfico: áreas urbanas, red vial, centros

educativos, centros de salud, radios censales y zonificación del Código de Ordenamiento Urbano (COU) del Partido de Luján (Cuadro 1).

Cuadro 1. *Capas temáticas de la base de datos cartográfica*

Capa temática	Descripción	Fuente
Áreas urbanas actuales	Áreas urbanas del partido de Luján 2020. La digitalización se realizó a partir de la interpretación visual de imágenes satelitales de Sentinel 2, color natural, con fecha 4/3/20, con un pixel de 20 metros de lado.	Satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea – (ESA por sus siglas en inglés)
Centros de Salud	Capa de puntos con los centros de salud del partido de Luján. Se consideran hospitales, centros periféricos y centros de atención primaria de la salud.	Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN
Centros Educativos	Capa de puntos con los centros educativos del partido de Luján. Se contemplan centros públicos y privados, desde nivel inicial hasta universitario.	Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina - IGN
Código de Ordenamiento Urbano (COU) del Partido de Luján.	Capa temática con la zonificación vigente del partido de Luján donde se contemplan áreas complementarias para el desarrollo o expansión urbana.	Municipio de Luján
Radios Censales	Capa temática con los radios censales del partido de Luján del censo 2010, con datos de población. Utilizada para el cálculo de densidad poblacional. Los radios son la unidad mínima de representación de los datos censales, están definido por un espacio territorial con límites geográficos y una determinada cantidad de unidades de viviendas a relevar en cada Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. En promedio un radio censal incluye 300 viviendas, aunque hay que considerar que para bordes de las localidades el radio puede descender a 200 viviendas.	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina - INDEC
Red vial	Capa temática compuesta por las rutas nacionales, rutas provinciales y	IGN – Complementación propia con vinculación

	complementada con los principales accesos viales.	de QGIS y Google Satélite.
--	---	----------------------------

Fuente: Elaboración propia

3. Análisis de aptitud

Aquí se explicita la regla de decisión de acuerdo al objetivo planteado y se aplica la metodología a través de la superposición de las capas temáticas. ⁴²

Se generan factores con valores en el rango de 0 a 255 mediante una estandarización difusa, con la herramienta “fuzzy” del software utilizado, lo que permite crear mapas de aptitud continua para cada criterio, variando entre los extremos de apto y no apto. ²²

En esta fase es importante la asignación de valores cuantitativos a las categorías correspondientes a cada criterio, ya que esta valorización incide directamente en el resultado de la evaluación. Posteriormente, mediante un procedimiento sencillo de modelado cartográfico, se obtiene el mapa de aptitud.

Es fundamental destacar que todos los mapas se multiplican por el mapa booleano de áreas urbanas actuales como restricción, asignando un valor de 0 a las áreas actualmente urbanizadas y 1 al resto. Esto se realiza para excluir del análisis las áreas ya consolidadas como urbanas que, debido a sus características físicas, podrían ser aptas para otros usos. Los factores y la restricción considerados para la obtención del mapa de aptitud urbana se derivan de los mapas de las variables seleccionadas y se detallan a continuación. ²²

Distancia a áreas urbanas actuales: La aptitud para la expansión urbana disminuye al aumentar la distancia de las áreas urbanas actuales. Se establecen parámetros para que los 2000 metros sean considerados como el umbral de máxima aptitud, disminuyendo gradualmente los valores a medida que se alejan del valor óptimo. Al adoptar este criterio, se tiene en cuenta la importancia de la compacidad de la ciudad como eje de la sostenibilidad urbana, favoreciendo la ampliación de servicios básicos a menor costo debido a la proximidad. Para obtener este primer factor, se genera un mapa inicial de distancias euclidianas, el cual sirve como base para la creación del mapa de estandarización difusa, con valores en el rango de 0 a 255 aplicando la función sigmoideal con decrecimiento monótono.

Distancia a red vial: La aptitud para la expansión urbana aumenta a menor distancia de las vías de comunicación principales. Este criterio favorecerá las áreas cercanas a la red vial como más adecuadas para el desarrollo urbano, estableciendo los 1500 metros como la distancia óptima. Este criterio es fundamentalmente significativo en la localidad cabecera del Partido de Luján, por encontrarse conectada por una autopista directa a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), lo que favorece la conectividad con toda el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), y por ende, se considera beneficioso localizarse cerca de estas arterias de conexión regional. Se genera un mapa de distancias para luego aplicar un cálculo de estandarización difusa lineal decreciente.

Distancia a centros educativos: A partir de este criterio se considera que la aptitud para la expansión urbana es mayor cuando la distancia a los centros educativos es menor, considerando la importancia del acceso a servicios urbanos básicos. Por esto, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando el umbral de 1500 metros.

Distancia a centros de salud: A partir de este criterio se considera que la aptitud para la expansión urbana es mayor cuando la distancia a los centros de salud es menor, considerando la importancia del acceso a servicios urbanos básicos. Por esto, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando el umbral de 1500 metros.

Densidad de población: Este criterio considera que cuanto mayor es la densidad de población existe mayor probabilidad de crecimiento urbano en zonas contiguas a estas áreas. Para el cálculo de la densidad se utilizó la capa temática de radios censales, con el valor de densidad poblacional (considerando cantidad de habitantes y superficie). Luego se calcularon los centroides de cada radio censal para realizar un mapa de calor aplicando la densidad de Kernel para entidades de puntos calculando su densidad alrededor de cada celda, con un radio de 500 metros, ponderado por densidad poblacional. Finalmente, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono, considerando 1000 metros de distancia.

Distancia a Áreas Complementarias (AC) del Código de Ordenamiento Urbano (COU)²: La aptitud para la expansión urbana es óptima cuando está dentro de las AC,

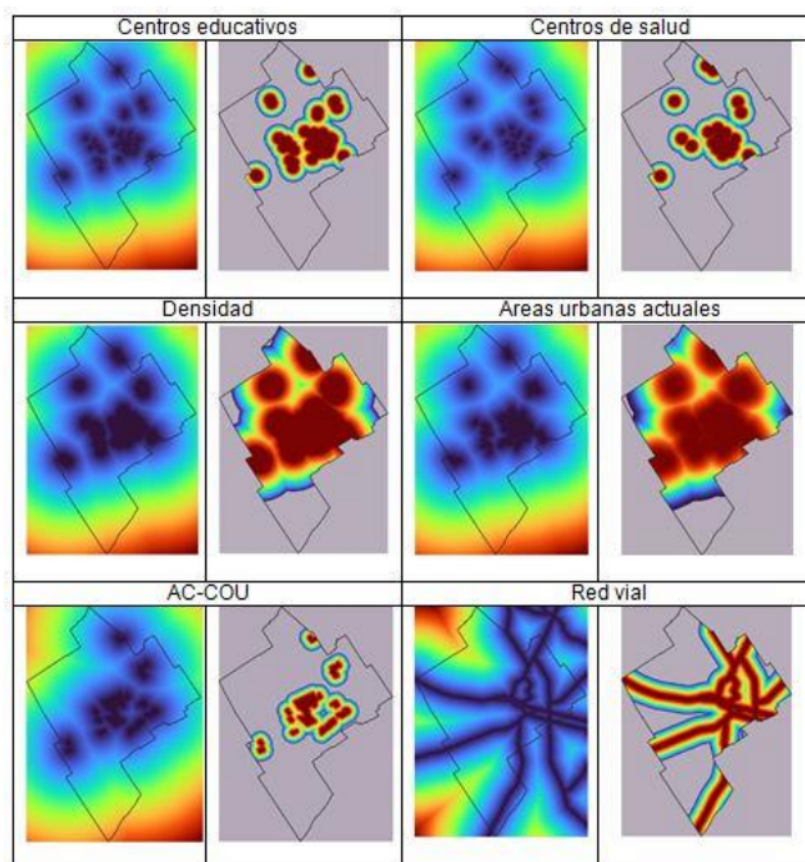
⁹

² Código de Ordenamiento Urbano (COU) vigente actualmente fue aprobado por decreto N°1946 de la Municipalidad de Luján y convalidado por Resolución N° 508/2019 del Ministerio de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires

consideradas en el COU vigente ³⁷ del partido de Luján (2019) con el código AC-RE1 (Áreas complementarias Residenciales Extraurbanas 1) que incluye las áreas destinadas a la localización de segunda residencia, prepara las condiciones para una futura expansión del área urbana y también se admite localización de urbanizaciones especiales y AC-RE2 (Áreas complementarias Residenciales Extraurbanas 2), como áreas de posible expansión urbano-residencial, donde se contempla una primera subdivisión en quintas y grandes parcelas cuya geometría admite fraccionamientos posteriores y también se permite desarrollo de urbanizaciones especiales. La aptitud disminuye a mayor distancia de las AC, se aplicó una función lineal con decrecimiento monótono considerando 1000 metros de distancia.

A continuación, se presenta la figura 7 con los factores considerados y procedimientos aplicados: a) cálculos de distancia en primera instancia y b) estandarización difusa con valores de 0 a 255.

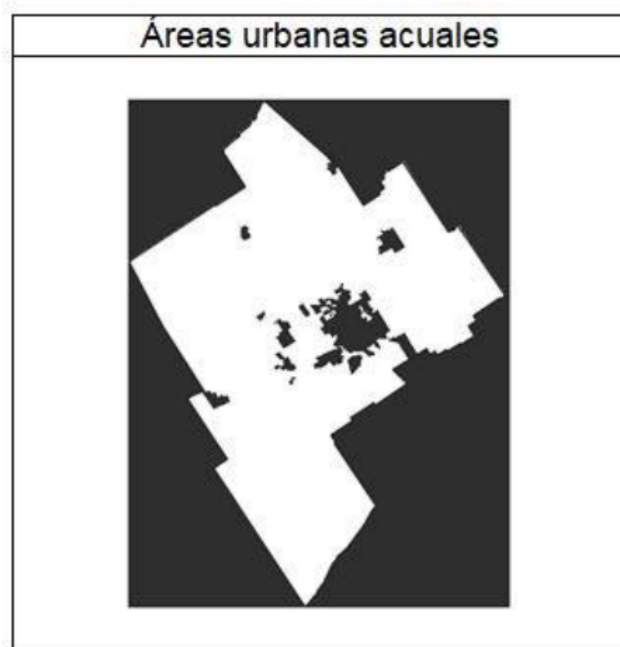
Figura 7. Factores considerados – mapas de distancias y mapas difusos



Fuente: Elaboración propia

Área urbana actual: No se considera en el análisis de aptitud las áreas que ya son urbanas ya que por las características de esta cobertura, no se contempla su cambio de uso. En este caso se construye un mapa booleano, a modo de restricción, (Figura 8) con 0 para las áreas urbanas (color negro) y 1 para el resto (color blanco).

Figura 8. *Restricción considerada – mapa booleano*



Fuente: Eleboración proopia

4. Determinación de preferencias – ponderación de los factores

El paso siguiente corresponde a la definición de preferencias y pesos, a través del método AHP, disponible en el módulo “weightht” de Terrset. A partir de los juicios de valor de los criterios se realiza la matriz recíproca (Tabla 2), considerando la escala de medida presentada en la Figura 4.

Tabla 2. *Matriz recíproca con factores considerados*

	Área urbana	Densidad	Red vial	AC– COU	Centros educativos	Centros de Salud
Área urbana	1					
Densidad	5-Jan	1				
Red vial	3-Jan	3	1			
AC – COU	1	3	3	1		
Centros educativos	9-Jan	7-Jan	5-Jan	9-Jan	1	
Centros de Salud	9-Jan	7-Jan	5-Jan	9-Jan	1	1

Fuente: Elaboración propia en el módulo “WEIGHT” de Terrset

Luego se obtiene el ² vector de prioridad (w_j), que representa el orden de prioridad de los criterios. (Tabla 3).

Tabla 3. Vectores de prioridad de los factores considerados

Factor	Vector de prioridad (w_j)
Área urbana	0,3521
Densidad	0,1165
Red vial	0,1596
AC – COU	0,3154
Centros educativos	0,0282
Centros de Salud	0,0282

Fuente: Resultado de aplicación del método AHP en módulo “WEIGHT” de Terrset

Finalmente, se realiza el cálculo de la RC, considerando los datos del IAM de matrices recíprocas cuadradas (Tabla 1). Se obtiene un RC de 0,06. Es decir, inferior a 0,10 lo que indica que el resultado es consistente, por lo tanto, las ponderaciones de cada criterio quedan establecidas y se puede avanzar en el proceso de EMC.

5. Aplicación de la regla de decisión

El siguiente paso dentro de la EMC para la evaluación de la aptitud urbana consiste en aplicar una regla de decisión, que en este caso se trata de una técnica compensatoria aditiva que es la sumatoria lineal ponderada.

¹⁵ La combinación lineal ponderada (WLC) es un procedimiento o técnica para la EMC, donde los criterios continuos estandarizados se combinan por medio de una suma ponderada. Es de los métodos más empleados por su sencillez y por ser fácil de implementar. Se calcula sumando el resultado de la multiplicación del valor de cada criterio por su peso, según la siguiente fórmula

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Dónde:

r_i : es la variable ponderada definida como objetivo.

w_j : es el peso del criterio o factor j .

v_{ij} : es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio o factor j .

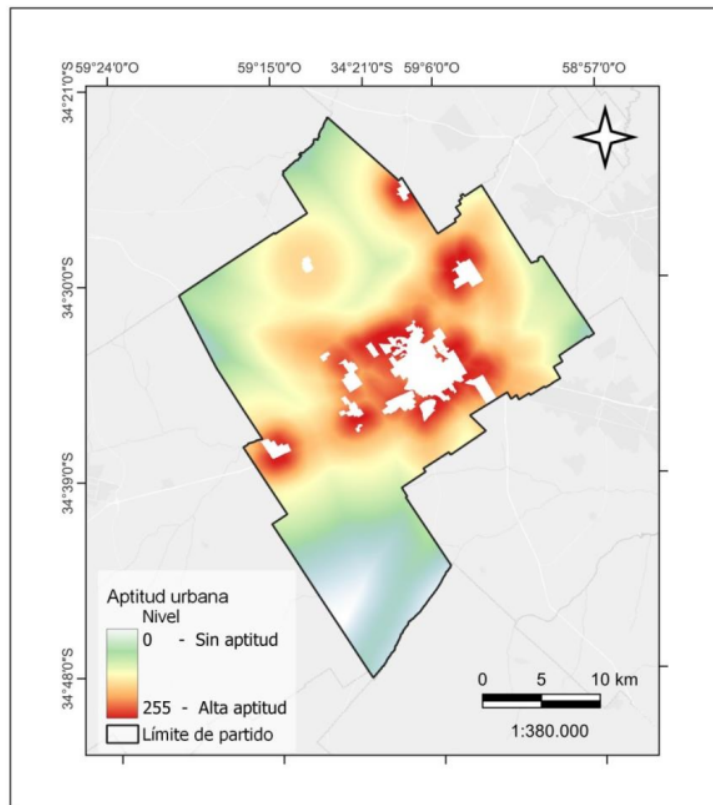
Se trata de una técnica que lleva la solución al extremo superior del triángulo de decisiones (Figura 3) estratégicas donde el nivel de riesgo es medio y existe una máxima compensación entre los factores. En el software utilizado, la aplicación del WLC está disponible como una de las opciones en el módulo MCE (MultiCriteria-Evaluation). Utilizando los mapas difusos de cada uno de los factores y sus correspondientes pesos se realiza el procedimiento sencillo de modelado cartográfico:

WLC = (Área urbana x 0,3521) + (Densidad x 0,1165) + (Red vial x 0,1596) + (AC-COU x 0,3154) + (Centros educativos x 0,0282) + (Centros de salud x 0,0282)

6. Obtención del resultado

El resultado de la evaluación arroja el mapa de aptitud de continua para expansión urbana en el partido de Luján, a partir de los 6 factores considerados y excluyendo del análisis las áreas que ya están consolidadas como urbanas en el área, como se observa en el mapa siguiente (figura 9).

Figura 9. Mapa de aptitud para la expansión urbana en el partido de Luján



Fuente: Elaboración propia en QGIS 3.22.6

Se obtienen los valores de superficie para las categorías de aptitud baja, media y alta, según el rango difuso considerado (Tabla 4)

Tabla 4. *Categorías de aptitud por superficie*

	Superficie (km ²)
Aptitud baja (0-85)	162
Aptitud media (85-170)	372,3
Aptitud alta (170-255)	191
Fuente: Elaboración propia	

Discusión

El resultado obtenido revela la distribución espacial de las áreas propicias para el crecimiento o la expansión urbana en el partido de Luján en tonos rojos. Las áreas con aptitud alta representan una superficie de 191 km². Se evidencia que las zonas con mayor aptitud, se encuentran adyacentes o cercanas a las áreas urbanas existentes, indicando su conexión con la expansión de las áreas ya consolidadas. Este resultado está en concordancia con la regla de decisión aplicada, que priorizó la proximidad a las áreas urbanas actuales con mayor ponderación en la aplicación del método AHP.

Contiguas a la ciudad de Luján, se destacan vastas extensiones con alta aptitud para el uso urbano, asociadas a la expansión horizontal significativa del área. Esta expansión se puede relacionar con la potencial unión de la ciudad a la mancha urbana del Gran Buenos Aires. Por otro lado, 372 km² del partido presentan aptitud media, áreas destinadas principalmente a usos rurales mixtos de la tierra, como la agricultura extensiva, la ganadería y la frutihorticultura intensiva, pero con condiciones físicas óptimas para el desarrollo urbano.

En contraste, las zonas con baja aptitud para el uso urbano, que representan 162 km², están vinculadas principalmente a la combinación de áreas exclusivamente rurales y que se encuentran alejadas de las áreas urbanas existentes como así también de las principales vías de comunicación de la zona lo que dificultaría la integración a los ejidos urbanos actuales.

Dado que se trata de una llanura, el uso del suelo urbano no enfrenta obstáculos significativos para su desarrollo, lo que implica que un gran porcentaje de la superficie pueda considerarse potencialmente apta para la expansión urbana.

Sin embargo, en esta aplicación exploratoria sólo se han considerado seis factores y sólo un limitante para excluir del análisis las áreas urbanas actuales por considerarse que es un uso consolidado sin posibilidad de reversibilidad o cambio. En este sentido, es importante poder incorporar mayor cantidad de criterios – factores y limitantes – para mejorar la evaluación a futuro. Por ejemplo, poder incorporar limitantes vinculados a cursos de agua, áreas ribereñas y humedales existentes en el área permitiría obtener escenarios más restrictivos para la expansión urbana considerando las áreas que presentan aptitud para la conservación de la biodiversidad.

Además, este análisis espacial preliminar es el puntapié inicial para avanzar hacia la evaluación de otros objetivos vinculados a las actividades agropecuarias o las áreas propicias para la conservación, lo que permitiría analizar objetivos contradictorios a partir de la competencia espacial y la identificación de escenarios de potencial conflicto entre diferentes usos del suelo en el partido de Luján que permitirían dar cuenta de la dinámica urbano-regional de esta área, donde se destacan las actividades vinculadas a la producción agrícola extensiva y la producción frutihortícola intensiva en áreas periurbanas, áreas ribereñas y de humedales que el crecimiento urbano de los últimos años ha estado presionando fuertemente, afectando particularmente las zonas de interfase urbana-rural, en el área con suelos más productivos del país, que actualmente se han convertido en objeto de especulación inmobiliaria para la expansión urbana de tipo de dispersa, con emprendimientos privados. A partir del modelado espacial basado en técnicas de EMC multobjetivo con SIG se podría avanzar en esta línea que complejizaría el análisis.

Conclusiones

La importancia de realizar una aplicación de análisis espacial basada en la EMC, como la presentada en este capítulo, radica en su capacidad para analizar el espacio geográfico y respaldar los procesos de ordenamiento territorial. En este caso, conocer las áreas más propicias para la expansión o desarrollo urbano es importante para la toma de decisiones en el ámbito de la planificación urbana, especialmente en ciudades de tamaño intermedio que han experimentado un notable dinamismo en los últimos años.

En este sentido, técnicas tan sencillas como el modelado cartográfico basado en EMC permiten obtener resultados concretos que sirven de sustento para la toma de decisiones espaciales.

La selección y análisis de variables en formato cartográfico posibilitaron la definición de diversos criterios espaciales para la aplicación de la EMC apoyada por SIG. El objetivo principal fue determinar niveles de aptitud para la expansión urbana en el partido de Luján. El método AHP demostró ser apropiado para la ponderación de los criterios, respaldado por una validación estadística aceptable. Esto permitió avanzar en la suma lineal ponderada de los criterios para cumplir con el objetivo locacional establecido.

El resultado cartográfico final no solo proporciona la capacidad de identificar áreas con diversas aptitudes para la expansión urbana, sino que también facilitaría la realización de otros procedimientos dentro del ámbito del modelado cartográfico. Esto puede lograrse mediante la comparación y superposición con mapas que consideren aptitudes para otros usos, lo que permitiría identificar áreas que podrían enfrentar conflictos futuros entre distintos usos del suelo.

² Es importante destacar que las técnicas de EMC han emergido como una de las líneas de aplicación más interesantes de la tecnología SIG, sirviendo como herramienta de apoyo en los procesos de ordenamiento territorial, especialmente durante la fase de planificación territorial, esto se debe a su capacidad para realizar diagnósticos y propuestas de intervención concretas con base científica.

En este sentido, este ejemplo simple de aplicación busca valorizar este tipo de aplicaciones del análisis espacial con SIG, al demostrar su utilidad y versatilidad para administrar datos geográficos, combinar variables sociales y físicas, ⁹ permitiendo el abordaje de problemáticas socioespaciales complejas que requieren de un análisis multidimensional al que se puede llegar por medio de estudios sencillos, evidenciando que el enfoque aplicado de la Geografía es fundamental para generar conocimientos relevantes y útiles para la sociedad

Bibliografía

- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J. I. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. (2011) *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1*. Lugar Editorial.
- Buzai, G. D. y Montes Galbán, E. (2020). Megaciudad Buenos Aires: Cartografía de su última expansión y conurbación mediante el procesamiento digital de imágenes satelitales nocturnas. *Revista Cartográfica*, (100) 215–238. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i100.667>

- Buzai, G. D. y Principi, N. (2017). Identificación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 3(59), 91-124. <https://doi.org/10.15359/rgac.3-59.4>
- Chadwick, G. (1973). *Una visión sistémica del planeamiento*. Gustavo Gili.
- Chorley, R. y Haggett, P. (1967). *Models in geography*. Methuen.
- Da Silva, C. y Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio (EMC) y sistemas de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia, (Argentina). *Geofocus* (16), 23–40. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/445> .
- DeMers, M. (2002). *GIS Modeling in Raster*. John Wiley.
- Eastman, J. R.; Kyem, P. A.; Toledano, J y Jin, W. (1993). *GIS and Decision Making*. United Nations Institute for Training and Research.
- Gómez Orea, D. (2008). *Ordenación Territorial*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Humacata, L. (2017). *Análisis espacial de los cambios de usos del suelo en partidos de interfase urbano-rural de la Región Metropolitana de Buenos Aires, en el periodo 2000-2010, mediante la aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17046.65601>
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (3), 251-273. <https://doi.org/10.1080/02693799508902036>
- INDEC (2023). *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2022: resultados provisionales. 1a ed.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina.
- Isard, W. (1969). *General Theory: Social, Political, Economic, and Regional, with Particular Reference to Decision-making Analysis*. M.I.T. Press.
- Naciones Unidas – Habitat (2016). *Urbanization and Development: Emerging Issues. World Cities Report 2016*. Naciones Unidas.
- McKenna, C. K. (1980). *Quantitative methods for public decision making*. McGraw-Hill.

- Malczewski, J. y Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Sciences*. Springer.
- Morales Ramírez, L. y Pineda Jaimes, N. (2023). Determinación de áreas de potencial conflicto entre usos del suelo en el Municipio de Villa Guerrero, Estado de México” en *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 15 (25), 1-22. <https://revistageosig.wixsite.com/geosig/geosig-25-2023>
- Moreno Jiménez, A; Buzai G. D. y Fuenzalida Díaz, M. (2012). *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. Ra-Ma.
- Naciones Unidas. (2016). *Objetivos del desarrollo sostenible 17 objetivos para transformar el mundo*. Naciones Unidas. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities>
- Páez Gallego, J. (2015). Teorías normativas y descriptivas de la toma de decisiones: un modelo integrador. *Opción*, 31 (2), 854-865.
- Principi, N. (2021). Evaluación multicriterio aplicada a la expansión urbana en Luján (Buenos Aires, Argentina). *Anuario de la División Geografía*, 15, 1-14. <https://adgunlu.wixsite.com/anuario-geografia/anuario-15-2021>
- Principi, N. (2017). Avances para la obtención del mapa de aptitud agrícola en la cuenca del río Luján con evaluación Multicriterio. *Red Sociales*, 4 (5), 157-167.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Proces*. Mc Graw Hill Press.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process: what it is and how it is used, in *Mathematical Modelling* 9 (3-5), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Tomlin, C. D, (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs-Prentice Hall.
- Toskano Hurtado, G. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. [Tesis de Licenciatura en Investigación de Operaciones, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú].

[https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.h
tm](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/contenido.htm)

ANÁLISIS ESPACIAL CON AUTOMATAS CELULARES, APLICADO AL CRECIMIENTO DE CIUDADES

Ricardo Eliú Lozoya-Ponce¹

Eduardo Jiménez-López²

Román Sánchez Dávila³

Resumen

En este trabajo se muestra la complejidad del crecimiento urbano y su modelización mediante el uso de Autómatas Celulares (AC). Se destaca la importancia de comprender la sostenibilidad urbana para planificadores y gobiernos, especialmente en ciudades de más de un millón de habitantes. Los autómatas celulares son una herramienta eficaz para simular y predecir la transformación urbana, permitiendo mejorar la comprensión de la dinámica espacio-temporal del crecimiento urbano, además se integran a sistemas de información geográficos (SIG), para facilitar su manejo. El modelo opera con reglas de transición deterministas, que son evaluadas en cuanto a su capacidad para representar fenómenos urbanos realistas y su potencial para describir la planificación urbana. También se destacan las limitaciones e incertidumbre inherentes a los modelos de AC deterministas, así como la necesidad de incorporar factores adicionales que proponen mejoras en la metodología y una mayor integración de los AC con otros modelos para avanzar en la planificación urbana y la inteligencia territorial.

Palabras clave: Crecimiento urbano, Autómatas Celulares, Reglas de Transición, Dinámica Espacio-Temporal.

¹ Doctor en Ciencias Aplicadas. Tecnológico Nacional de México–Instituto Tecnológico de Chihuahua, México. orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9927-2011>

² Doctor en Ciencias Aplicadas. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado México, México. orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4333-3890>

³ Doctorando en Urbanismo por la Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado México, México. orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2292-4119>

Introducción

El crecimiento urbano ha derivado cambios sociales, económicos y tecnológicos, particularmente en ciudades que tienen más de un millón de habitantes. Regularmente conduce a un desarrollo lento en los servicios básicos que son destinados para la población y limita la capacidad de carga de las ciudades. Comúnmente en las periferias de las ciudades causa consecuencias negativas para el dinamismo del desarrollo urbano y deteriora el medio ambiente a escalas inusuales (Burak et al. 2017).

Las investigaciones sobre los mecanismos del crecimiento urbano son relevantes para los planificadores, gobiernos y tomadores de decisiones, que tratan de mejorar la comprensión de la sostenibilidad urbana. Los autómatas celulares (AC) es una herramienta que ayuda a entender la complejidad de los sistemas urbanos. Es una técnica que potencializa las simulaciones para predecir y comprender la transformación urbana en el espacio y el tiempo (Musa et al. 2017).

La técnica de AC es poco utilizada en México por las partes interesadas en pronosticar y evaluar el potencial sobre los beneficios sociales y resultados ambientales del desarrollo urbano antes de su implementación (Jiménez-López et al., 2018). Esta técnica otorga información sobre la dinámica urbana y las complejas relaciones entre los cambios urbanos, el desarrollo socioeconómico y los sistemas sustentables (Li et al. 2017).

Los AC son un modelo dinámico discreto con ventajas únicas para simular problemas complejos no lineales (Jiménez-López, 2022). Data de la década de 1940, cuando S. Ulan y J. von Neumann consideraron la posibilidad de una máquina autorreplicable. Wolfram en 1984 demostró las capacidades que tiene el análisis de AC para modelar procesos naturales complejos y generar cambios a través de interacciones locales entre componentes vecinos.

La aplicación del modelo de AC genera espacios celulares, con esto, la investigación geográfica incorporó por primera vez a los sistemas de información geográfica (SIG) que llevaron a la simulación de situaciones urbanas del mundo real. (White et al., 2015).

La creciente popularidad de la AC en el modelado urbano podría atribuirse en gran medida a su simplicidad, flexibilidad, controlabilidad y capacidad para incorporar el

espacio y el tiempo en los procesos de desarrollo urbano. Los AC puede simular sistemas urbanos no lineales por medio de reglas simples que pueden funcionar con datos de sensores remotos y SIG (Musa et al. 2017). Se afirma entonces, que la técnica de AC es más conveniente a utilizar en comparación con modelos basados en agentes, metodologías desarrolladas en las últimas décadas (Yin et al., 2018).

La integración de AC con SIG proporciona una herramienta poderosa para realizar cálculos complicados basados en datos locales produciendo mejores resultados que las ecuaciones diferenciales (Musa et al. 2017). Por otro lado, los AC en el modelado urbano no generan errores en la entrada de los datos espaciales por ello crea certidumbre inherente en el manejo de la cantidad de datos (Liu et al., 2021).

Los AC simulan la expansión urbana, se convierten en una técnica espaciotemporal que aborda diversos problemas. En este trabajo se hace una descripción general de los conceptos básicos y las modificaciones que al uso de AC para el modelado urbano. Por ende, el objetivo es proporcionar una visión general de la definición, modificación y aplicación de AC en la planificación urbana desde las perspectivas de celda, espacio celular, vecindad, paso de tiempo y regla de transición; tácitamente se realiza la recopilación de los datos requeridos.

Metodología y recopilación de datos

Los componentes básicos de AC son espacio celular, celda, vecindad, pasos de tiempo y reglas de transición. Donde cada componente tiene implicaciones geográficas que se aprovechan para hacer la unión de dos disciplinas (Feng y Tong, 2020). El espacio celular representa el espacio geográfico bidimensional compuesto por celdas regulares. Los estados de las celdas se pueden decir que son las condiciones iniciales del sistema que representa a los diferentes usos del suelo. Una de las partes fundamentales del modelo de AC son las reglas de transición, cada celda cambia constantemente de acuerdo con su estado y la regla de transición con el paso del tiempo discreto. (Jiménez-López et al., 2018)

El espacio celular es una cuadrícula regular compuesta de celdas cuadradas y particularmente adecuadas para el procesamiento por computadora y compatible con datos de los mapas generados. El espacio celular puede ser tridimensional para representar el crecimiento vertical de las áreas urbanas (Jiménez-López y López-Rivera,

2023). Para aproximar los AC a procesos de simulación más reales se necesita modificar dos componentes como son el espacio de celda, que puede basarse en unidades espaciales irregulares, generalmente se representa como un polígono que refleja el uso de la tierra, el tamaño de la población y las condiciones económicas. Las celdas células, parcelas o bloques regulares proporcionan una buena representación de la realidad, pero conducen a definiciones complicadas de vecindad. El espacio de las celdas normalmente se propone homogéneo en el AC determinista, lo que indica celdas idénticas y exclusivas caracterizadas por su estado. Sin embargo, la gran influencia de los atributos en los cambios de uso de la tierra, como como la accesibilidad al transporte o las condiciones físicas, varían la idoneidad de las diferentes celdas para determinados usos del suelo (Valdez, 2019)

El segundo componente es la vecindad, suele haber dos tipos de vínculo. En AC determinista, la vecindad es isotrópica y homogénea para cada celda y consta de un conjunto finito de celdas geométricamente más cercanas (i.e. vecindad de Neuman y Moore). En aplicaciones urbanas, se adopta una vecindad extendida para considerar los efectos del vecindario en los efectos de las entidades geográficas (White et al., 2012). El tamaño del vecindario puede extenderse a una distancia especificada y se suele introducir una ponderación según la distancia, para considerar el efecto de la disminución de la distancia. Si se basa en unidades irregulares, las unidades adyacentes dentro de una cierta distancia o grado de proximidad se utilizan para representar un vecindario (Xia et al., 2018).

La modificación que se aplica es la vecindad no estacionaria, que define diferentes espacios de vecindad para células que son tomadas al azar en una forma discreta (Jiménez-López et al., 2018). Como núcleo del modelo AC, las reglas de transición generalmente implican modificaciones sustanciales, considerando las particularidades y complejidad de aplicaciones específicas. Las reglas de transición originales sólo dependen de los estados de una célula y sus vecinos cercanos. Dado que los procesos urbanos están influenciados por numerosos factores, se modifican las vecindades para considerar los efectos externos. Los AC tienen la característica de ser flexibles, las reglas de transición se pueden definir de diferentes maneras según las preferencias de cómo se modela la ciudad.

La aleatoriedad e incertidumbre del crecimiento urbano puede reflejarse en la estructura de la simulación. En AC determinista, las reglas de transición son estáticas y las mismas en cada paso del tiempo. Sin embargo, en un espacio lineal o unidimensional las células adyacentes sólo pueden ser tres, las que necesariamente comparten frontera y que generan ocho combinaciones posibles. El número de reglas de transición o de instrucciones posibles para la evolución de un AC determinista de tres bits en un espacio lineal generan en un factor de 2^n , con $n = 8$ que otorga 256 reglas de transición posibles para simular la evolución de un modelo de AC de tres bits en el espacio lineal (Padilla et al, 2015).

Los pasos de tiempo en una AC determinista son discretos, lo que supone que el crecimiento urbano ocurre al mismo tiempo. El estado futuro en la cuadrícula depende de las reglas de transición y de su estado en el período anterior. En este trabajo se propone no realizar la segregación de los datos en el primer renglón

La clave es encontrar la regla de transición que mejor simule el proceso de expansión urbana para cada ciudad que participa en el experimento, de entre el conjunto de 256 Reglas de Transición posibles. Para lograrlo, se requieren por lo menos dos cosas: i. Probar todas las reglas de transición (las 256); y ii. Contar con indicadores de bondad de ajuste que valoren la similitud de los resultados del modelo de AC con la realidad observada, para medir la precisión de cada regla de transición. En este trabajo se estiman ambos parámetros.

Un AC determinista se puede expresar matemáticamente en la ecuación (1)

$$\gamma = (d, S, H, \delta) \quad (1)$$

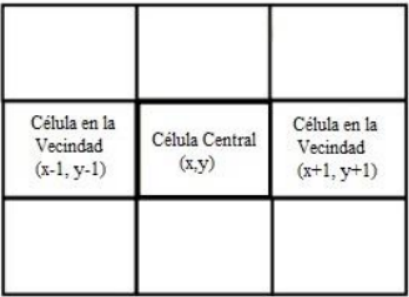
donde d representa el espacio $n - dimensional$, S el conjunto de estados, H el espacio de vecindad y δ las reglas de transición. Los AC deterministas son fáciles de combinar con otros métodos, técnicas y modelos para mejorar las capacidades de simulación en aplicaciones específicas (Gounaridis et al., 2019).

La naturaleza sencilla de AC determinista limita la capacidad de representar el mundo real fenómenos geográficos. E la adaptación del modelo en aplicaciones urbanas, se deben incluir las particularidades de los procesos geográficos para representar Heterogeneidad geográfica, que conduce a la relajación de los componentes originales de AC. Por ejemplo, las características geográficas del vecindario pueden ser incorporado

en AC que simplifica las estructuras basadas en reglas. Al integrar las bases de datos SIG, vuelve más poderosa la simulación de la estructura urbana por la gran cantidad de datos que se manejan una imagen de satélite de una ciudad. Todo esto desarrollado para formular escenarios de planificación.

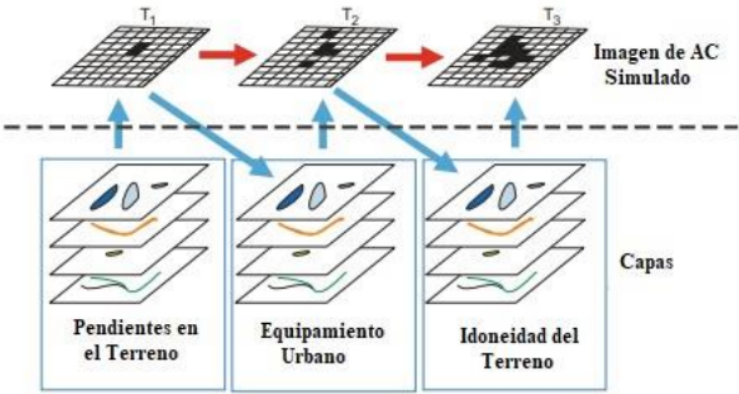
Se supone que la evolución de la ciudad se aproxima a la realidad, ciudades que están influenciada por una serie de factores que son posibles introducirse a la simulación. Tales como pendientes del terreno, leyes de construcción (i.e. zonas donde no es posible construir), Zonas restringidas para recargas acuíferas, zonas donde la elevación del terreno es mayor a 30 grados, probabilidad de transición, entre otros muchos factores. Se recomienda utilizar algunos factores o restricciones para regular la simulación y mejorar el rendimiento del modelado.

Figura 1. Partes fundamentales de AC en la regla de Transición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Modelo de AC determinista e Imagen base de ciudad en estudio.



Fuente: Elaboración propia

Al juntar AC con el sistema de información geográfica desarrolla escenarios de planificación muy importantes y otorga información valiosa. Dependiendo de la regla de transición la evolución de la ciudad está influenciada por una serie de factores complicados que pueden definirse en niveles locales. Se debe hacer notar que se deben utilizar algunas restricciones para regular la simulación y mejorar el rendimiento del modelo propuesto. Sin restricciones, la simulación urbana generará patrones habituales basados en tendencias históricas.

En las últimas décadas este tipo de modelos AC unido a SIG puede reflejar consideraciones ambientales y de desarrollo sostenible. El modelo AC determinista se le pueden agregar factores importantes para la formación de patrones idealizados, donde toma en cuenta la influencia de los estados vecinos, sino también una serie de factores económicos y medioambientales. Estas limitaciones pueden incluir la idoneidad ambiental, las formas urbanas, y densidad de desarrollo (Jiménez-López et al., 2018).

Recopilación de datos y calibración del modelo

Los AC deterministas normalmente requieren una gran cantidad de datos. Los datos de teledetección se utilizan a menudo para monitorear, medir las alteraciones y características de los cambios de uso del suelo. Las imágenes son obtenidas mediante teledetección de mapas de uso de la tierra. Con diferentes tiempos de la misma área se puede utilizar para la calibrar, validar y realizar simulaciones del modelo. Además, se le pueden agregar factores con las redes de tráfico, los atributos naturales (i.e. pendientes en el terreno) y otros

Los factores físicos se utilizan comúnmente para evaluar la idoneidad de la tierra para el desarrollo. Los planes de uso de la tierra pueden proporcionar información sobre el desarrollo de la tierra. Muchos estudios han utilizado datos socioeconómicos, como la densidad de población, para producir resultados de simulación más realistas.

La calidad de los datos de estas fuentes de entrada es una preocupación en las aplicaciones de AC determinista (Aburas et al. 2016). Se adopta la clasificación semi-supervisada para clasificar las imágenes en diferentes tipos de uso del suelo, es decir urbano y no urbano. En el software SIG se utilizan herramientas para visualizar mapas con diferentes resoluciones espaciales para análisis comparativos.

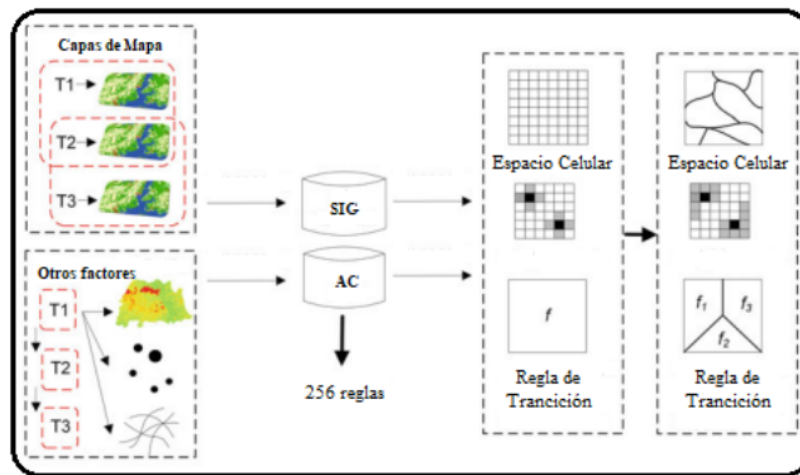
En este trabajo se utilizan cuatro etapas enfocadas a la generación del mapa sobre el área de estudio. El primero paso es obtener la imagen, que es la ubicación de la imagen en formato raster (i.e. imagen en píxeles), determinando sus características, así como los repositorios donde se puede descargar. El segundo paso es el preprocesamiento, que realiza correcciones sobre las imágenes: radiométricas, geométricas y atmosféricas, lo que elimina los errores producidos en el momento de la captura. El tercer paso es la combinación de bandas espectrales, que es la parte fundamental de una imagen de satélite, destacando la zona de interés, ¹⁵ área urbana. La combinación de las ¹⁵ bandas se realiza mediante una herramienta codificada en el lenguaje de programación Python con el método Brovey que realiza operaciones entre las diferentes bandas de baja resolución. El resultado se produce multiplicando las bandas pancromáticas previamente normalizadas como se muestra en la ecuación (2).

$$B_i = \frac{B_i}{B_1 + B_2 + \dots + B_n} (PANC) \quad (2)$$

Donde n representa el número de bandas espectrales que se combinan pueden ser $i = 1, 2, \dots, n$ y $PANC$ son las bandas pancromáticas. La cuarta etapa es la clasificación, donde se realiza una separación de clases según ¹⁵ los diferentes tipos de áreas presentes en la imagen satelital: área urbana, vegetación, agua, entre otras. Esta etapa genera imágenes binarias que son entradas para la CA.

La utilización de AC determinista puede proporcionar resultados significativos, especialmente para la planificación urbana, debido a errores inherentes e incertidumbre. En general, considerando ⁸⁰ los dos aspectos anteriores, el modelo se puede describir con el diagrama de flujo que se muestra en la Figura (3).

Figura 3. Pasos de Modelo de AC determinista.



Fuente: Elaboración propia

Aplicación de AC Determinista en la Planificación Urbana

El desarrollo de AC para aplicaciones urbana y regional está considerablemente influenciado por el uso previsto y la funcionalidad del modelo. Se trata de aplicar el modelo de AC determinista para explorar la complejidad espacial, probar teorías e ideas urbanas y como herramienta de planificación de soporte, ver Figura (4).

Para explorar la complejidad espacial, El modelo de AC determinista se utilizan para avanzar en la comprensión de la ciudad de Toluca-México, que se observa como un sistema complejo, adaptativo y dinámico. Como todo modelo el perceptible a limitaciones en el formalismo AC, que se requiere para el modelo aplicado en la exploración de los principios

que rigen el desarrollo urbano espacial. AC es la combinación de una estructura espacial, un conjunto de estados y reglas de transición donde se propone la idea principal de este trabajo.

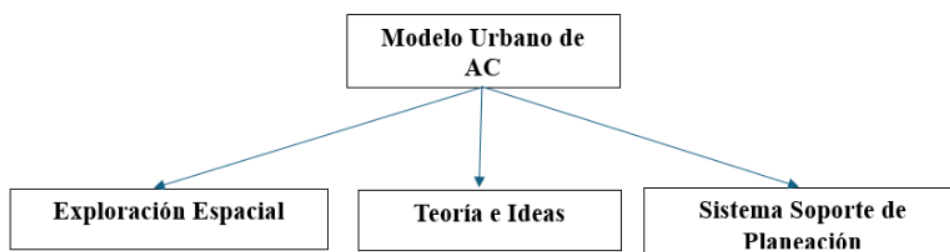
La aportación que se realiza tiene una idea detrás de AC es encontrar elementos simples como la complejidad en la ciudad y comparar estos elementos con modelos generado en el mismo sistema, realizar la simulación de las 256 reglas de transición, estas reglas se pueden generar con tres bits (i.e. los bits vecinos a sus lados) y obtener que regla simula mejor a la ciudad.

Los AC se tomaron como una herramienta bien conocida por sus elementos para mostrar cómo se puede producir el desarrollo espacial a partir de reglas simples. En varios trabajos que se han realizado la ciudad de Toluca ha mostrado su gran valía para explorar la complejidad espacial, se ha tratado de ajustar las investigaciones al desarrollaron con la teoría fractal, caos, no linealidad, gráficos por computadora y complejidad (Jiménez-López et al., 2018).

AC se puede utilizar para probar teorías e ideas de desarrollo urbano, examinando los roles de la complejidad en la dinámica impulsora de los procesos urbanos, como la expansión urbana, la difusión, el policentrismo, entre otras. Encontrar la mejor regla de transición que describa el crecimiento urbano, esto significa encontrar la mejor relación de vecinos cercanos que describa el crecimiento de la ciudad. Es la clave para desarrollar vínculos estrechos y directos entre las zonas dentro de la ciudad.

Las reglas de transición derivadas de las teorías urbanas pueden ayudar a explorar varias ideas hipotéticas sobre las ciudades. Las relaciones complejas entre los procesos físicos, socioeconómicos y los entornos urbanos se han explorado como la ecología, el diseño y la sociología urbanas (Batty 1998; Barredo et al. 2003). Sin embargo, los modelos AC en la teoría urbana a menudo se preocupan con detalles sobre cómo construir el modelo, pero no explican las teorías que pretendían desarrollar y no llegan a un avance significativo (Torrens y O'Sullivan 2001). El uso de modelos de AC urbana como sistemas de apoyo a la planificación requiere modificaciones como se expresa en la Figura (3).

Figura 4. Aplicaciones Potenciales del modelo AC determinista.



Fuente: Elaboración propia

Dos aplicaciones mostradas en la Figura (3) están encaminadas a producir resultados más realistas relevantes con la ayuda del modelo de AC en la planificación, gestión y políticas urbanas. Estos modelos de AC sirven como herramientas de apoyo en

la inteligencia territorial que pueden ayudar a los gobiernos, planificadores y partes interesadas a evaluar los beneficios sociales y las consecuencias ambientales y ecológicas de las diferentes objetivos, opciones y políticas de planificación.

Estos tipos de modelos de AC determinista, incluyendo los límites del crecimiento urbano, la evaluación de opciones de planificación urbana y la prevención del desarrollo ilegal en las periferias (Xia et al. 2020). El modelo de AC determinista utiliza los siguientes conceptos que son utilizados en la investigación; (1) construir una línea base simulación y predicción del crecimiento; (2) evaluar el desarrollo existente en comparación con desarrollo óptimo; (3) simular alternativas de desarrollo de acuerdo con diferentes objetivos de planificación para ayudar al proceso de planificación urbana.

La planificación urbana y la inteligencia territorial van de la mano, se han convertido en una parte importante de la planificación territorial para delimitar el crecimiento de la ciudad. El objetivo es garantizar un crecimiento urbano inteligente, que pueda aumentar la densidad de servicios urbanos y proteger los ecosistemas naturales circundantes. Se han tratado de introducir elemento importante en el diseño de planes de uso del suelo en ciudades mexicanas.

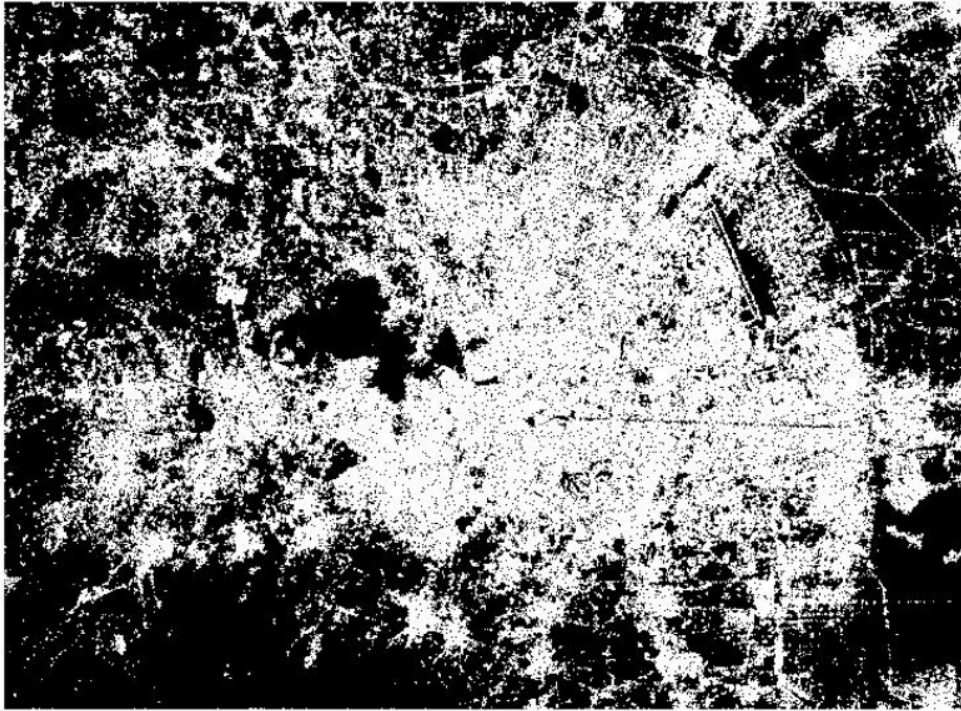
Las ciudades en México necesitan frenar su caótica expansión urbana mediante la delimitación de donde puede crecer y donde no, para sostener las reservas de tierras agrícolas que cada vez son menores. La inteligencia territorial debe de comprender el mecanismo de la dinámica urbana y considerar varios factores geográficos. Estos modelos pueden ayudar a los planificadores a delimitar la futura expansión urbana desde una perspectiva de optimización espacial. Tradicionalmente, los modelos de evaluación de la idoneidad del uso de la tierra proporcionan una forma sencilla de delimitar el crecimiento de la ciudad (Chettry y Surawar, 2021).

Un problema importante de las ciudades que cambian mucho en el tiempo es que influenciado por actividades antropogénicas y procesos naturales. Los métodos basados en la idoneidad ignoran las características del paisaje durante la delineación de planes decrecimiento (Santé-Riveira et al. 2008). Este enfoque requiere técnicas eficientes y factibles para delimitar los límites. Los AC puede satisfacer múltiples objetivos en la delimitación de la ciudad, incluida la máxima idoneidad urbana y la preservación de tierras agrícolas de alta calidad, zonas de recarga de agua, equipamientos urbanos como calles y parque en la ciudad (Ma et al. 2017; Liang et al. 2018).

En este trabajo utilizamos python y ArcGIS, como herramienta eficaz para realizar la simulación de AC urbana y delimitar el crecimiento al agregar capas que afectan o limitan el crecimiento de la ciudad que implica varios procedimientos. Primero, recuperamos varias variables espaciales y datos de uso de la tierra, elevaciones-uso para estimar la probabilidad de transición de cada tipo de uso de la tierra. En segundo lugar, se realiza las simulaciones entrenando al sistema. Este entrenamiento consiste en introducir escenarios de línea base, desarrollo de zonificación económica y escenarios de crecimiento urbano excesivo. Tercero, realizamos la simulación de la mejor regla encontrada de AC determinista y con ello podemos hacer una comparación del crecimiento con otra imagen de la ciudad en otro instante de tiempo para encontrar un error inherente a la simulación.

El modelo propuesto en este trabajo puede encontrar restricciones de probabilidad y escenarios múltiples, así como otros factores de restricción. En la Figura (4) se muestra un ejemplo del uso de AC determinista, el área de estudio es la ciudad de Toluca que tiene una característica importante y muy desarrollada en muchas urbes en el mundo, que está integrada por seis municipios, que es una de las aglomeraciones urbanas de más rápido desarrollo en México, proyectadas para 2030. Se utiliza para guiar futuros planes maestros urbanos, que pueden evitar el desperdicio de recursos de tierra.

Figura 5. Simulación de AC determinista en el área de Estudio de Toluca 2030.



Fuente: Elaboración propia

Conclusión

El modelo de AC determinista tiene fortalezas y debilidades. La simulación del rápido desarrollo urbano con modelos de AC se debe principalmente a su sencillez. Sin embargo, la simplicidad del modelo limita la AC tiene la capacidad de representar fenómenos urbanos realistas, lo que lleva a modificaciones extensas e introducción de complejidad en el modelo. Aparece un cuestionamiento sobre si estos modelos constituyen simulaciones muy cercanas a la realidad y si son demasiadas las modificaciones a AC que lo constituyen en otro sistema de simulación.

Un punto fuerte de AC determinista es la flexibilidad, que permite su acoplamiento en diferentes aplicaciones. La flexibilidad puede causar confusión y dificultades para los usuarios si no existe una definición estándar de reglas de transición o cual se aplica. Encontrar el equilibrio entre sencillez y realismo es una característica de los modelos descriptivos, así nos lleva a tener un modelo flexible y estandarizado.

El modelo de AC es descriptivo que tiene la capacidad para examinar ideas hipotéticas relacionadas con las ciudades. Las imágenes capturadas por satélite, que se convierten en nuestros datos de entrada y de comparación, que pueden variar mucho entre lapsos de tiempo, minutos, horas, días; por diferentes razones de captura. En este trabajo se propone un método para realizar una buena aproximación de estas imágenes utilizadas por el modelo de AC determinista. Esta aplicación reduce tiempo en el mejoramiento de la imagen obtenida y así no se modificar o rediseñar la simulación.

Además, AC determinista está diseñado para operar en ArcGIS (un complemento de software que se ejecuta en ArcGIS Desktop) se ha desarrollado para proporcionar las funciones completas de simulación, predicción, optimización y visualización de una variedad de patrones geográficos y procesos dinámicos, como cambios en el uso de la tierra, evolución urbana, zonificación de áreas naturales para su protección e instalaciones. Como el único software que integra la simulación espacial y la capacidad de optimización, AC determinista para ArcGIS comprende un simulador y optimizador geográfico. Acoplando sus resultados para resolver problemas complejos de simulación y optimización espacial.

El problema que han surgido en AC determinista es que los gobiernos o los planificadores no les interesa estas herramientas de simulación y así tomar mejores decisiones. Muchos usuarios tienen dificultades para obtener detalles de los datos de entrada, especialmente las fechas en las que se obtuvieron. Un ejemplo de esto es la es el equipamiento urbano que existe en la ciudad, que se construyó después del período simulado y que fue utilizado en la simulación, lo que hace que la simulación sea algo cuestionable.

Se evalúan los resultados de su simulación comparando el mapa simulado con el mapa de referencia de toda el área de estudio, pero no pudo comparar el porcentaje de errores con el porcentaje de áreas convertidas. Utilizaron métricas erróneas para evaluar el desempeño del modelo, y que se proponen nuevas métricas en otros trabajos realizados por este equipo de trabajo. Unas soluciones pertinentes son separar la información de calibración, desde información de validación a través del espacio (seleccionando píxeles aleatoriamente), en lugar de a través del tiempo (utilizando un mapa urbano de otro año).

Se necesitan más estudios para proporcionar nuevos conocimientos sobre los usos de AC en teorías geográficas y urbanas. La integración de modelos de AC determinista y

otros modelos puede superar las debilidades de la AC, como ocurre con los modelos económicos, mejorando así el rendimiento del modelo. Se trabaja en hacer más esfuerzos para mejorar AC mediante la incorporación de interacciones a nivel micro y procesos múltiples. Se propone estudiar las bifurcaciones espaciales, que se refiere al hecho de que en una pequeña superficie lisa, el cambio en los valores de los parámetros puede causar un cambio repentino en el comportamiento del modelo.

Finalmente, los modelos de AC determinista no deben usarse para proporcionar predicciones exactas de los sistemas urbanos. Pero para simular interactivamente diferentes escenarios hipotéticos para la implementación de políticas mediante la modificación de la norma. Una aportación que puede ser destacada es la incorporar factores del cambio climático en la inteligencia territorial y la planificación urbana, como los efectos de las islas de calor, cambios en la producción agrícola, cambios hidrológicos y cambios en los patrones de uso de la tierra. Esta integración puede facilitar la simulación de cambios futuros en las coberturas terrestres globales y regionales. La simulación de la evolución urbana con categorías de suelo urbano más finas deber a ser atractivas para la práctica de planificación real con la incorporación de BIG data o datos de redes sociales.

Bibliografía

- Barredo, J; Kasanko, M; McCormick, N; Lavallo, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and urban planning*, 64(3), 145-160. <https://goo.su/7kRT36>
- Batty, M. (1998). Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata. *Environment and planning A*, 30(11), 1943-1967. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/a301943>
- Burak, G; Zhou, Y; Ürge-Vorsatz, U; Gupta, M; Yu, S; Patel, P; Fragkias, M; Li, X; Seto, K. (2017). Global scenarios of urban density and its impacts on building energy use through 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8945-8950. <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1606035114>
- Chetty, V; Surawar, M. (2021). Delineating urban growth boundary using remote sensing, ANN-MLP and CA model: a case study of Thiruvananthapuram urban agglomeration, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(10), 2437-2450. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12524-021-01401-x>
- Feng, Y; Tong, X. (2020). A new cellular automata framework of urban growth modeling by incorporating statistical and heuristic methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(1), 74-97. <https://onx.la/f349a>
- Gounaridis, D; Choriantopoulos, I; Symeonakis, E; Koukoulas, S. (2019). A Random Forest-Cellular Automata modelling approach to explore future land use cover change in Attica (Greece), under different socio-economic realities and scales. *Science of the Total Environment*, 464, pp. 320--335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718328006>
- Jiménez, E; Chávez, T; Garrocho, C. (2018). Modelando la expansión urbana con autómatas celulares: aplicación de la Estación de Inteligencia Territorial (Christaller). *Geografía y Sistemas de Información Geográfica, Geosig*, 12, 1-26. <https://onx.la/97efe>
- Jiménez-López, E. (2022, June). Inverse Filter in the Growth of Urban Sprawl with Cellular Automata Model. In *Complex Systems and Their Applications: Second International Conference (EDIESCA 2021)* (pp. 231-247). Cham: Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-02472-6_12

- Jiménez-López, E; López-Rivera, L. (2023). Artificial neural networks in the application of the growth of the urban sprawl. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11(21), 109-119.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/10565>
- Li, X; Chen, Y; Liu, X; Xu, X; Chen, G. (2017). Experiences and issues of using cellular automata for assisting urban and regional planning in China. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(8), 1606-1629.
- Liang, X; Liu, X; Li, X; Chen, Y; Tian, H; Yao, Y. (2018). Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method. *Landscape and urban planning*, 177, 47-63.
- Liu, Y; Batty, M; Wang, S; Corcoran, J. (2021). Modelling urban change with cellular automata: Contemporary issues and future research directions. *Progress in Human Geography*, 45(1), 3-24.
- Ma, S; Li, X; Cai, Y. (2017). Delimiting the urban growth boundaries with a modified ant colony optimization model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62, 146-155.
- Musa, S; Hashim, M; Reba, M. (2017). A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives. *Geocarto International*, 32(8), 813-833.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2016.1213891>
- Padilla, O; Pérez, P; Cruz, M; Huilcamaigua, S; Astudillo, S. (2015). Utilización de autómatas celulares como técnica de modelamiento espacial para determinación el cambio de uso de suelo y cobertura vegetal. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 310-326.
- Santé-Riveira, I; Crecente-Maseda, R; Miranda-Barrós, D. (2008). GIS-based planning support system for rural land-use allocation. *Computers and electronics in agriculture*, 63(2), 257-273.
- Torrens, P; O'Sullivan, D. (2001). Cellular automata and urban simulation: where do we go from here?. *Environment and planning B: planning and design*, 28(2), 163-168.
- Valdez, R. (2019). Spatial diffusion of economic growth and externalities in Mexico. *Investigaciones Regionales-Journal of Regional Research*, (45), 139-160.
- White, R; Engelen, G; Uljee, I. (2015). *Modeling cities and regions as complex systems: From theory to planning applications*. MIT Press.
- White, R; Uljee, I; Engelen, G. (2012). Integrated modelling of population, employment and land-use change with a multiple activity-based variable grid cellular

- automaton. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(7), 1251-1280.
- Xia, C; Wang, H; Zhang, A; Zhang, W. (2018). A high-performance cellular automata model for urban simulation based on vectorization and parallel computing technology. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(2), 399-424.
- Xia, C; Zhang, A; Wang, H; Liu, J. (2020). Delineating early warning zones in rapidly growing metropolitan areas by integrating a multiscale urban growth model with biogeography-based optimization. *Land Use Policy*, 90, 104332.
- Yin, H; Kong, F; Yang, X; James, P; Dronova, I. (2018). Exploring zoning scenario impacts upon urban growth simulations using a dynamic spatial model. *Cities*, 81, 214-229.

ANÁLISIS ESPACIAL Y RELACIONES SOCIOAMBIENTALES: UN ENFOQUE CUANTITATIVO EN LA GEOGRAFÍA APLICADA

Ayesa Martínez Serrano¹

Resumen

La geografía, como ciencia, ha evolucionado a través de diversas corrientes de pensamiento influenciadas por contextos históricos y filosóficos. La Geografía Cuantitativa busca describir y explicar la relación entre el entorno físico y social, utilizando métodos estadísticos y herramientas tecnológicas como las Tecnologías de la Información Geográfica. Este enfoque cuantitativo ha sido potenciado por la geografía automatizada, que emplea cibernética e informática para mejorar la comprensión del espacio geográfico. La investigación presente enfocada desde la Geografía Aplicada enfatiza la importancia de entender las interrelaciones entre la población y el ambiente, adoptando un enfoque holístico que considera la dimensión socio-cultural, natural y del patrimonio construido. El análisis socioambiental se enfoca en las complejas relaciones entre sociedad y entorno, con especial atención a la dimensión territorial. Este análisis se basa en un proceso metodológico que incluye la compilación de datos, la aplicación de técnicas de análisis espacial y la diferenciación de áreas geográficas a partir de un conjunto de variables e indicadores. La metodología propuesta, basada en el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), permite identificar patrones espaciales y estructuras heterogéneas, facilitando la toma de decisiones informadas sobre la gestión territorial y el desarrollo sostenible. Al final, se obtiene un modelo de diferenciación espacial socioambiental, esencial para abordar los desafíos territoriales en áreas metropolitanas.

Palabras Claves: Geografía Cuantitativa, Análisis Espacial, Relaciones Socioambientales, Geotecnologías

¹ Doctora en Ciencias Geográficas. Profesora de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, unidad Mérida de la Universidad Nacional Autónoma de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6987-6815> ; Scopus-id: 2-s2.0-85128827728

En el contexto actual de la geografía ²⁴ aplicada, existen diversos estudios en búsqueda de soluciones ante las problemáticas ambientales en entornos urbanizados. “La Geografía, como campo de generación de conocimiento científico, asume un proceso de transformación, que se orienta en tiempos recientes hacia el uso generalizado de la Geotecnología, donde el tratamiento y análisis de la información, se presentan desde una perspectiva alternativa” (Oropeza y Díaz, 2007: 72). El estudio de los espacios de apropiación urbana, desde la perspectiva del análisis espacial, nos brinda una visión diferente del paisaje y de la realidad social.

Desde la Geografía, existen diversas contribuciones a los estudios socioambientales que ⁶⁵ van desde la descripción al análisis e interpretaciones teóricas, hasta el empleo de modelos matemáticos y estadísticos, que en la actualidad se enriquecen con el desarrollo tecnológico (Bocco y Urquijo, 2013). Entre las diferentes herramientas de ¹⁸ las tecnologías de la información geográfica, encontramos los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) mediante el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA) sustentadas en las bases del análisis espacial, estas brindan un amplio marco metodológico para la clasificación del espacio geográfico, porque permiten realizar análisis cruzados de diversas variables con facilidad, relacionar considerables volúmenes de datos y referirlos a determinadas unidades territoriales o espaciales (Humacata, 2014).

El análisis espacial por su contexto integrador, responde a las necesidades del entorno territorial y regional, de acuerdo con Madrigal et. al. (2009): ³⁰ 141 “en los últimos diez años se ha originado un explosivo desarrollo de las demandas de información geográfica y de las diversas geotecnologías, que procesan de forma automatizada esa misma información, con la finalidad de resolver problemas ambientales y socioeconómicos, y son capaces de mejorar la eficiencia en el desempeño de empresas privadas y generar aplicaciones que implican ⁴⁶ el análisis territorial”. Por su parte, las Geotecnologías desde el análisis espacial ⁴⁶ aportan un componente importante a las herramientas denominadas Sistemas de Apoyo a la Planeación (SAP) en especial por sus capacidades de modelamiento, visualización y comunicación impulsadas por los avances en Tecnologías de la información Geográfica.

En este trabajo pretendemos realizar un recorrido de una propuesta metodológica para la clasificación multivariable que permita la diferenciación espacial de áreas

homogéneas en espacios urbanizados y en procesos de urbanización. Se propone la exploración de la estructura social -urbana de zonas metropolitanas, en una aproximación que tiende a verificar el comportamiento de variables individuales y de conjunto, a partir de la inclusión de la dimensión espacial en la interacción entre bases de datos alfanuméricas y cartografía digital.

Esta propuesta se fundamenta en métodos cuantitativos, se apoya en los postulados de la Geografía Cuantitativa, la Geografía Automatizada y la Geoecología del Paisaje a partir de la concepción de la geometría como lenguaje espacial y de la representación gráfica a través de la matriz de datos geográfica, como un sistema organizador de datos geoespaciales, con el fin de estudiar las distribuciones y asociaciones de problemáticas socio-espaciales en la complejidad del contexto territorial, considerando la unidad geoecológica del paisaje como la base espacial del análisis. Con ello, se logra una diferenciación como modelo territorial, que evidencie las heterogeneidades espaciales, con fines de planificación.

Se emplea como caso de estudio la zona metropolitana de Morelia, en el estado de Michoacán de Ocampo en México, por ser un área interesante desde la perspectiva de las complejidades territoriales en la interacción de contextos urbanos, periurbanos y rurales.

Los resultados de esta propuesta metodológica para la diferenciación del espacio al interior de zonas metropolitanas constituyen un importante apoyo a las actividades de planificación y gestión, convirtiéndose en una herramienta aplicable para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial facilitando la atención a la disposición espacial de las problemáticas socioambientales.

Aspectos conceptuales y metodológicos

Aportes generales desde la Geografía Cuantitativa y Automatizada

La Geografía, como ciencia general desde su largo proceso evolutivo, ha desarrollado una amplia diversidad de líneas de pensamiento. A grandes rasgos, estas han sido influenciadas por condiciones histórico-culturales específicas, y responden a visiones ideológico-filosóficas particulares. Cada una de las corrientes visualiza lo ambiental desde una perspectiva interna, prioriza determinadas bases comunes de la geografía y a la vez genera sus propias categorías (Bocco y Urquijo, 2013). Por su parte,

la Geografía Cuantitativa trata de describir y explicar las relaciones que existen entre el medio físico y el social, explica los procesos y la dinámica del espacio geográfico y para ello utiliza métodos estadísticos y herramientas de cómputo, que facilita el uso de grandes bases de datos, modelos matemáticos y otras importantes herramientas como las Tecnologías de la Información Geográfica. De esta manera, el enfoque que se aplica busca; mostrar la diferenciación espacial de las problemáticas sociales o de otra índole, determinar el alcance de estas y caracterizar las necesidades locales de manera aproximada en cualquier espacio geográfico o contexto territorial (Buzai y García de León, 2015). Conforme a lo anterior, el enfoque cuantitativo apoya el pensamiento geográfico en el marco de una ciencia aplicada, que actualmente se complementa a través del uso de las Geotecnologías, que han quedado integradas a partir de la Geografía Automatizada. Los procedimientos y herramientas desde este enfoque automatizado fortalecen la perspectiva espacial de los estudios sociales y utiliza como medios principales la cibernética y la informática para tener una nueva visión del espacio geográfico.

Las perspectivas de análisis desde la Geografía se enfocan en la estrecha vinculación con la noción de ambiente y su dimensión territorial. Resulta conveniente tener en cuenta la relación geografía y ambiente, establecer los postulados teóricos y funcionales, para remarcar sus intereses y fronteras conceptuales frente a otras disciplinas, y con ello posibilitar la interacción y el acercamiento con otros campos enfocados en las problemáticas ambientales (Bocco y Urquijo, 2013). La concepción ambiental fue configurándose como una problemática en la que predominaba la integración entre los elementos Naturaleza y Sociedad; por lo que las principales características del paradigma ambiental muestran que el mismo es holístico, sistémico, integrativo y complejo.

En resumen, el siguiente trabajo se fundamenta en el análisis espacial desde el abordaje geográfico aplicado, bajo los supuestos de focalización espacial, a través de la definición corológica y sistémica, para la búsqueda de resultados que nos permitan aprehender el contexto territorial de un paisaje transformado y sea de utilidad para la toma de decisiones (Santarelli y Campos, 2002; Delgado Mahecha, 2003; Buzai y Baxendale, 2006, Humacata, 2014).

El análisis espacial desde lo socioambiental

Siguiendo el paradigma ambiental, el análisis de las interrelaciones entre la población y el ambiente requiere de la consideración explícita de un conjunto de criterios conceptuales, que posibiliten mayor precisión y aproximación a la realidad. Lo anterior implica que el potencial de desarrollo sustentable de un determinado espacio, es el resultado de una compleja y dinámica relación entre las tres principales dimensiones que interactúan en el mismo; la dimensión socio-cultural que incluye a la población y su organización como sociedad, la dimensión natural, que se refiere a las características de los componentes naturales y su interacción en el espacio y las condiciones de los recursos naturales; y la dimensión del patrimonio construido que incluye la infraestructura física y tecnológica (Guttman *et. al*, 2004).

No obstante, la sociedad se relaciona con su entorno de múltiples formas; culturales, sociales, políticas, económicas, y ambientales, este último término “ambiente” puede ser interpretado de diferentes maneras, en este trabajo retomamos la concepción del ambiente como el medio biofísico y natural apropiado y transformado por la acción humana. Bajo este contexto, el término socioambiental considerado en esta investigación está definido por la correlación entre las variables sociales y el espacio transformado en que se ubican. “El desarrollo social urbano, por su esencia multifacética y su concreción territorial, posee una estructura típica multivariada, ya que no puede medirse por una única variable, sino que lo caracterizan, por definición, un conjunto de variables e indicadores de diferente índole, que pueden ser sintetizados” (Perón *et. al*, 2018: 181).

Propuesta metodológica

Los procedimientos metodológicos que se presentan responden a los objetivos planteados y se requiere de tres procesos principales; compilación, análisis y diferenciación. El proceso de compilación comprende; la definición de unidades espaciales para el análisis, la selección de indicadores a evaluar, y el tratamiento matricial de los datos. El procedimiento de análisis está conformado por la aplicación de técnicas de clasificación univariada, bivariada y multivariada al conjunto de índices e indicadores seleccionados mediante el Análisis exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), que en palabras de Anselin, 1999, (citado por Chasco Yrigoyen, 2003), puede definirse como el conjunto de técnicas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identifican localizaciones atípicas o “atípicos espaciales” (“spatial outliers”), resaltan esquemas de

asociación espacial, agrupamientos (“clusters”) o sitios “calientes” (“hot spots”) y sugieren estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial. Por último, se obtiene el modelo de diferenciación espacial socioambiental de la zona metropolitana a través de la ponderación de los criterios seleccionados y el análisis jerárquico.

- **Compilación**

Definición de unidades espaciales para el análisis

Las unidades espaciales para el análisis se obtuvieron de un trabajo de investigación precedente denominadas unidades geoecológicas; que hacen referencia a las áreas donde coinciden una misma unidad del paisaje físico-geográfico y la combinación de coberturas terrestres y tipos de usos del suelo, y por tanto la misma combinación de procesos de degradación y problemáticas ambientales, cuando son obtenidas en un contexto de ciudad pueden ser nombradas como unidades del paisaje urbano o paisaje antropogénico. No obstante, de acuerdo a los enfoques y escala en que se aplique esta metodología, se pueden utilizar unidades administrativas como; Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEBs), manzanas, colonias, etc.

Selección de los indicadores

Los indicadores por seleccionar dependen de la escala espacial y temporal que representan y de la disponibilidad de datos. La presente investigación sigue el método de agregación, a través de dos índices de síntesis, estos compilan dos grupos de indicadores e índices cuantitativos representativos de la complejidad socioambiental del territorio, que conforman los índices de Condiciones Socio-Habitacionales y de Degradación del Entorno.

Grupo I. Evaluación de variables socio-habitacionales: Este índice ²⁵ permite definir modelos de comportamiento espacial de una ciudad con relación a la situación socio-habitacional, a escala territorial, con la finalidad de enfocar la condición multidimensional y multifactorial que presenta el desarrollo urbano y su ¹² dimensión social, considerando variables estratégicas socio-habitacionales. Se intentó ¹² cubrir un amplio espectro de variables dentro del marco de la información disponible, relacionadas con aspectos demográficos, de salud, educacionales, de hogares, de calidad de la vivienda y la infraestructura de servicios.

La selección se realiza con la finalidad de que sean ⁶ indicadores capaces de sintetizar la problemática social referente a la ⁶ demografía, educación, salud y habitacionales, ya que son dimensiones que muestran, de forma multilateral el desarrollo urbano. Para ello se utiliza el criterio de los expertos, a partir de su grado de conocimiento en la temática, la experiencia profesional y nivel de responsabilidad en la elaboración de políticas públicas. En la investigación, como apoyo, se consultaron los planes de desarrollo urbano de los municipios de Morelia y Tarímbaro, variados informes académicos del Centro de Investigación en Geografía Ambiental (CIGA) y se realizaron pláticas con personal del Ayuntamiento de Morelia y académicos especialistas en estudios urbanos.

Grupo II. Evaluación de la Degradación del Entorno: Este grupo de indicadores e índices tienen el objetivo de evaluar el estado de los componentes biofísicos del paisaje ya urbanizado (paisaje cultural), en función de las implicaciones que tienen estos para el territorio. Con los índices que se estudian, se busca interpretar los niveles de degradación en los componentes naturales en función de los aspectos o problemas resultantes de la interacción entre el sistema social y las transformaciones en el espacio natural. ¹¹ Las ciudades son el espacio donde se concentra la mayor parte de la población humana y de sus actividades, por ello, en su territorio coexisten numerosos problemas relacionados con el aprovechamiento de los recursos naturales y con la organización y funcionamiento en equilibrio con el entorno.

Obtención de las Matrices de Datos Geográficos

La matriz geográfica se refiere a una tabla de doble entrada que representa valores de: una serie de características (columnas) y unidades espaciales (filas). “Ello permite ¹¹ asignar cada hecho geográfico ubicado en una estructura fila-columna, a una porción específica del espacio geográfico con determinada resolución espacial...La denominada ¹¹ matriz geográfica es el resultado de la combinación de vectores fila (j - unidades espaciales) por vectores columnas (i - variables), por tal motivo una diferenciación en las escalas de trabajo estaría brindada por la forma de interpretar esta organización. Surgen a partir de aquí tres perspectivas de análisis: un sentido vertical o regional, uno horizontal o sistemático y otro en profundidad (diferentes matrices superpuestas) o temporal” (Buzai *et. al*, s/f: 5).

Los datos geoespaciales o variables provienen de diversas fuentes de información oficiales que están referidos a diferentes unidades espaciales administrativas, es por ello que se deben obtener las variables con valores absolutos y no los indicadores o variables relativas que refieren la información de acuerdo a estas áreas (porcentajes, tasas). Como parte de la organización de los datos que se obtienen para el cálculo de los indicadores e índices, se conforma la matriz de datos originales (MDO) considerando en las filas las unidades espaciales de análisis (unidades geoecológicas) y el grupo de variables absolutas seleccionadas en las columnas, para ello se realiza una intersección espacial mediante Arcgis 10.2, para transferir los datos de diferentes aspectos y fuentes (sociales, biofísicos y ambientales).

A partir de la MDO se realiza el cálculo de los indicadores e índices, de esta manera se obtienen los valores relativos a cada unidad espacial de análisis, los resultados del cálculo se organizan en una nueva matriz. Esta matriz es denominada Matriz de Datos Índices (MDI) y mantiene la estructura de las filas, pero ahora en las columnas se representan índices o indicadores.

Posteriormente se realiza un tratamiento estadístico a los datos en la MDI con el objetivo de homogenizar los indicadores, debido a la diversidad de unidades de medidas en que se obtienen los indicadores e índices; ello se realiza mediante el puntaje estándar. El puntaje Z (estándar); es un coeficiente de variación que se utiliza cuando se desea obtener una síntesis en la comparación entre variaciones de indicadores que han sido obtenidos en diferentes unidades de medida. Este método es presentado por Haggett (1977) empleado para las clasificaciones o tipologías espaciales, además de ser utilizado por Buzai en casi toda su obra. Se obtiene aplicando la siguiente ecuación a los valores por columna en la MDI:

$$Z_i = \frac{(X_i - m)}{\sigma}$$

Donde:

¹⁸
 X_i = es el valor que posee cada unidad espacial

M = es el promedio del indicador

Σ = es la desviación estándar

Cuando el procedimiento se realiza a todos los indicadores, cada columna de la MDI pasa a ser una columna de puntajes Z, que se desvía en valores positivos y negativos, al realizar esto se debe comprobar que los resultados arrojen: $\Sigma=0$, $m = 0$, y $\sigma = 1$ por cada indicador. Como resultado de aplicar este proceso de homogenización del valor de los indicadores, estos se hacen comparables y la matriz anterior se transforma en la Matriz de Datos Estandarizados (MDZ).

Por otro lado, es muy importante tener en cuenta la intensidad o sentido que miden los indicadores seleccionados, en función de la definición de los indicadores de beneficio y de costo, con la finalidad de obtener una clasificación de unidades espaciales mediante indicadores de planificación territorial. Definimos a los indicadores de beneficio como aquellos que en sus máximos valores expresan una situación de máxima favorabilidad o bienestar (por ej. Nivel de Escolaridad Alcanzado); y los indicadores de costo son aquellos que en sus máximos valores expresan una situación de máxima desfavorabilidad o desventaja (por ej. Necesidades Básicas Insatisfechas en las viviendas). Para homogenizar los datos bajo este criterio de intensidad o sentido se aplica un procedimiento de reclasificación, el cual permite obtener una nueva capa temática, más simplificada, y una capa binaria con valores temáticos de 1 a 5, con mejores posibilidades de interpretación. La clasificación por grado de intensidad parte de la Matriz de Datos Estandarizados, mediante los cuales se procede a la generación de cartografía síntesis que resume las situaciones de favorabilidad/desfavorabilidad para el índice sumario, esto genera una nueva matriz; Matriz de Datos Categorizados (MDC), ver cuadro 1.

Cuadro 1: Valor por nivel de intensidad para indicadores de beneficio y costo.		
Categorías	Nivel de Intensidad	
Clasificación _SIG	Indicadores de beneficio	Indicadores de costo
Muy Alta	1	5
Alta	2	4
Media	3	3
Baja	4	2
Muy Baja	5	1
Fuente: Elaboración propia		

Método para el Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones

“El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), consiste en formalizar la comprensión intuitiva de un problema multicriterio complejo, mediante la construcción de un modelo jerárquico. Es una metodología para estructurar, medir y sintetizar. Ha sido aplicado ampliamente en la solución de una gran variedad de problemas que permite estructurar el problema en forma visual” ... El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior” (Osorio y Orejuela, 2008: 248). El modelo jerárquico contiene tres niveles; meta u objetivo, criterios y alternativas (Toskano, 2005), y tiene tres funciones básicas: estructurar la complejidad, medir en una escala y sintetizar.

El AHP es un método de síntesis con un enfoque sistémico, ya que analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica, “tomando en consideración el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas, por lo tanto, este método está enfocado en el sistema en general, y la solución que presenta es para la totalidad, no para la particularidad” (Osorio y Orejuela, 2008).

El principio del proceso de Saaty se fundamenta en dar valores numéricos a los juicios dados por las personas involucradas, logra medir como contribuye cada elemento de la jerarquía a nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Ávila, 2000), ver cuadro 2. El AHP dispone de un software de apoyo y su aplicación comprende una diversa gama de experiencias prácticas en campos muy diversos, el software Expert Choice es uno de los más utilizados para la aplicación del AHP (Toskano, 2005).

Cuadro 2: Escala de preferencias de Saaty adaptada.		
Planteamiento verbal de la preferencia	Interpretación	Calificación numérica
De igual Importancia	2 aspectos contribuyen de igual forma al objetivo	1
Moderada Importancia	La experiencia y el conocimiento favorecen levemente a una actividad sobre la otra	3

Fuertemente Importante	La experiencia y el conocimiento favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra	5
Esencialmente Importante	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; y su predominio se demuestra en la práctica	7
Extremadamente Importante	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta y totalmente clara	9
Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes	2, 4, 6, 8
Fuente: Elaborado por el autor adaptado de Toskano, 2005.		

Una vez elaboradas las comparaciones pareadas se calcula la prioridad que adquiere cada elemento (indicador) en términos de la meta global, que en este caso es la ponderación de los indicadores. Este proceso se conoce como la síntesis de los juicios, obteniendo como resultado la prioridad de cada atributo o indicador expresado en porcentaje, es decir, se obtiene la importancia o peso que adquieren los indicadores considerados en el análisis de cada grupo de indicadores. Posteriormente se le asigna el coeficiente de ponderación a los valores de cada indicador correspondiente y con ello se genera una nueva matriz denominada Matriz de Datos Ponderados, ver figura 1.

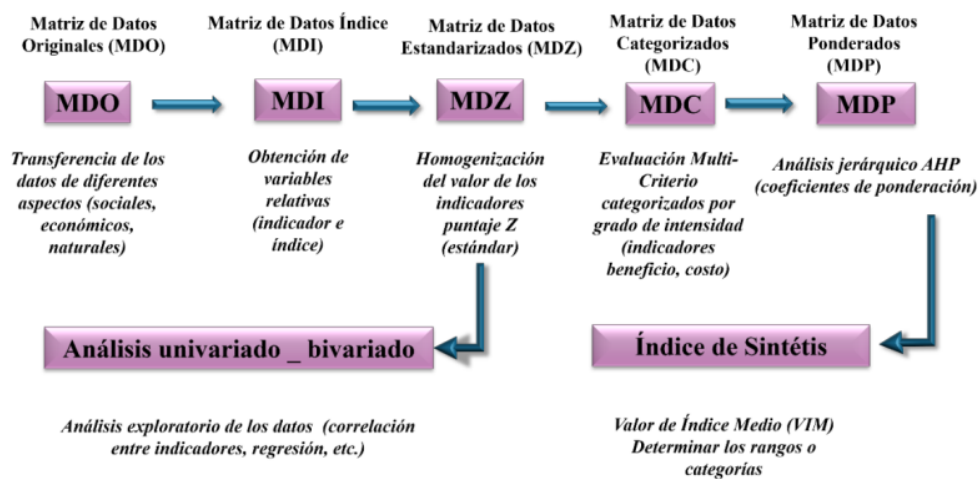


Figura 1: Resumen del orden de las matrices de datos geográficas que se obtienen.

Análisis exploratorio de los datos espaciales

Para realizar el estudio de la estructura espacial socioambiental aplicaremos ³ los métodos gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), con el apoyo de la Matriz de Datos Índice (MDI).

Clasificación Univariada

¹⁸ El análisis espacial univariado permite lograr una clasificación socioambiental a partir del estudio de un solo tema o variable. ⁷ De este modo, se llega a la definición de una diferenciación espacial sobre la base de los intervalos de clase definidos para el conjunto de datos. Como sostiene Sánchez (2007: 390) “para poder entender ese sistema habrá que empezar por analizar cada una de sus partes, y cada uno de los muchos y distintos aspectos en que se divide esa totalidad puede expresarse a través de una variable estadística para la cual también merece ser clasificado el espacio geográfico, y por supuesto también expresado cartográficamente”.

“El análisis estadístico univariado permite estudiar tres características que definen a una variable cuantitativa: su valor central o más representativo, su variabilidad en torno a ese valor central y su distribución de frecuencias” (Bosque, ¹⁸ 1994:15). Como complemento a este tratamiento numérico de los datos geográficos se destaca la representación gráfica que se convierte en una herramienta para analizar de una forma rápida y eficaz la evolución, magnitud y distribución de un hecho (Carrera y Méndez, 1998:39).

³ Para el análisis exploratorio univariado, se aplica el gráfico box-plot que toma a la mediana como valor central y de ahí se definen los intervalos de clase en los que se dividirán el conjunto de unidades espaciales. En este caso, las unidades espaciales fueron agrupadas en cuatro intervalos de clase dando como resultado un mapa de cuartil (box-map), donde se resaltan los valores extremos, tanto superior como inferior, generando dos categorías adicionales. Este ³ gráfico y su derivación en el box-map, nos permitirán visualizar los valores anómalos en cada indicador.

Clasificación bivariada o análisis de correlación de indicadores

⁷ La clasificación bivariada del espacio geográfico surge a partir de la delimitación de áreas homogéneas que reúnen características similares internamente y que se diferencian del resto de las unidades espaciales. Considerar estas relaciones se debe a la

intención ⁶² de determinar la manera en que los valores medidos en las diferentes unidades espaciales varían conjuntamente o si se determina una situación de causa efecto ⁴⁵ de que forma varía una cuando se modifica la otra, en general se trata de medir ³ el grado de relación y la forma que toman, acercándose a uno u otro extremo. Cuando nos aproximamos a determinar la relación entre dos variables se hace notar que está caracterizada por tres elementos: la fuerza, el sentido y la forma de la relación (Bosque y Moreno, 1994), ello nos permite considerar el grado de relación entre los valores medidos en las distintas unidades espaciales.

¹⁸ Más allá de la descripción de las distribuciones espaciales, cuya fase es fundamental en el análisis, se debe conocer la relación entre las variables en el análisis socioespacial urbano, ¹⁸ determinar la existencia, y las características ³ de la relación entre dos variables. En el análisis de asociación espacial, mediante gráficos de dispersión 2D (scatterdiagram), cada variable queda representada por un eje ortogonal (90°) y cada unidad espacial como un punto de localización x-y a partir de sus valores de coordenadas en cada eje (Buzai y Baxendale, 2006). “Los valores de las variables en el diagrama fueron transformados a puntajes estándar (puntaje z) dando como resultado la definición de cuatro cuadrantes en el espacio de relaciones. De este modo, el cuadrante inferior izquierdo representa las unidades espaciales con valores bajos en ambas variables, el cuadrante superior izquierdo con bajos valores en x y altos en y, el cuadrante superior derecho con valores altos en ambas variables, y el cuadrante inferior derecho con valores altos en x y bajos en y. Cuando analizamos el sentido de la relación entre ambas variables se calcula la recta de regresión tomando la nube de puntos formada por todas las unidades espaciales en el sistema de coordenadas. Si la recta va desde el espacio (- -) al espacio (+ +) se dice que existe una relación positiva y cuando se dirige desde el espacio (- +) al espacio (+ -) la relación es negativa. Cuando la nube de puntos adquiere una forma redondeada, donde se hace imposible determinar un sentido, no existe correlación” (Humacata, 2015: 76).

Este método permite verificar a través de la creación del diagrama de dispersión la existencia de una efectiva relación entre dos variables y la dirección ⁶³ que tiene esta relación (negativa o positiva), en este caso la intensidad solo puede intuirse; cuanto más cercano estén los puntos a la recta de regresión mayor será la intensidad de la relación entre las dos variables y cuanto más dispersos estén menor será su relación. Para lograr

un valor cuantitativo que indique la intensidad de la relación se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson (r) que surge de la covarianza o variabilidad conjunta de las variables. Se puede obtener una correlación perfecta positiva ($r=1$), cuando los valores de una variable varían en la misma proporción que los valores de la otra, o una correlación perfecta negativa ($r=-1$), cuando los valores de cada variable varían completamente de forma inversa. Cuando se produce una distribución aleatoria, el coeficiente de correlación toma un valor $r=0$.

Siguiendo los objetivos planteados, en la presente aplicación vamos a realizar un análisis univariado mediante el gráfico y mapa de caja (box-map) resaltando los valores anómalos de los indicadores que presentan situaciones diferenciadas; y un análisis bivariado por diagrama de dispersión (scatterdiagram) con base en el coeficiente de correlación de Pearson, que nos permitirá agrupar las unidades espaciales con respecto a sus cuadrantes en el espacio de relaciones en una perspectiva 2D, para ello hemos tomado indicadores que determinan las relaciones entre situaciones de favorabilidad y desfavorabilidad que nos permite realizar las primeras clasificaciones parciales.

Clasificación multivariada

“La clasificación multivariada del espacio geográfico genera como resultado una diferenciación areal en torno a la combinación de una gran cantidad de variables, las cuáles se consideran relevantes para llegar a la definición de unidades espaciales diferenciadas claramente mediante su configuración espacial, producto de la alta homogeneidad interna relativa y, por el contrario, de la heterogeneidad con respecto a las demás unidades espaciales o áreas geográficas” ... El análisis multivariado con el objetivo de clasificar un espacio puede aplicarse en dos direcciones: la primera, enfocada en la clasificación de los indicadores, para lograr macrovariables que integren los componentes de la problemática y la segunda, centrada en la correlación de unidades espaciales, para obtener áreas o regiones geográficas (Buzai y Baxendale, 2006; Sánchez, 2007). El resultado final de la clasificación multivariada es la construcción de áreas homogéneas, como modelo espacial, que evidencia las heterogeneidades espaciales internas del área de estudio, siendo una representación simplificada de la realidad que expresa sus características más significativas” (Humacata, 2015: 77). Entre los métodos de análisis multivariado más comunes podemos mencionar el método del Valor Índice Medio, el Análisis Linkage, Análisis Clúster y el Análisis Factorial. Para la presente

investigación aplicaremos el método del Valor del Índice Medio que forma parte de los métodos de clasificación alternativos, se le nombra “Metodología del Valor del Índice Medio”, porque se define por la obtención de un índice capaz de reflejar las condiciones generales de cada una de las macrovariables evaluadas.

Para ello, se utilizan los resultados del cálculo de los dos índices de síntesis tratados como macrovariables. Se debe tener en cuenta que esta metodología alcanza su mejor aplicación cuando está enfocada a determinar los casos, dentro de un conjunto de unidades territoriales, que tienen mayor semejanza entre sí como para conformar subconjuntos particulares; derivando tal semejanza a partir de la similaridad (homogeneidad) que existe entre el valor de las variables de esas unidades territoriales, de esa manera se evalúan las macrovariables de conjunto mediante un tratamiento matemático de relativa complejidad (García de León, 1997). Los dos índices de síntesis, como hemos explicado son:

- referido al espacio relacional donde transcurre el desarrollo urbano; el índice de condiciones socio-habitacionales, que relaciona al hombre y sus necesidades de crecimiento; con indicadores demográficos, sociales, económicos y habitacionales.

- relacionado con el hombre y su capacidad de transformar el espacio geográfico; el índice de degradación del paisaje transformado, con indicadores de las problemáticas ambientales.

⁶ Cada una de estas macrovariables agrupan una serie de índices e indicadores que representan en su contexto diferentes problemáticas del territorio, y que cuando se integran en una matriz, demuestran cómo se combinan para obtener de forma simultánea diferentes estados de la situación socioambiental del paisaje urbano al interior de las zonas metropolitanas.

Obtención del mapa de síntesis de la Diferenciación socioambiental

¹¹ Consiste en efectuar el cálculo del Valor de Índice Medio (VIM) para cada unidad geoecológica sumando en el sentido de las filas la totalidad de las calificaciones (c) obtenidas y dividir el resultado por la cantidad de variables utilizadas (n), como se muestra a continuación:

$$VIM = \frac{\sum c}{n}$$

⁶ Por último, se clasifican las unidades geoecológicas sobre la base de cinco intervalos para realizar la cartografía síntesis (diferenciación espacial), con cinco categorías; dos rangos de valores superiores a la media del conjunto; uno cercano a la media y dos rangos de valores inferiores a la media del conjunto, este procedimiento se puede llevar a cabo de forma manual o se pueden aplicar los métodos de clasificación del SIG; desviación estándar o cortes naturales. Se recomienda realizar una comparación entre los resultados obtenidos por cada vía, y con ello determinar la clasificación de las categorías que más se aproximan a los aspectos analizados.

A partir de la evaluación de la intensidad de los cambios en el sustrato natural y el grado de transformaciones en el paisaje urbano, resultado de la apropiación del espacio en el proceso de urbanización de la zona metropolitana, se describen las categorías de la Diferenciación socio-ambiental: Situación Transformación leve, Situación Transformación Media, Situación Transformación Extensiva, Situación Muy Transformado y Situación Transformación Extrema, las cuales sintetizan la calidad socio-ambiental a través del modelo de los subsistemas físico-natural y económico - social, en las unidades geoecológicas.

Aplicación e interpretación de los resultados en la Zona Metropolitana de Morelia

Como mencionamos anteriormente en la presente aplicación retomamos las unidades geoecológicas obtenidas en el trabajo (Martinez y Bollo, 2017), ³⁸ debido a que las mismas representan sistemas funcionales de la interacción entre la Naturaleza y la Sociedad que manifiestan la apropiación histórica del territorio y sus transformaciones, ³⁸ desde esta perspectiva, resulta recomendable emplear estas unidades espaciales, en los análisis de problemáticas sociales, económicas y ambientales, ver figura 2.

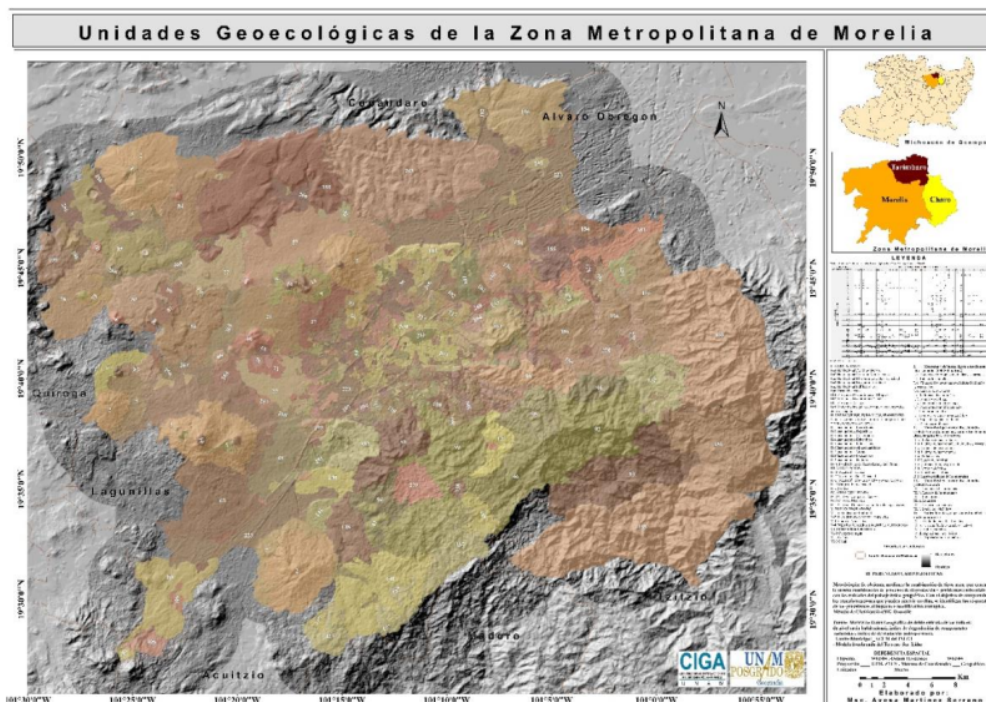


Figura 2. Mapa de unidades geocológicas de la zona metropolitana de Morelia, tomado de Martínez y Bollo (2017).

Selección de indicadores

Cuadro 3: Indicadores e índices seleccionados.		
Índice de condiciones socio-habitacionales		
Dimensión social	6 Porcentaje de la Población sin derechohabiencia a servicios de salud	costo
	Porcentaje de la Población de 15 años y más analfabeta	costo
	Porcentaje de la Población de 18 años y más con al menos un grado aprobado en educación media superior	beneficio
	Porcentaje de no asistencia a la escuela de la población en edad escolar normativa básica	costo
	Nivel de Escolaridad Alcanzado por la población	beneficio
Dimensión demográfica	Porcentaje de población de 0 a 14 años	beneficio
	Porcentaje de población de 15 a 64 años	beneficio

	⁶ Porcentaje de la Población de 65 años y más	costo
	Atracción Migratoria Acumulada	costo
	Porcentaje de la Población de 5 años y más residente en Estados Unidos de América en junio 2005	costo
	Tasa de la Población Inmigrante Reciente	costo
	Porcentaje de la Población con discapacidad	costo
	Densidad de Población	costo
Dimensión económica	Tasa de participación económica	beneficio
	Porcentaje de la Población ocupada de 12 años y más sin escolaridad	costo
	Índice de dependencia económica	costo
	Tasa de actividad económica	beneficio
Dimensión condiciones y servicios de la vivienda	Índice de servicios básicos insatisfechos (viviendas)	costo
Índice de Degradación del medio transformado		
Componente Vegetación	Índice de importancia de las zonas verdes	beneficio
	Índice de Transformación de la Cobertura Vegetal Natural	costo
	Índice de Antropización de la Cobertura Superficial	costo
Componente Suelo	Degradación de la Permeabilidad del Suelo por Transformación de la Cobertura Terrestre	costo
	Degradación del Suelo	costo
Componente Hidrología	Densidad de Drenaje Superficial	beneficio
	Condiciones de Riesgo Hidrológico e Hidrotécnico	costo
Componente Relieve	Incompatibilidad entre Pendiente y Urbanización	costo
Componente Geología	Riesgo por la presencia de Fallas y Fracturas	costo
Componente Atmósfera	Estimación de la Contaminación Atmosférica Promedio	costo

Dimensión Antropogénica	Índice de Modificación Antropogénica por la Presencia de Elementos Antrópicos en el Paisaje	costo
	Calidad del entorno habitacional	beneficio
Fuente: Elaboración propia		

Con ello se generan las matrices de datos geográficas, a partir de las cuáles se realizan los análisis univariados y bivariados de los indicadores.

Aproximación del análisis univariado

Como se explicó anteriormente, el análisis univariado, mediante el gráfico de caja y su vinculación cartográfica, pretende resaltar los valores anómalos que toma cada indicador en la diferenciación socioambiental de las unidades geoecológicas de la zona metropolitana de Morelia. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos como referencia de los análisis cuantitativos y cualitativos que se obtienen luego de aplicar estas técnicas, que se desarrollan en el software libre Geoda:

- Tasa de Población inmigrantes reciente (TPI-R)

Se observan, 50 (UGs) que representan los valores más extremos, destacados como valores anómalos en color café oscuro, correspondientes a la categoría Muy alto, es decir situación desfavorable, teniendo en cuenta que es población que se ha trasladado a otros lugares abandonando la entidad de nacimiento. Estas unidades espaciales corresponden a las UGs: 71, 216, etc.; Fraccionamiento la Condesa, Conjunto Habitacional la Hacienda, ver cuadro 4.

Cuadro 4: Resumen por categorías del Indicador Tasa de Población inmigrantes reciente (TPI-R)			
CATEGORÍA	VALOR (estandarizado)	VALOR (porcentajes)	Unidades Geoecológicas (cantidad UGs)
Muy bajo	-0.35852	0.34 – 1.87	72
Bajo	-0.20621	1.88 – 2.76	77
Medio	-0.23667	2.78 – 3.81	79
Alto	-0.33743	3.83 – 5.27	88
Muy alto	0.14643 - 6.42170	5.36 – 32.14	110
Sin datos	0	N/A	

Fuente: Elaboración propia

En el otro extremo perteneciente a la categoría Muy bajo no tenemos unidades con esta condición, solo existen varias unidades en la zona rural que no han tenido inmigrantes. En este caso la población inmigrante, se localiza principalmente en la zona periurbana sur del centro de la ciudad de Morelia, además es alta en grandes fraccionamientos que existen en el margen entre la zona periurbana de los municipios Morelia y Tarímbaro; en este indicador es interesante observar como las unidades con valores extremos se encuentran principalmente en la zona periurbana, ver figura 3.

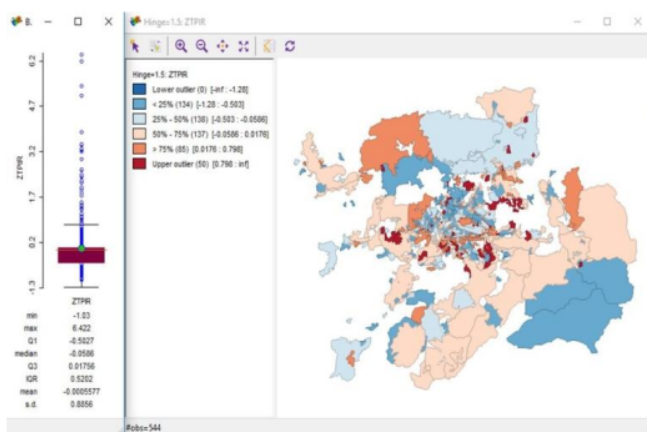


Figura 3: Gráfico y mapa Box Plot de Tasa de Población inmigrantes reciente a partir de software Libre Geoda

- *Porcentaje de la Población sin derechohabencia a servicios de salud (SALUD2-R)*

Se observan, 23 (UGs) ³ que representan los valores más extremos, destacados como valores anómalos en color café oscuro, correspondientes a la categoría muy alto, es decir situación desfavorable, en el sentido de existir mayor cantidad de personas sin acceso a los servicios de salud en proporción con la población total, ver cuadro 5.

Cuadro 5: Resumen por categorías del Porcentaje de la Población sin derechohabencia a servicios de salud (SALUD2-R)

CATEGORÍA	VALOR (estandarizado)	VALOR (porcentajes)	Unidades Geoecológicas (cantidad UGs)
Muy bajo	-1.57797	3.26 - 25.58	117
Bajo	-0.58325	25.71 - 33.96	116
Medio	-0.21704	33.99 - 37.06	58
Alto	0.04175 - 0.55218	37.08 - 44.30	116
Muy alto	0.55289 - 3.40694	44.31 - 84.68	116
Sin dato	0	N/A	
Fuente: Elaboración propia			

Estas unidades espaciales corresponden a las UGs: 156-4, 149-3, 280, 208-10, 45-2, 55-4, 268-2, 216-1, 59, 141-1, 279, 137-5, 137-6, 5-2; Las Encinillas, Peña Cargada, Jaripeo, Fracc. México, Cuparátaro, Chiquimitío, Parastaco, Joyitas del Cuetazo, Crisoba Industrial (CEPAMISA), Quinta María José, El Aguaje, La Estancia, El Reparo, Tirio, Carindapaz (San Francisco) [Invernadero], La Ciénega (Torrecillas de Atécuaro), Torrecillas, El Arenal Atécuaro, La Laguna (Los Caracoles), El Arenal, Palo Amarillo, El Tejocote (La Cortina), Buenavista, Iratzio. En el otro extremo perteneciente a la categoría Muy Bajo, se encuentran las unidades: 248-1 y 218-20, Vasco de Quiroga y Ciudad industrial. Este indicador, se localiza con valores extremos principalmente en zonas rurales y en el sector norte del centro urbano de la ciudad de Morelia, ver figura 4.

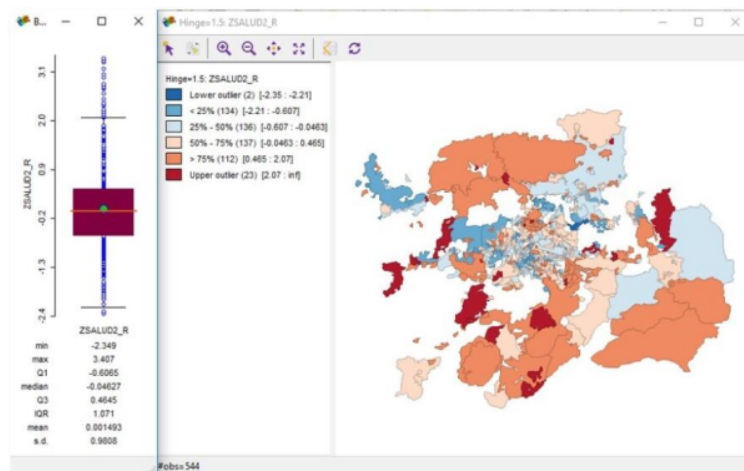


Figura 4: Gráfico y mapa Box Plot del Porcentaje de la Población sin derechohabencia a servicios de salud a partir de software Libre Geoda

Aproximación al análisis bivariado

Mediante la flexibilidad que permite la interactividad en la vinculación de bases de datos alfanuméricas (variables) y gráficas (cartografía digital), la metodología del ESDA apoyada a través de los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE) permite obtener las primeras clasificaciones del espacio geográfico. A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos como referencia de los análisis cuantitativos y cualitativos que se obtienen luego de aplicar estas técnicas, que se desarrollan con apoyo del software libre Geoda:

- Porcentaje Población de 15 años y más analfabeta_EDU28_R y Porcentaje de la Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela_EDU6a14_R

El gráfico de dispersión realizado para el Porcentaje Población de 15 años y más analfabeta y Porcentaje de la Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela permite observar que existe una relación positiva entre estos indicadores ya que la recta va desde el espacio (- -) al espacio (+ +). En este diagrama se puede apreciar que el coeficiente de correlación es de $r = 0,221$. Este resultado indica que la relación existente entre ambas variables es positiva, pero el grado de relación es muy baja ya que se encuentra por debajo de la media de $r = 1$. Esto implica que la población analfabeta todavía no se relaciona directamente con los niños que no asisten a la escuela, aunque estos pueden convertirse potencialmente en esta población analfabeta en un futuro. La población analfabeta de 15

años y más varía con respecto a la población de niños que no asisten a la escuela en un 10 %, ver figura 5.

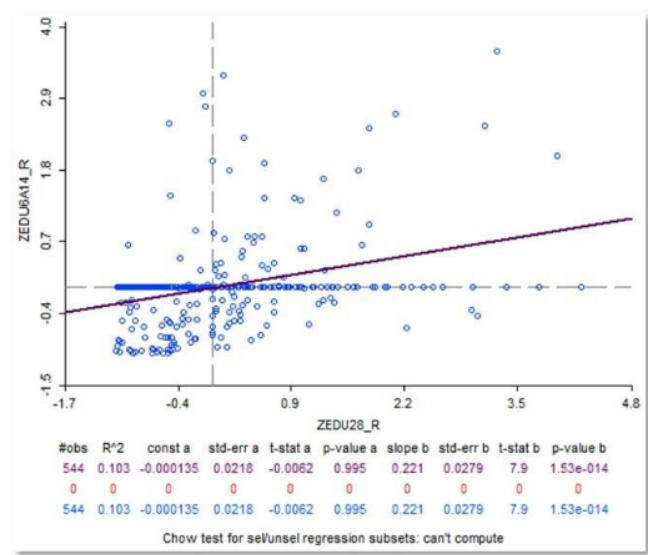


Figura 5: Gráfico de dispersión de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de Software libre Geoda

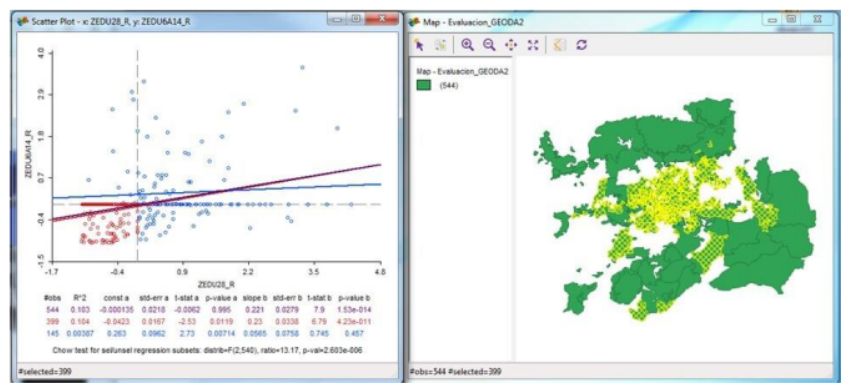


Figura 6: Gráfico y distribución cuadrante I de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de Software libre Geoda

3

En la selección del cuadrante I, correspondiente al espacio (- -) (inferior izquierdo) se observa la distribución espacial de 399 UGs que poseen muy bajos valores en ambas variables y que representan el 73.35 % de las unidades espaciales con datos (544). Este porcentaje de UGs se distribuye en el espacio geográfico formando un agrupamiento de unidades contiguas; se distinguen el conjunto de unidades al centro del área urbana de la zona metropolitana de Morelia, ver figura 7.

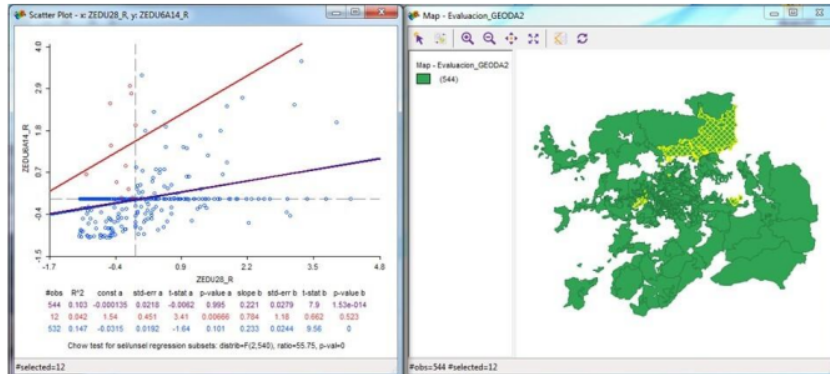


Figura 7: Gráfico y distribución cuadrante II de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de Software libre Geoda

3

En el cuadrante II espacio (- +) (superior izquierdo) se pueden observar aquellas UG que cuentan con valores altos en el indicador del Porcentaje de Población de 15 años y más analfabeta y bajos en la Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela. Son 12 unidades que representan el 2.21 % de las unidades espaciales. Se observa que predominan estas unidades en el área rural del municipio de Tarímbaro, ver figura 8.

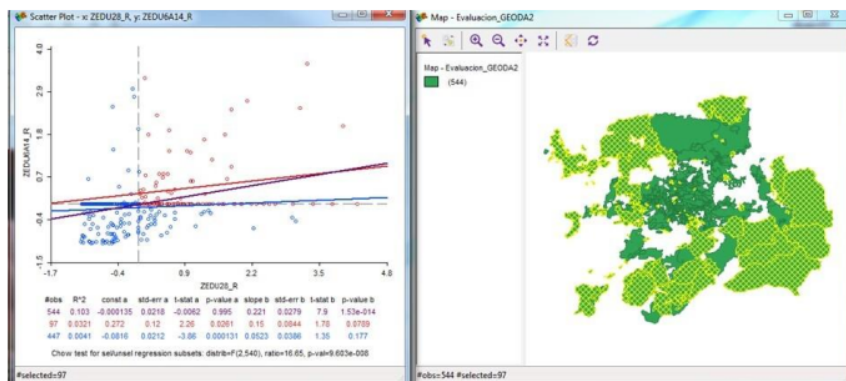


Figura 8: Gráfico y distribución cuadrante III de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de Software libre Geoda

En el cuadrante III del espacio de relaciones (+ +) (superior derecho) se pueden observar cómo se distribuyen los valores más altos en ambos indicadores. La selección corresponde a 97 unidades que representan el 17.83 % de las unidades espaciales. Estas unidades se distribuyen formando un gran agrupamiento de zonas contiguas en la zona rural. Estas zonas pudieran ser priorizadas para la gestión y ayuda educativa ya que las mismas presentan una alta coincidencia en población analfabeta y niños que no asisten a la escuela, cabe mencionar que abarcan el municipio de Charo casi por completo, ver figura 9.

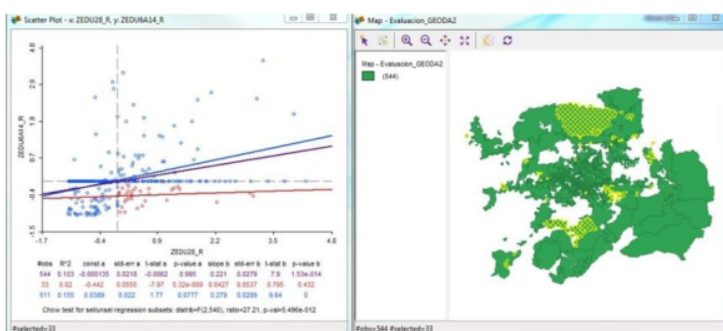


Figura 9: Gráfico y distribución cuadrante IV de EDU28-R y EDU6a14-R a partir de Software libre Geoda

El cuadrante IV espacio (+ -) (inferior izquierdo) señala que son 33 unidades geoecológicas, que representan el 6.06 %, que cuentan con altos valores en la Población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela y bajos valores en Población de 15 años y más analfabeta. En este caso la distribución de los indicadores es dispersa en el área metropolitana, pero sigue localizándose en la zona rural, ver figura 10.

Aproximación al análisis multivariado

Resultados del Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones_ICSH.

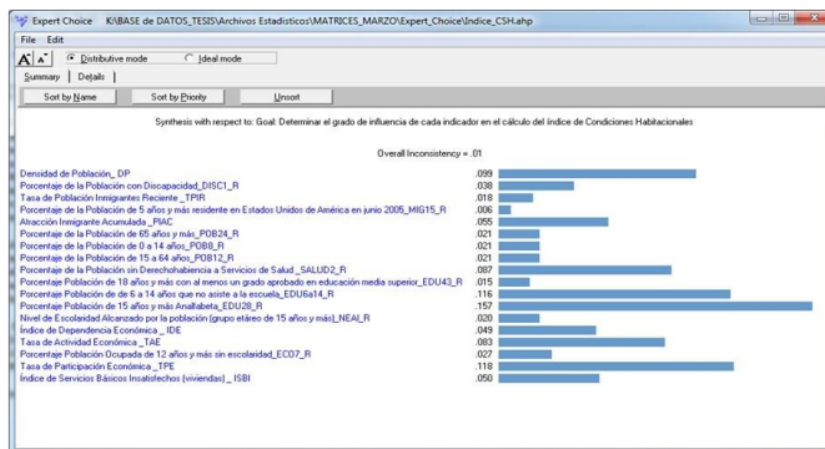


Figura 10: Ejemplo de estructura de la ponderación final de indicadores, expertchoice.

Obtención del Índice de Síntesis_ICSH

A partir de la matriz de datos ponderados (MDPond_CSH), se suman los valores de forma horizontal en el sentido de las filas por cada polígono de unidad geoecológica, el resultado se incluye en una nueva columna que se identifica como Índice de Síntesis que agrupa los indicadores que se analizan de las Condiciones Socio-Habitacionales, con ello se genera una nueva y última matriz, denominada Matriz de Datos del Índice de Síntesis de las Condiciones Socio-Habitacionales (MDSi_ICSH).

- Índice Condiciones Socio-Habitacionales.

A continuación, se muestran los Rangos de valores y Categorías del Índice Condiciones Socio-Habitacionales. Es importante señalar que se realizó un estudio de distribución de frecuencias al interior del rango 2 y se determinó, del análisis cuantitativo del gráfico de barras, realizar un punto de corte en el valor de ISH = 2.091, y con ello generar dos subgrupos al interior de este rango (2). De esta manera el rango 2 se subdivide en grupo 2.1 y grupo 2.2, para el análisis cualitativo de cada categoría del Índice sumario ICSH, ver cuadro 6.

Cuadro 6: Resultados cuantitativos de las Condiciones Socio - Habitacionales (ICSH).

Rangos por Condiciones Socio-Habitacionales	Cant. Polígonos UGs	Categorías por Condiciones Socio-Habitacionales	Población total (% en relación a la población de ZMM)	Superficie (% en relación al área total urbanizada o poblada)
3.655-4.233	36	Muy Desfavorable	54308 (6.6)	414.1 (29.4)
3.076-3.654	109	Desfavorable	83,439 (10.1)	13187.1 (93.4)
2.498-3.075	170	Poco Favorable	383,807 (46.4)	338.4 (24)
2.082-2.497	110	Favorable a Poco Favorable	156,237 (18.9)	56.9 (4)
1.545-2.081	85	Favorable	145,424 (17.6)	97.3 (6.9)
0.592-1.544	52	Muy Favorable	3164 (0.4)	12.2 (0.9)
0	336	Sin Población o Datos No Confiables	0	0
Total	898		826,379	14,106
Fuente: Elaboración propia.				

En resumen, la zona metropolitana de Morelia tiene una extensión territorial de 1,934.6 km², de los cuales se encuentran ocupados por algún tipo de urbanización o población 1,532.2 km². Al interior de esta superficie poblada o urbanizada, se obtuvo información para la evaluación de 18 indicadores e índices en un área de 1,410.6 km², de la cual, como resultado, se consideran unidades que presentan Condiciones Muy Favorables a Favorables en una extensión del 7,8 % del total, en Condiciones Favorables a Poco Favorables se ubica el 28 % y en condiciones Desfavorable a Muy Desfavorable se incrementa un área representativa del 64 %, ver figura 11.

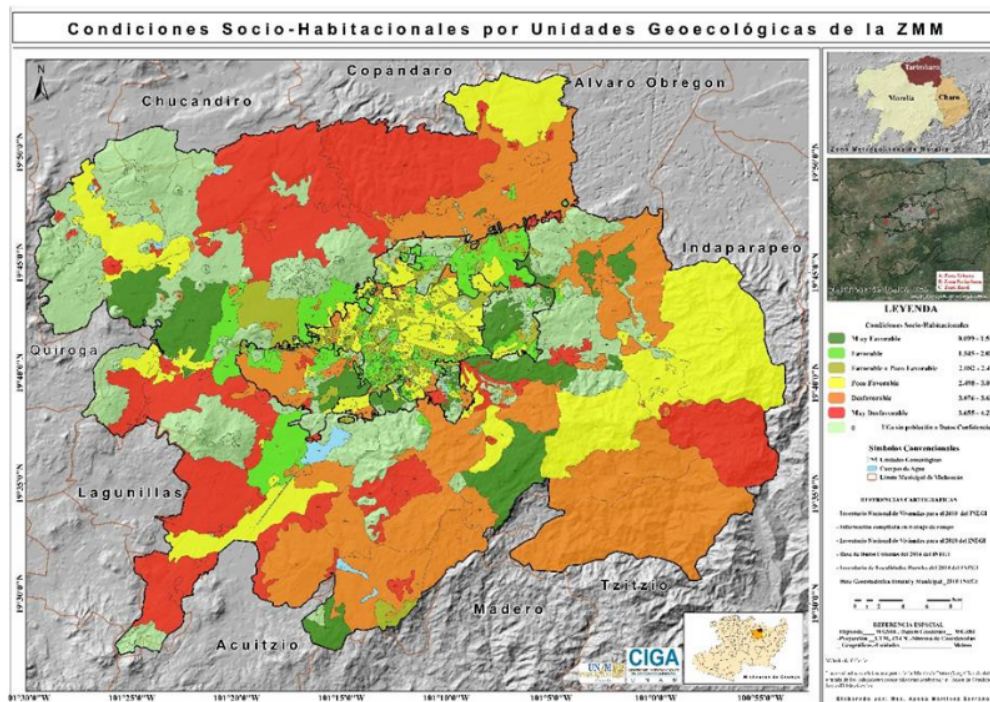


Figura 11: Mapa del Índice de Condiciones Socio-Habitacionales de la Zona Metropolitana de Morelia.

Sobre estas condiciones generales la población, de un total de 828,154 tomada como referencia, es del 17.8 % bajo condiciones Muy Favorables a Favorables, el 64.5 % habita en Condiciones Favorables a Poco Favorables con tendencias a Poco Favorables y el 16.4 % se encuentra afectada por Condiciones Desfavorables a Muy Desfavorables, cabe destacar que en análisis de género, bajo estas condiciones de desfavorabilidad se encuentra una cantidad relativamente mayor de mujeres, ancianas y niñas, que de hombres en los mismos grupos etarios. A partir de la diferenciación de las Condiciones Socio-Habitacionales, mediante los indicadores e índices analizados, se considera que la mayor cantidad de población en la ZMM convive en Situación Favorable a Poco Favorable con tendencias a Poco Favorable y problemáticas sociales como analfabetismo, acceso a servicios básicos de salud y necesidades básicas en las viviendas.

- Índice de Degradación del medio transformado

Resultados del Proceso de Análisis Jerárquico. Árbol de decisiones_IDMT

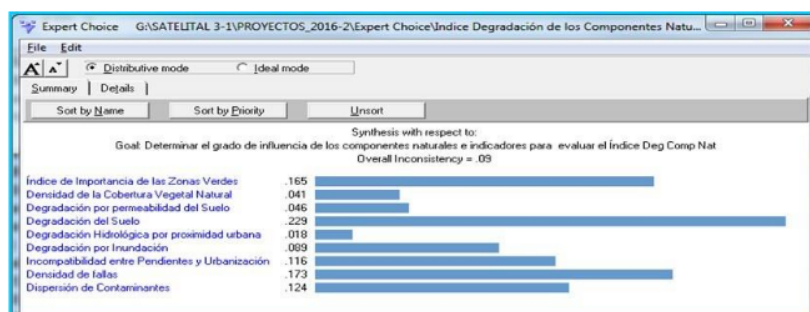


Figura 12: Ejemplo de Estructura de la ponderación final de indicadores, expert choice.

Obtención del Índice de Síntesis_IDMT

A partir de la matriz de datos ponderados (MDPond_DMT), se realiza el mismo procedimiento anteriormente explicado para el índice CSH, con ello se genera la Matriz de Datos del Índice de Síntesis de Degradación del medio transformado (MDSi_DMT).

A continuación, se muestran los Rangos de valores y Categorías del Índice, ver cuadro 7.

Cuadro 7: Resultados cuantitativos por categorías del índice de Condiciones Físico-Geográficas y Índice de Degradación del medio transformado (IDMT).

Rangos por ICDMT	Cant. Polígonos UGs	Categorías por IDMT	Población total (% en relación a la población de ZMM)	Población femenina, ancianas y niñas (% del total en ZMM)	Población masculina, ancianos y niños (% del total en ZMM)	Superficie (% en relación al área total urbanizada o poblada)
0.58 – 0.92	55	Sin Degradación	8597 (1)	6187 (1.1)	5518 (1.1)	694.7 (35.9)
0.93 – 1.60	258	Sin Degradación a Poca Degradación	69679 (8.4)	47362 (8.5)	47214 (9.1)	1021.3 (52.8)
1.61 – 2.28	269	Poca Degradación	101,164 (12.2)	67,461 (12.2)	65,072 (12.6)	110.3 (5.7)
2.29 – 2.96	262	Degradado	300,129 (36.2)	197,676 (35.7)	184,379 (35.6)	70.5 (3.6)
2.97 – 3.79	54	Muy Degradado	349,797 (42.2)	235,262 (42.5)	215,977 (41.7)	37.8 (2)
Total	898		829,366	553,948	518,160	1,934.60

Fuente: Elaboración propia

[illegible]

Figura 13: Mapa del Índice de Degradación del medio transformado

117

distribuyen en un área total de 1,022.5 km², lo que representa el 52.9 % del área Metropolitana, representan las unidades con mayor superficie. Entre las unidades geoecológicas con Situación Poca Degradación se identifican 117 unidades en la Zona Urbana, 131 de la Zona Periurbana y 21 de la Zona Rural, que abarcan un total de 54.4 km², las cuales representan el 2.8 % de la superficie total de la ZMM. Las unidades en la categoría en Degradación se distribuyen en un área de 70.5 km², lo que representa el 3.6 % de la ZMM en total; se distribuyen un total de 228 UGs en la Zona Urbana en una superficie de 52.3 km² lo que representa el 2.7 % de la ZMM. Las unidades en la categoría Muy Degradada abarcan un total de 37.8 km² las cuales representan el 1.95 % de la superficie total Metropolitana, se identifican 52 unidades en la ZU, 2 de la ZP y 1 de la ZR. En la Zona Urbana las unidades están distribuidas en una extensión de 37.2 km² que representan el 1.9 % del área total, en la Zona Periurbana se ocupan 0.5 km² con el 0.03 % de representación de la superficie total y la Zona Rural tiene una extensión de 0.13 km² de la misma.

- **Diferenciación Socioambiental de la Zona Metropolitana de Morelia**

La Diferenciación Socioambiental en un territorio constituye un análisis del medio ambiente en un momento dado. Del análisis por categorías del Diagnóstico Geoecológico, encontramos que la categoría de Situación de Transformación Leve tiene mayor representatividad en la Zona Rural para una población de 107 habitantes. La Situación de Transformación Media, se aprecia que, por la cantidad de habitantes afectados, predomina en la Zona Periurbana para un total de 4,303 residentes, aunque espacialmente abarcan mayor área las unidades con esta categoría al interior de la Zona Rural con 146 km². La Situación de Transformación Extensiva es predominante en la Zona Urbana con una afectación hacia 47,411 personas, muy próxima a la Zona Rural con 43,008 habitantes y mayor ocupación territorial con 1051 km². La Situación de Muy Transformado, para la Zona Urbana afecta a 145,903 residentes en un área muy compactada de 31 km² y la Situación de Transformación Extrema coincide para la Zona Urbana con 432,301 habitantes.

Cuadro 9: Población y Superficie por municipios al interior de la ZMM por categorías del Diagnóstico Geoecológico.				
Diagnóstico Geoecológico_ZMM	Morelia (población/área [km2])	Tarímbaro (población/área [km2])	Charo (población/área [km2])	Total (población [%]/área [%])
Transformación Leve	17 / 353.6	74 / 43.8	16 / 49.1	107 / 446.5
Transformación Media	4,976 / 161.3	1,845 / 10.5	371 / 27.5	7,192 / 199.3
Transformación Extensiva	62,755 / 664.4	33,565 / 232.4	8,956 / 191.7	105,276 / 1,088.5
Muy Transformado	196,077 / 93	47,521 / 12.3	11,345 / 9	254,943 / 114.3
Transformación Extrema	453,844 / 82.7	8,007 / 3.4	0	461,851 / 86.1
Total (población [%]/Área [%])	717,669 / 1355	91,012 / 302.4	20,688 / 277.3	829,366/1,934.6
Fuente: Elaboración propia				

Al interior de la Zona Metropolitana de Morelia, se ubican los municipios de Morelia, Tarímbaro y Charo, el Diagnóstico Geoecológico para estos territorios demuestra que en el municipio de Morelia la mayor cantidad de población se encuentra bajo categoría de Situación de Transformación Extrema, y la mayor superficie bajo Situación de Transformación Extensiva. Para el caso del municipio de Tarímbaro, la mayor cantidad de habitantes se encuentra bajo Situación de Muy Transformado y su mayor extensión superficial se ubica bajo Situación de Transformación Extensiva. Por último para el municipio de Charo, la mayor cantidad de población se encuentra bajo Situación de Transformación Extensiva y coincide con la mayor superficie bajo esta categoría. Podemos resumir además que la mayor cantidad de población en la ZMM se encuentra bajo categoría de Situación de Transformación Extrema, localizada en una extensión territorial muy pequeña de 86 km², (ver cuadro 9 en dirección vertical)

La Diferenciación socioambiental demuestra que en el municipio de Morelia la mayor cantidad de población se encuentra bajo categoría de Situación de Transformación Extrema, y la mayor superficie bajo Situación de Transformación Extensiva. Podemos resumir además que la mayor cantidad de población en la ZMM se encuentra bajo categoría de Situación de Transformación Extrema, localizada en una extensión territorial

muy pequeña de 86 km². Al interior de cada Zona: en la Zona Urbana, con una extensión del 58 % del total de la ZMM y la mayor cantidad de habitantes, 432,301, se encuentra bajo categoría de Situación de Transformación Extrema. En la Zona Periurbana con una extensión de 18 % del total del área metropolitana, 64,590 habitantes, se encuentra bajo categoría de Muy Transformado. En la Zona Rural, con una extensión superficial de 1,051 km² la población de 44,450 habitantes, habita en la categoría de Muy Transformado.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente propuesta metodológica, esta investigación contribuye al perfeccionamiento de un sistema universal de distinción, caracterización y cartografía de los paisajes en un contexto metropolitano, el análisis exploratorio de datos espaciales, nos permitió determinar características diferenciales de la situación socio-ambiental y establecer ⁶ la aplicación de un método de análisis sistémico de la situación ambiental de los paisajes urbanizados y en proceso de urbanización, y demuestra sólidos y coherentes criterios basados en el análisis exploratorio de los datos espaciales aplicables a Zonas Metropolitanas.

La presente propuesta es una aproximación al estado o situación socioambiental, pero cabe señalar que los resultados expuestos en esta investigación tienen la posibilidad de un análisis multiescalar; regional o local para una unidad espacial administrativas o la agrupación de estas, con diferentes indicadores y variables, por lo que puede ser generalizable a cualquier contexto territorial.

Es importante resaltar que la diferenciación socioambiental se realiza para un momento determinado, por ello, es necesario incorporar la dimensión temporal, ya que esto permite la comprensión de las dinámicas urbanas, analizar tendencias o predicciones, y explicar las causas de la degradación del ambiente físico y la desfavorabilidad del territorio.

En general, es nuestro interés destacar las posibilidades que brinda en el contexto de los SIG y los SADE, a la vinculación entre las bases de datos gráficas y la cartografía digital, que se convierte en una herramienta de gran importancia en el análisis multivariado exploratorio, para interpretar el comportamiento estructural de los datos geoespaciales.

Bibliografía

- Ávila, R. (2000). *El AHP (proceso analítico jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras el caso de Brasil*. Informe técnico no 2. Proyecto regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible" (Proyecto GCP/RLA/126/JPN). Santiago, Chile.
- Bocco, G., & Urquijo, P. (2013). *Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional*. Región y sociedad, 25(56), 5-102.
- Bosque, J., & Moreno, A. (1994). *Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos*. Oikos-Tau.
- Buzai, G. D. (2014). *Mapas sociales urbanos* (2da ed.). Lugar Editorial.
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. (2006). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Ed Lugar, GEPAMA.
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. (2008). Clasificación de unidades espaciales mediante el uso de indicadores de planificación. *Serie-publicaciones del PROEG* (Nº 6). Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G. D., & García de León, A. (2015). Balance y actualidad de la Geografía Cuantitativa. En M. Fuenzalida, G. D. Buzai, A. Moreno, & A. García de León (Eds.), *Geografía, geotecnología y análisis espacial: Tendencias, métodos y aplicaciones* (1ra ed.). Editorial Triángulo.
- Buzai, G. D., De la Cuétara, O. J., & Baxendale, C. A. (s/f). El hecho geográfico como unidad de tratamiento matricial. *Revalorización en geo informática y actuales perspectivas de aplicación en la investigación en geografía*. Conferencia EGAL.
- Carrera, M. C., & Méndez, R. (1998). El tratamiento estadístico y gráfico de la información. En C. Del Canto Fresno (Ed.), *Trabajos prácticos en Geografía Humana*. Síntesis.
- Chasco, C. (2003). Métodos gráficos del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. En: Anales. *ASEPELT* [Consultado el 6 de junio de 2010]. Disponible en <http://asepelt.org/ficheros/file/Anales/2003-Almeria>
- Delgado, O. (2003). *Debates sobre el espacio en la geografía contemporánea*. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos.
- García de León, A. (1997). Empleo de una metodología multivariada para la clasificación de unidades territoriales. *Revista del Colegio Mexicano de Geografía*, 14, 5-20.

- Guttman, E., Zorro, C., Cuervo, A., & Ramírez, J. C. (2004). *Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el distrito Capital de Bogotá*. Serie Estudios y Perspectivas, Oficina de la CEPAL en Bogotá.
- Haggett, P. (1977). *Análisis locacional en geografía humana*. Gustavo Gili.
- Humacata, L. M. (2014). Aportes metodológicos del análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica a la clasificación espacial en Geografía. *Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, 3, 118-147.
- Humacata, L. M. (2015). Análisis socioespacial de los partidos de la cuenca media del río Luján (Argentina), utilizando Sistemas de Información Geográfica. *Revista de Geografía Valpso*. (En línea) N° 52, 72-86. <https://doi.org/10.4067/s0718-98772015000200005>
- Martínez, A., & Bollo, M. (2017). Aplicación del enfoque geoecológico para la interpretación espacial de los niveles de urbanización. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17(53), 115-144.
- Moreno, A. (2008). Los servicios colectivos y el desarrollo territorial: una reconsideración conceptual y metodológica actual. En A. Moreno & G. D. Buzai (Coords.), *Análisis y planificación de servicios colectivos con Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Osorio, J. C., & Orejuela, J. P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 14(39), 20-25. <https://doi.org/10.22517/23447214.2936>
- Oropeza, M., & Díaz, N. (2007). La geotecnología y su inserción en el pensamiento geográfico. *Terra Nueva Etapa*, 23(34), 71-95.
- Perón, E., Pérez, M., & Chávez, A. A. (2007). Un esquema metodológico para el análisis de la situación socio-habitacional en una ciudad. En: *Desigualdad regional, pobreza y migración*. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C. ISBN UNAM: 978-607-30-0001-7, AMECIDER: 978-607-96649-8-5.
- Santarelli, S., & Campos, M. (2002). *Corrientes epistemológicas, Metodología y Práctica en Geografía*. Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- Sánchez, D. C. (2007). *Contribución del análisis espacial a la ciencia y a la Geografía: el caso de los métodos clasificatorios* (Tesis doctoral). Universidad del Salvador.

Toskano, G. B. (2005). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ANÁLISIS ESPACIAL COMPARATIVO DEL SERVICIO ⁵ DE AIRBNB EN LA CAPITAL DEL ECUADOR (QUITO URBANO Y LA CONURBACIÓN DE LOS VALLES) PRE Y POST PANDEMIA PARA EL AÑO 2018 Y 2022

Michelle Monserrath Revelo Suarez¹

INTRODUCCIÓN

El análisis espacial como una herramienta clave para encontrar soluciones a los problemas de la globalización desde una visión geográfica a fin de identificar patrones territoriales de lugar, tendencias, variables, escenarios sobrepuestos mediante capas gráficas para la toma de decisiones. En ese contexto, este capítulo va a abordar la distribución territorial del servicio de alojamiento informal mediante la plataforma AIRBNB en la capital del Ecuador, Quito en dos periodos de tiempo antes y después de la pandemia COVID-19.

A consecuencia de la cuarta era tecnológica, la sociedad ha sido impactada de forma disruptiva en las dinámicas tradicionales y culturales, la economía compartida y colaborativa se ha convertido en el nuevo método de producción económica a través de intermediarios virtuales automatizados mediante una interfaz virtual entre el usuario y el proveedor como Uber, InDriver, Pedidos Ya, Cabify entre otras. Estas dinámicas y formas de comercio representan un gran reto para la planificación y el ordenamiento territorial, porque aumentan el número de carros, motos, alojamientos que densifican y modifican el espacio que como consecuencia demandan equipamientos planificación y regularizaciones que permitan tener una sana convivencia y una adecuada gestión de la ciudad.

En las ciudades globales la ⁵ dinámica de renta de alojamientos informales a través de una plataforma virtual ha promovido la gentrificación no planificada (Deutsche & Gendel Ryan, 2015), la turistificación y desertificación de zonas urbanas (Smith & Williams, 2013). Para citar un ejemplo en Venecia a razón del consumo de la plataforma AIRBNB aumento la especulación de los precios de renta de los alojamientos por una alta demanda de turistas que pagaban mejor que los propios residentes y a un tiempo menor

¹ Maestra en planificación y prospectiva multiestratégica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ciencias Humanas: Quito, Pichincha, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3542-809>

de renta, lo que ocasiono que los dueños prefieran rentar a turistas e indirectamente generaron un desplazamiento de los propios que no les alcanzaba a pagar las expectativas de la demanda de renta. ⁵ López Morales (2013) afirma que, al hablar de los desplazamientos generados, directa o indirectamente, por procesos de gentrificación se deben tener en cuenta dos cosas: primero el impacto en la comunidad desplazada que esta no solo varía según cada caso, sino también varía con el tiempo y la segunda es que otros desplazamientos que se pueden generar en etapas posteriores generan pérdida de la cultura e identidad y cambios de usos de suelo.

⁵ La gentrificación es un fenómeno global producto de los procesos del nuevo colonialismo urbano que se ha evidenciado en muchas ciudades globales del Norte y Sur del mundo ya no se limita a ciudades globales, también se ha dado en ciudades intermedias y sobre todo en las capitales. ⁵ Janoschka et al. (2014) reconocen la importancia de las transformaciones materiales y simbólicas que se generaron con la implementación de políticas neoliberales, identificando tres perspectivas acerca de la materialización de este fenómeno en las ciudades de América Latina. Primero, las políticas neoliberales de gentrificación, políticas y mecanismos públicos que facilitan la inmersión del sector privado sector inmobiliario, comercio y turismo en las transformaciones socio espaciales. Donde existe mayor concentración de alojamientos ⁵ los políticos de turno promueven y ejecutan políticas gentrificadoras seguido de la producción de nuevos espacios inmobiliarios sirviéndose del crecimiento difuso de la mayoría de las ciudades latinoamericanas. Estas áreas urbanizadas informalmente poseen una renta potencial muy alta, por lo que se convierten en oportunidades de inversión para el sector inmobiliario que requiere de la asistencia de las administraciones públicas para la consolidación y legalización de estos terrenos mediante políticas de pacificación y regeneración de barrios previamente estigmatizados. El negocio está en comprar tierras a un costo bajo inclusive terrenos sin escrituras, legalizar y luego de la inversión cuadruplicar su precio. Cabe mencionar que si las políticas no están bien ejecutadas se puede inclusive densificar lugares expuestos amenazas naturales o antrópicas. ⁵ Por último, la denominada “gentrificación simbólica” está estrechamente ligada con las políticas de conservación y puesta en valor del patrimonio arquitectónico de las ciudades latinoamericanas con las cuales se busca atraer nuevos usuarios, especialmente a los centros históricos.

AIRBNB y el servicio de alojamiento, tiene una diversidad de ofertas desde un sofá cama hasta una hacienda o un edificio de lujo mediante la plataforma virtual. En la actualidad se encuentran más de 4 millones en más de 35.000 ciudades alrededor del mundo. Así mismo tiene una oferta de acuerdo con el presupuesto del turista desde un sofá, una habitación, una suite, departamento, hacienda, entre otras. Este emprendimiento está valorado en más de US\$101.600 millones de dólares (El Economista, 2020).

En el escenario ecuatoriano el turismo nacional e internacional es una oportunidad atractiva. Sin embargo, hay una falta de información, actualización, innovación de políticas que permitan mantener una relación armónica entre el sector público y privado. En el año 2016 se generó un reglamento para alojamientos turísticos a nivel nacional, estos deben tener unos requisitos mínimos relacionados con la calidad del servicio en cuanto a infraestructura, ubicación, oferta de servicio (MINTUR, 2016). Sin embargo, la dinámica de la plataforma AIRBNB es disruptiva, puesto que cualquier persona puede ofrecer lo que tiene desde un sofá cama en alojamientos a pesar de no tener permisos municipales ni las condiciones mínimas de servicio (Revelo, 2022). Así como grandes inmobiliarias que rentan los alojamientos de lujo sin costear ningún tributo, generando un perjuicio para la municipalidad. En este sentido la gentrificación puede ser entendida como un proceso de “reestructuración espacial de un área urbana mediante la inyección de capital fijo en el mercado inmobiliario y de infraestructura, orientada al reemplazo de usuarios de ingresos medios y bajos por usuarios de poder económico superior en un contexto de mercantilización del suelo” (Marulanda & Marti, 2019).

Por lo mencionado, el objeto de este caso de estudio es analizar los patrones territoriales producto del servicio de alojamiento informal a través de la plataforma AIRBNB en la capital de Ecuador, Quito para analizar la dinámica espacial de este territorio, la acogida e influencia de la plataforma en este territorio local. A fin de responder a preguntas ¿Cómo se distribuye los servicios de alojamiento según la oferta de la plataforma digital AIRBNB en la ciudad de Quito?, ¿Dónde y porque está ubicada la mayor densificación del servicio de alojamientos de AIRBNB en ese lugar?, ¿Cuál es la oferta más alta del precio de AIRBNB y donde está ubicado?, ¿Cuáles son las variables que condicionan los patrones espaciales de concentración/localización del servicio de alojamientos de la plataforma AIRBNB?, ¿qué zonas son atractivas para la densificación del servicio de AIRBNB en la ciudad de Quito?. A pesar de que no existen estudios

sustanciales de este tema de investigación, se puede generar información base para su debida regularización a fin de que puedan tener un diagnóstico anticipado del servicio de AIRBNB y como se está posicionando en la ciudad y planificar un posible proceso de gentrificación producto de la nueva dinámica del colonialismo urbano y la economía colaborativa. La transformación de pensamiento radica en que el futuro es algo por hacerse, no una sentencia ya dictada a fin de generar un proceso prospectivo que radica en tres elementos la anticipación, la apropiación y la acción (Medina, Becerra, & Castaño, 2014).

Cevallos (2018) analiza posibles indicios de desplazamiento en el centro histórico, procesos de expropiación, movimientos sociales de resistencia, este tipo de dinámicas permiten sospechar un posible proceso de Gentrificación a partir de una explotación turística del espacio desde la institucionalidad pública en la ciudad de Quito. En la actualidad no existe bibliografía que sustente o registre sistemáticamente el proceso de gentrificación en la ciudad de Quito o en otras urbes del Ecuador. Sin embargo, se han identificado algunos indicios de este proceso en varios barrios. Durán, Martí y Mérida (2016) incorporan el concepto de gentrificación al debate de dos zonas periurbanas de Quito (Cumbayá y Calderón) producto de nuevos patrones de consumo, emigración de la clase media alta, transformaciones socioeconómicas culturales, marginación de usuarios de bajos ingresos, costos elevados del suelo.

CRITERIOS METODOLÓGICOS

Dado que el objeto de estudio es la oferta de alojamiento informal a través de la plataforma AIRBNB como empresa virtual intermediaria y sus impactos en el territorio, fue necesario plantear algunos parámetros que sirvan de ejes teóricos en los que se pueda apoyar este trabajo. Por lo tanto, se elaboró análisis espacial del servicio de alojamiento de AIRBNB en la ciudad de Quito. Esta investigación fue sustentada con teorías geográficas, modelos espaciales y teorías del futuro prospectivista.

La tecnología en red se reconfiguran dos coordenadas: el espacio y el tiempo. A través de la red de internet no existen grandes distancias en estos dos ámbitos. La globalización, desarrollo humano y la comunicación reorganizan el tiempo, la distancia y el espacio. El resultado es que las tecnologías emergen como instrumentos transversales a la sociedad, es decir, penetran y se integran prácticamente en todas las actividades y hoy

no es posible prescindir de ellas (Silva, 2008). La economía colaborativa y el uso de las TIC's modifican la gestión y planificación territorial, las tecnologías adquieren importancia en el sector turístico cuando comienzan a cambiar de forma radical los productos, los servicios e incluso la estructura organizacional de las empresas y el sistema territorial que hacen de las tecnologías una herramienta para mejorar su eficiencia, eficacia y productividad (Cañas,2018). Así como la acumulación de capital al estar conectadas con nuevas oportunidades de negocio, aumento de comercio e inversión lo que permite un crecimiento económico para el turismo, pero un impacto negativo en el territorio si no es regulado.

El rumbo innovador de prestación de alojamiento adoptado por AIRBNB y otras empresas de turismo se puede ver mejor a través del lente de la teoría de innovación disruptiva propuesta por Clayton Christensen en 1995. Esta teoría describe un proceso donde un producto logra transformar un mercado, a veces incluso hasta el punto de destronar a empresas dominantes como las grandes cadenas hoteleras. Explica sobre un nuevo producto que inicialmente atrae a un segmento pequeño del mercado hasta que crea un mercado completamente nuevo. Dicho mercado, en un inicio, tiene un tamaño y márgenes de utilidad limitados por lo que no es preocupación para empresas líderes, estas prefieren concentrarse en mercados más rentables. No obstante, con el tiempo, el producto disruptivo mejora, convirtiéndose más atractivo para un mayor número de clientes y atrae a un creciente porcentaje del mercado principal; este cambio ocasiona mayor atención de las empresas líderes, pero para entonces, el producto disruptivo puede estar tan arraigado que estas compañías luchan por competir y generar impactos en el territorio (Guttentag, 2013). AIRBNB empieza con la renta de un sofá cama mediante la aplicación web, hoy en día el servicio a generado problemas de gentrificación en las ciudades globales, donde la oferta no ha podido ser regulada por el libre mercado.

Desde la geografía se explicó la proximidad de alojamientos del servicio de AIRBNB que a través de la teoría de La ley de Tobler (TFL), es la primera ley de la geografía cuya hipótesis surgió bajo la idea de que todos los elementos están relacionados. Sin embargo, los elementos más cercanos tienen más características en común (Tobler, 1970). El TFL es una técnica cuantitativa para medir relaciones de conectividad y correlación de acuerdo con la distancia. Para el análisis, se interpretaron los datos de la medición de la relación entre entidades geográficas, a fin de obtener un resultado que se

expresa en una correlación positiva o negativa. Cabe mencionar, que en el caso de que exista una asociación espacial, es decir, que la correlación sea positiva, no necesariamente es causal, pueden estar interactuando otras variables que no son fáciles de ver. Sin embargo, el estudio proporciona evidencia de causalidad que debe ser analizada de forma meticulosa por la diversidad de variables que convergen dentro del mismo espacio geográfico (Harvey J. Miller, 2004). Una vez que se identifique una proximidad y una correlación positiva se realiza un estudio exploratorio a fin de identificar patrones de densificación y corroborar la hipótesis de una posible gentrificación entendida como el desplazamiento de la población residente de los espacios centrales de la ciudad, donde la población de la clase media y alta ajena por origen de ese espacio transforma y habita estos espacios mediante nuevos perfiles laborales y diferentes formas de aprehender la ciudad (Checa-Artasu, 2011) que den pie a *brownstoning*¹², aristocratización¹³, elitización¹⁴ y aburguesamiento¹⁵, como dice Pacione (1990) para que exista gentrificación debe existir movilidad espacial de los habitantes de una zona urbana derivada de un proceso de segregación social y que esa área debe tener un valor del suelo con tendencia al abaratamiento y en el futuro a una especulación del valor de suelo tendiente a la alza.

En este contexto, la turistificación juega un papel clave en la influencia a la densificación y la correlación directa del uso de la plataforma AIRBNB podría influir los procesos de gentrificación entendida como un proceso complejo y multidimensional. Se busco determinar variables como: mayor presencia de visitantes en los espacios centrales de la urbe; incremento de las actividades directamente vinculadas al consumo turístico; reorientación de una gama cada vez más amplia de negocios a la clientela foránea; conversión de la vivienda en una nueva mercancía turística; creación de un paisaje o escena urbana donde predominan elementos turísticos. Responde a mutaciones más recientes de la actividad turística, de alcance todavía incierto (Freitag & Bauder, 2018).

¹² El llamado movimiento brownstoning en Nueva York (movimiento pro edificios antiguos de ladrillos oscuros) se autodefinía como un movimiento “de amor” y defensa de las casas históricas fabricadas.

¹³ Recambio socioeconómico de las áreas urbanas centrales se han realizado a lo largo de los últimos 40 años

¹⁴ Desplazamiento de quienes ocupaban los peldaños inferiores de la estructura socio-ocupacional por la clase burguesa o media alta.

¹⁵ Proceso de inversión de capital en el entorno de la construcción que satisface las demandas de los usuarios acomodados y, en el camino, desplazamiento del estrato social bajo.

Las variables sociales ¹ explican porque existe una alta demanda de suites en la oferta del servicio de Airbnb, el esquema familiar nuclear tradicional se ha transformado, se ha dado un surgimiento de familias monoparentales, aumento de índices de solteros y divorciados, parejas homosexuales que inciden en las dinámicas gentrificadoras. Los nuevos modelos sociales conviven con el incremento del individualismo con un mayor nivel cultural vinculado a una industria de crecimiento y segmentación sistemática del consumo, este cambio social demanda una modificación de la vivienda, ahora más funcional y reducida (Checa-Artasu, 2011).

Así mismo se da por sentado la existencia de un ciclo de vida para las diferentes partes de la ciudad, llámense barrios o distritos. Inicialmente, la gentrificación afectaba a barrios obreros en declive, cercanos a los centros urbanos, que las clases media y media-alta colonizaban o recolonizaban provocando el desplazamiento y la expulsión de los antiguos residentes. El mecanismo central de la gentrificación es la rent gap¹⁶. Los barrios sufren desinversión, baja la renta del suelo que puede extraerse en esa zona, y desciende así, los precios de compra y alquiler de inmuebles, generando una especulación de renta, las políticas públicas suelen resultar ¹ fundamentales, en la medida en que promueven o desalientan la desinversión y reinversión (Smith, 1979). Posterior a este proceso se da la Revitalización y adecuación de estos espacios incluyendo el espacio público generando el último proceso que es la renovación de estos espacios y aumento del precio de suelo por bienes y servicios.

¹ La evaluación del impacto a futuro los alojamientos del servicio de AIRBNB y su contraste multitemporal (datos cuantitativos) y del criterio de actores y expertos (datos cualitativos), además del análisis de las diferentes variables estratégicas que promueven la gentrificación (inductivo) y el análisis de las políticas a nivel estatal – local para evaluar los resultados de las diferentes tipologías (deductivo) determinaron que esta investigación sea de tipo mixta (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 532).

Esta investigación se enmarca en la línea de investigación geográfica y en prospectiva: generación de pensamiento estratégico y prospectivo para la toma de decisiones, sublínea de investigación Prospectiva Territorial, puesto que se pretende visualizar el desarrollo

¹⁶ Diferencia de renta

¹ futuro para orientar la planificación estratégica territorial y las políticas públicas. En la presente investigación se busca examinar el servicio de alojamiento informal de AIRBNB en Quito urbano y su potencial efecto en la generación de un proceso de gentrificación en el futuro.

¹ Berry (1996) considera que el análisis espacial se define a través de operaciones cuyos resultados dependen de la localización espacial. Por lo dicho, el análisis espacial evalúa el movimiento de las entidades geográficas, y sus efectos; busca solucionar los problemas de los fenómenos geográficos, y, para esto, incluye teorías del espacio geográfico (Harvey, 2003); técnicas estadísticas y matemáticas para medir distancias, herramientas tecnológicas como los SIG (Sistemas de Información Geográfica) que analiza las relaciones geográficas entre objetos espaciales, mediante un software que permite la visualización y combinación de capas temáticas, permitiendo un estudio multitemporal y multivariable (Buzai, 2015). Por lo dicho se utilizó para realizar un diagnóstico y estudio del sistema de forma multitemporal de la dinámica del servicio de la plataforma AIRBNB en Quito.

¹ La investigación se basó en información estadística e histórica, criterios de expertos y de bibliografía respecto a la temática, describiendo y explicando los diversos componentes o variables que se han investigado y no se las pudo controlar, haciendo que el alcance de este estudio sea explicativo y descriptivo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

El estudio consideró diferentes métodos para la generación del conocimiento, aplicando la cartografía, la abstracción de la realidad en función de variables territoriales y la construcción de modelos geográficos relacionados a la contextualización socioeconómica de Quito y por otro lado realizó la triangulación de datos para hallar proximidad multitemporal del servicio de alojamiento mediante la plataforma virtual. Finalmente aplicó la Matriz de Impactos cruzados, método prospectivo para generar las variables estratégicas y la Matriz Morfológica para generar escenarios relacionados a una posible Gentrificación.

Método de Recolección de Datos

El levantamiento de información de los alojamientos de AIRBNB fue a través de Google MyMaps y la plataforma oficial del servicio de alojamiento. Estos datos fueron levantados de forma multitemporal en dos periodos 2018 y 2022 a una escala 1:5.000 antes y post pandemia Covid-19. Así mismo la información fue sometida a una valoración y verificación de fuentes para no dejarse engañar por falsas evidencias, en este sentido se evaluó con los expertos las probabilidades de ocurrencia de un evento a la luz de la información más reciente para el análisis, porque pueden cambiar de forma aleatoria (Pino, 2008). Esta información no es únicamente cualitativa, sino también cuantitativa y espacial que respalda las condiciones actuales e históricas, para corroborar y analizar datos multitemporales.

A continuación, se muestra la Operacionalización de indicadores que resulto del modelo ACP para el análisis de la dinámica espacial de la plataforma AIRBNB y su integración con las estructuras territoriales locales de Quito urbano.

Tabla 4. Operacionalización de indicadores para el Análisis Espacial del servicio de alojamiento AIRBNB

Variables	Indicadores
INTERNAS	Número de alojamientos de AIRBNB 2018
	Número de alojamientos de AIRBNB 2022
	Número de personas por sector censal que tienen computadora.
	Número de personas por sector censal que tienen internet.
	Número de personas por sector censal que tienen teléfono.
	Número de personas por sector censal que tienen celular.
	Número de personas por sector censal que tienen Tv cable.
	Número de personas por sector censal que tienen ducha personal.
	Número de personas por sector censal que tienen baño personal.
	Número de personas por sector censal que tienen cocina.
	Número de personas por sector censal que asisten a un establecimiento educativo particular.
	Número de personas por sector censal que asisten a un establecimiento educativo fiscal.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la enseñanza.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la ciencia.

Variables	Indicadores
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión al comercio.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la salud.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a las finanzas.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la comunicación.
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la construcción
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión a la electricidad
	Número de personas por sector censal que se dedicaron como profesión al transporte.
	Número de viviendas por sector censal que tiene tubería dentro de la vivienda.
	Número de viviendas por sector censal que reciben luz eléctrica de la Empresa eléctrica de Quito.
	Número de viviendas por sector censal que tienen alcantarillado.
	Número de viviendas por sector censal que reciben agua mediante una red pública.
	Número de viviendas por sector censal que tienen vías de acceso pavimentadas.
	Número de viviendas por sector censal que tienen paredes en buen estado.
	Número de viviendas por sector censal que tienen focos de ahorro.
	Número de personas por sector censal que son Bilingües.
	Número de personas por sector censal que son hogares unipersonales
	Número de personas por sector censal que utilizan el servicio sanitario.
ESPACIALES	Relaciones topológicas
	Relaciones de superficie Polígonos de Voronoi ¹⁷ .

Fuente: INEC, 2010; AIRBNB, 2018; AIRBNB, 2022

Elaborado por: la autora.

Una vez identificadas las variables que inciden en la dinámica espacial de AIRBNB y su integración con las estructuras territoriales locales de Quito urbano mediante la

¹⁷ Distribución espacial de la demanda y sus distancias, consiste en comprobar cuales son las áreas de influencia con la finalidad de verificar el alcance del servicio a partir de sus centralidades. El procedimiento es mediante un mosaico realizado a partir de puntos equidistantes (Teoría del lugar central de Chistaller), la existencia ideal de un mosaico irregular a partir de la localización real de los puntos. La finalidad del mosaico es diferenciar la proximidad, polígonos más grandes menos proximidad, polígonos más pequeños mayor proximidad.

recopilación ¹ de información y análisis espacial. Se presenta a los expertos el inventario de variables para seleccionar las consensuadas según su nivel de experticia.

Al realizar el conteo y tabulación de la información recopilada, se procedió a agrupar las principales variables en ámbitos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, urbanos y legales en una matriz PESTAL¹⁸ y si estas son oportunidades o amenazas. Por el tema de investigación se dio prioridad a las amenazas.

Análisis de los Datos

Mediante ¹ el análisis espacial se visualizó la dinámica espacial de la plataforma AIRBNB en Quito urbano y se la relaciono con las estructuras territoriales locales. El post procesamiento de los datos fue mediante el software ArcGIS 10.5. la herramienta del ArcToolbox Polígonos de Voronoi para medir la proximidad. Así mismo, para la realización de la ACP o Análisis de Componentes Principales se utilizó los datos del Censo 2010 de Hogar y Vivienda. Estas bases de datos por sector censal se procesaron para elegir un menor número de predictores para pronosticar una variable objetivo, en este caso se pretendía medir el nivel socio económico de las familias Quiteñas y hallar un patrón de correlación con el servicio de AIRBNB.

Para identificar los conflictos socio espaciales que podría generar el servicio de alojamiento informal AIRBNB en Quito urbano, se realizó un inventario de variables mediante talleres ¹ con expertos. Estas variables fueron analizadas mediante la Matriz de Impactos Cruzados o MIC MAC. Este método relaciona de manera ordenada las variables representativas del sistema con las del entorno, para evaluar los niveles de influencia y dependencia de cada una, y de esta forma determinar cuáles son neurálgicas para la evolución del sistema tratado. Finalmente, con la identificación de las variables clave y la identificación de la Zona de Conflicto resultado de la matriz de impactos cruzados.

A continuación, se muestran algunos métodos utilizados en esta investigación

¹⁸ Matriz de variables Políticas, Económicas, Sociales, Tecnológicas, Ambientales y Legales por sus siglas PESTAL.

Figura 1. ¹ Esquema de Métodos



Elaborado por: La autora

¹ El método de abstracción establece conclusiones específicas en función de la descomposición de una realidad en partes de un sistema territorial dado los diferentes factores internos y externos que afectan el servicio de alojamiento AIRBNB, a partir de la reconstrucción de una ejemplificación de la realidad que permite reconstruir un modelo espacial (Pillet, 2004). Sumado al método cartográfico que permitió interpretar por medio de mapas los diferentes hechos y fenómenos geográficos del espacio, elementos o variables y sus relaciones (Escobar, 2004) y finalmente el Método prospectivo permite anticiparnos a los posibles escenarios de una gentrificación no planificada.

¹ A fin de analizar las estructuras territoriales locales de Quito se realizó la metodología ACP o Análisis por Componentes Principales es uno de los métodos estadísticos de minería de datos a fin de identificar las principales variables que confluyen en las diferentes estructuras territoriales en la ciudad de Quito con la información de Población, Hogar y Vivienda del censo 2010.

⁸ FASE POBLACIÓN: Características de la población, educación, cultura y seguridad social. Se ha identificado como variables: Área urbana o rural (URP), Cual es el sexo (P01=1), Tiene seguro de salud privado (P07=1), Tiene discapacidad permanente por más de un año (P08=1), Como se identifica según su cultura y costumbres (P16=todas), Sabe leer y escribir (P19=1), En los últimos 6 meses ha utilizado internet (P20=1), El establecimiento de enseñanza regular al que asiste (P22=todos), Cual es el nivel de instrucción más alto al que asiste (P23=todas), Seguridad Social aporta o es afiliado

(P35=todas); Rama de actividad recodificada (RAMCT= todas), Estado conyugal (P34=todas). Con estas variables se formó una tabla por sector censal (Revelo, 2019).

FASE VIVIENDA: Características de calidad de vivienda, servicios básicos, actividad económica, hacinamiento, e ingresos. Se han identificado como variables: Tipo de vivienda (VTV=reclasificada); Vías de acceso principal a la vivienda (VAP=reclasificada); Material predominante de las paredes exterior (V03=reclasificada); De donde proviene principalmente el agua (V07=reclasificada); El servicio higiénico o escusado de la vivienda (V09=reclasificado); El servicio de luz (V10=reclasificada); Número de personas por cuarto (PERCUA= reclasificada) (Revelo, 2019).

FASE HOGAR: Características de servicios que ofrece el hogar Se han identificado como variables: Tiene este hogar cuarto o espacio exclusivo para cocinar (H02); El servicio higiénico o escusado que dispone el hogar es personal(H03); Dispone este hogar de espacio con instalaciones y/o ducha para bañarse (H04); Dispone este hogar de servicio de teléfono convencional (H07); Algún miembro de este hogar dispone de servicio de teléfono celular (H08); Dispone este hogar de servicio de internet (H09); Dispone este hogar de computadora (H10); Dispone este hogar de servicio de tv cable (H11) (Revelo, 2019)

DISCUSION

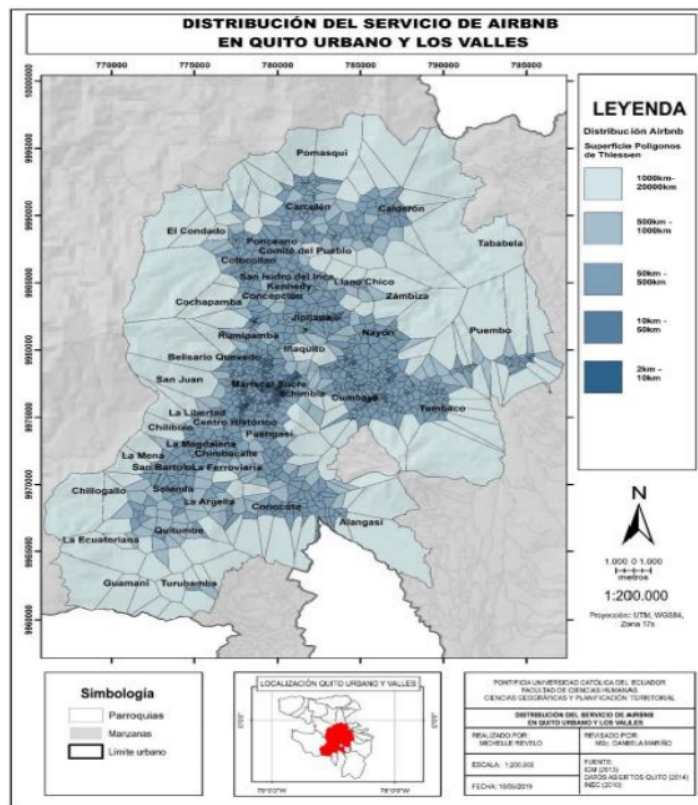
Distribución de los alojamientos

Mediante análisis espacial de proximidad y triangulación de Thiessen la distribución de los alojamientos de AIRBNB en el año 2018 se identificó las zonas de densificación del servicio y su proyección de densificación al futuro. La forma territorial de Quito es larga esta acentuada sobre rellenos entre dos cordilleras de domos a lo largo del río y en la conurbación de los Valles. Actualmente tiene un sistema optimo de transporte mediante el metro que pasa por debajo de los domos optimizando el tiempo entre el norte centro y sur. En el año 2018 se identificó un total de 1501 datos de alojamientos distribuidos a lo largo de la urbe (Revelo, 2022). Existieron cuatro principales centralidades de densificación del servicio de alojamiento que es Centro histórico, Mariscal Sucre, Jipijapa y Cumbayá representadas por el color rosado intenso en la Figura 3. Sin embargo, se identifica una posible densificación del servicio en el Centro-Norte y Valles. En el sector sur la continuidad del servicio es intermitente, a pesar de que Quitumbe tiene un

importante Equipamiento como el terminal terrestre intercantonal que puede ser atractivo para el turismo interno.

Bajo el concepto de la Ley de Tobler se realizó un análisis de polígonos de Voronoi del servicio de Airbnb para el año 2018, donde permite visualizar donde existe mayor densificación del servicio mediante teselas, a mayor tamaño menor correlación y a menor tamaño mayor correlación. Las zonas donde existe una alta densificación y un riesgo a la gentrificación son de norte a centro Jipijapa, Belisario Quevedo, Mariscal Sucre Itchimbia, Centro Histórico y en los Valles Cumbayá. Bajo la premisa que el servicio de alojamiento tiende a concentrarse en zonas específicas y a generar transformaciones del espacio como la Gentrificación habría que realizar un diagnóstico mas exhaustivo de la oferta y demanda, valor del suelo y ver si existen determinados procesos de desplazamiento. Sin embargo, con un análisis multitemporal se puede corroborar dicha hipótesis de densificación.

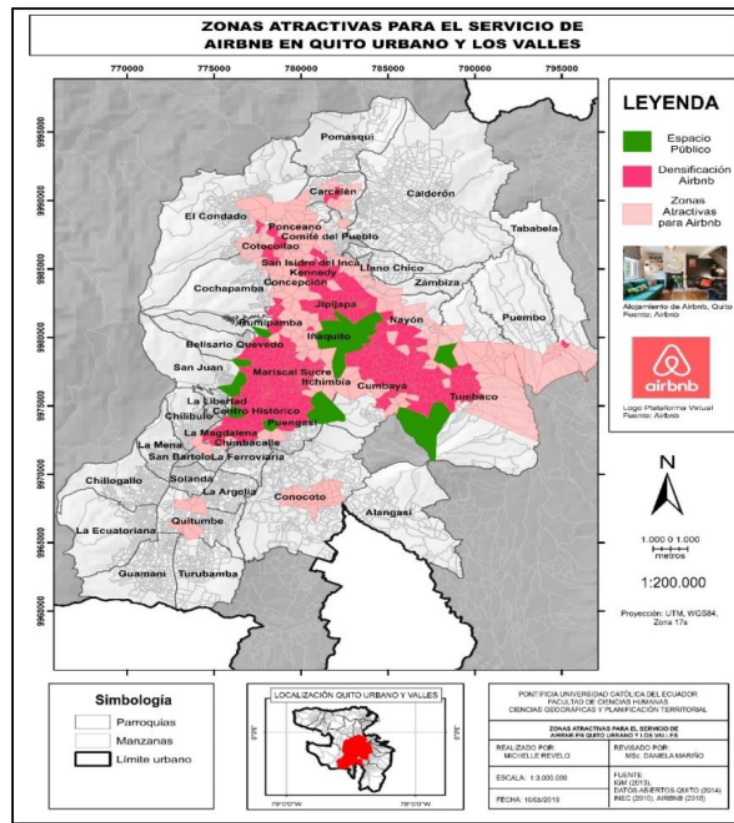
Figura 2. Polígonos de Voronoi ¹ del Servicio de AIRBNB en Quito Urbano y Los Valles con datos del servicio de alojamiento data 2018



1

La belleza de la ciudad es clave a la hora de ofertar un servicio de alojamiento en la plataforma virtual, que es palpable en los altos costos de renta de alojamiento de AIRBNB, el centro de la ciudad condensa la riqueza, la cultura, los símbolos, los hitos más tradicionales de la población Quiteña. La mayoría de la inversión pública se ha destinado a fortalecer la conexión centro-norte, esto a concatenado en inequidades territoriales entre el norte y centro con respecto al sur de Quito. El ordenamiento territorial que existe en el centro norte y valles no es el mismo que ha sido en el sur. Existe un mayor desordenamiento de asentamientos humanos que están pareados sin franjas de retiro para aceras o lotes vacantes para equipamientos o áreas verdes. Al sur de Quito existen mayores problemas de invasiones y asentamientos informales que no se ha podido realizar un control para la conformación y planificación urbana dicho crecimiento ha sido desordenado.

Figura 3. Zonas de Densificación del Servicio de AIRBNB en Quito Urbano y Los Valles con datos del servicio de alojamiento data 2018

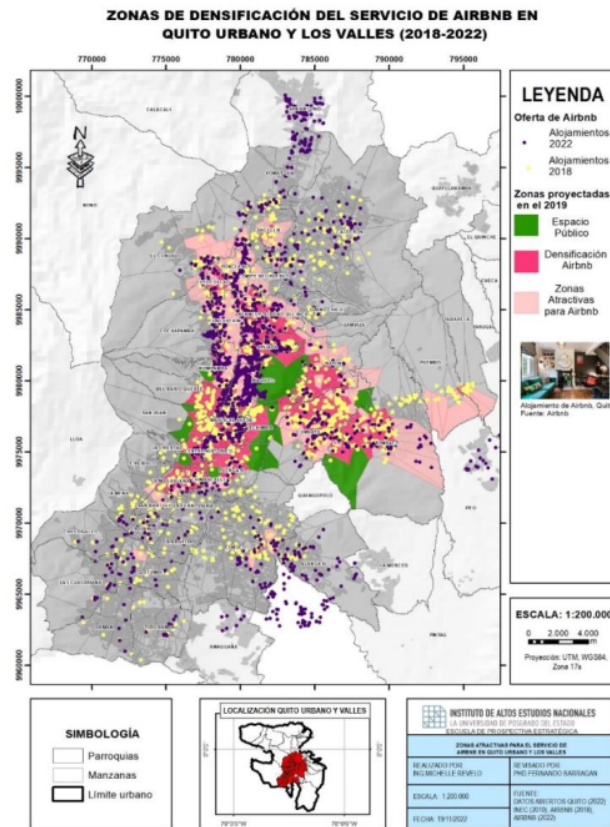


Fuente: Revelo, 2019

Frente a la pandemia Covid-19 se proyectaba un declive en la oferta y demanda del servicio de alojamiento mediante la plataforma AIRBNB. Sin embargo, el resultado de las múltiples campañas de la plataforma a fin de promover un alojamiento seguro con medidas de protección y aislamiento, sumado al desempleo se visualiza que tuvo un crecimiento de la oferta de alojamientos para el año 2022. En el mapa se representa con puntos de color morado, los alojamientos ofertados en AIRBNB actualizados al año 2022 y los puntos de color amarillo de los alojamientos ofertados en el 2018. A partir del contraste de estos dos periodos se colige un crecimiento del servicio a lo largo de Quito, con nuevas ofertas y diferentes barrios tanto al sur como al norte y en Los Valles. Sin

embargo, el patrón de densificación de la oferta a los servicios predomina en el centro histórico que tiene un componente turístico, hacia el norte y valles. Al sur de visualiza una oferta de tipo dispersa. En contraste al 2018 se evidencia la densificación de las zonas atractivas para AIRBNB como ya se había proyectado, por lo tanto es necesario prestar atención a estos procesos de densificación e identificar anticipadamente un proceso de gentrificación.

Figura 4. Zonas de Densificación del Servicio de AIRBNB en Quito Urbano y Los Valles



Fuente: (Revelo, 2019); (Revelo,2022)

El director Brian Chesky de AIRBNB mencionó en una entrevista que lo que se tardó en construir más de 10 años perdió en cuestión de semanas. Existió una fuerte incertidumbre en cuanto al turismo, por la base de datos que manejaba reconoció que no perdió ningún alojamiento durante la crisis a pesar de que no se rentara. Sin embargo, se

dio un fenómeno inusual aumento¹ la oferta es decir el número de alojamientos durante la crisis sanitaria (Chesky, 2020). En ese sentido la empresa implementó protocolos de bioseguridad como son el uso de mascarillas, distanciamiento social, los anfitriones deben cumplir con procesos de limpieza avanzada (Aibnb, 2020). En ese sentido, se colige que el hecho de que no se hayan perdido alojamientos se explica que, por la pérdida de empleos durante la pandemia, las personas buscan inversiones alternativas y emergentes, principalmente en economías colaborativas mediadas por lo tecnológico: entrega de bienes, alquiler de casas, autos, entre otras.

¹ El centro norte de la urbe y Los Valles tiene alta densificación del servicio de alojamiento, a pesar de las implicaciones e impacto que tuvo el evento disruptivo Covid-19 en el año 2020. El número de alojamientos de AIRBNB para este año es de 1740. En 5 años aumentaron alrededor de 239 alojamientos a pesar de la crisis sanitaria declarada el 11 de marzo del 2020 por la ONU. En el año 2020 la pandemia redujo el número de turistas, en un -69,0% y en los primeros meses del 2021 se registra una caída del -80,2% (MINTUR, 2021).

Al dimensionar la oferta de alojamientos de Airbnb se identifica que el espacio público es reducido. Los gobiernos locales y las políticas públicas con este diagnóstico se evidencian que han fortalecido, ¹ las alianzas públicas privadas que han promovido la urbanización de las zonas rurales como fueron Carcelén y Cumbayá, esto en cuanto a la mercantilización del suelo ya que el precio del uso de la tierra en las periferias es más barato. ¿A qué modelo responde este proceso? ¿Estáramos hablando de la reproducción del modelo estadounidense ligado con la privatización del espacio y la ruptura del tejido comunitario a través de conjuntos cerrados y grandes centros comerciales? O, por el contrario, ¿es un proceso singular que combina diferentes tipos de transformación estructural? Y finalmente, ¿podríamos hablar de un fenómeno de gentrificación con nuevas centralidades? (Durán, Martí, & Merida, 2016). Los equipamientos y servicios se han reducido y ya son insuficientes para la oferta y demanda de la inserción de grandes inmobiliarias que apuestan este negocio de alojamientos por plataforma de Airbnb. Uno de los principales centros comerciales denominado el Portal y Escala se han ubicado en las periferias de Quito. Los grandes inversionistas de no ver una zona estratégica mediante estudios no hubiesen invertido en estos grandes centros comerciales.

¹ En Barcelona hay cerca de un millón de viviendas, la oferta de AIRBNB data de 17.000 anuncios, lo que representa el 1.7% de las viviendas, dada esta cifra a nivel general se puede deducir que impacto de la plataforma es mínimo. Sin embargo, el problema es la concentración de este servicio en los 7 barrios más turísticos de Barcelona que representa la mitad (50,91%) de la oferta global de la ciudad (Verdú,2015), la oferta y la demanda no logran mantener un equilibrio y sigue creciendo la oferta a pasos agigantados modificando la planificación urbana sin estabilidad ni garantías para la población.

¹ La Tola Tradicional barrio ubicado en el centro de Quito, el precio de renta es bajo porque los servicios de soporte no se mantienen, se convirtió en un gueto, barrio inseguro por la proximidad al mercado central. Sin embargo, por su ubicación, tradición y cercanía a los hitos, se están instalando nuevos servicios de alojamiento y a la vez se está viendo un cambio en la dinámica tradicional. Este barrio se convirtió en un centro de diversiones con la instauración de cafeterías, bares, pizzerías, restaurantes. Poco a poco la población ha ido desplazando y en la actualidad solo hay ofertas para turistas (Rosero,2018). La ciudad se está convirtiendo en una marca, la gente de estrato social más alto forma centralidades y revive los lugares peligrosos. Compran activos inmobiliarios baratos, los transforman y los venden cuando el precio del suelo se ha llegado a triplicar mediante normativa, en este escenario la especulación y las políticas públicas juega un papel importante. Finalmente, el proceso concluye una vez que se genera una limpieza social, se adecua los espacios y se expulsa a los estratos bajos a los suburbios periféricos.

¹ En la actualidad la pandemia Covid-19 ha disminuido su incidencia, si bien la pandemia desacelero los procesos de densificación del servicio de alojamiento, estos continúan aumentando. El crecimiento urbano en Quito es de forma vertical mediante Propiedad Horizontal¹⁹ y periférica. En el 2018, a través del servicio web ARDNA ²⁰se identificó que los alojamientos del servicio de AIRBNB representan el 74,33% departamentos enteros; 22,14% habitaciones privadas; 2,96% casa entera y otros varios tipos de alojamiento que se encuentran disponibles (Cañas, 2018). Estos datos dan la pauta de que el servicio ofertado de AIRBNB en su mayoría es de departamentos que se

¹⁹ La propiedad horizontal es una propiedad predial especial que confiere a su titular el uso, goce y disposición de las secciones inmobiliarias en que se divide la unidad matriz. Cuenta con un reglamento interno y una junta de propietarios

²⁰ AirDNA: Market Minder Quito - Ecuador. Plataforma web de datos pagados y actualizados de la oferta servicio de AIRBNB.

alojamientos ofertados del servicio de AIRBNB en los dos años 2018 y 2022. Esta relación positiva permite identificar ⁹³ que en los sectores donde existe una economía alta hay la oferta del servicio de Airbnb a través de las Tics (tecnologías de la información y la comunicación). La plataforma inició bajo el concepto del couchsurfing cuya iniciativa nace de personas con recursos económicos altos que prestaban su casa en diferentes lugares de residencia entre amigos y familiares a fin de promover el turismo. Los creadores de la plataforma no tenían como pagar su arriendo y bajo este concepto rentan su sofá a fin de cubrir sus necesidades básicas, sin pensar que se iba a convertir en una multinacional que iba a generar altos réditos económicos a nivel mundial.

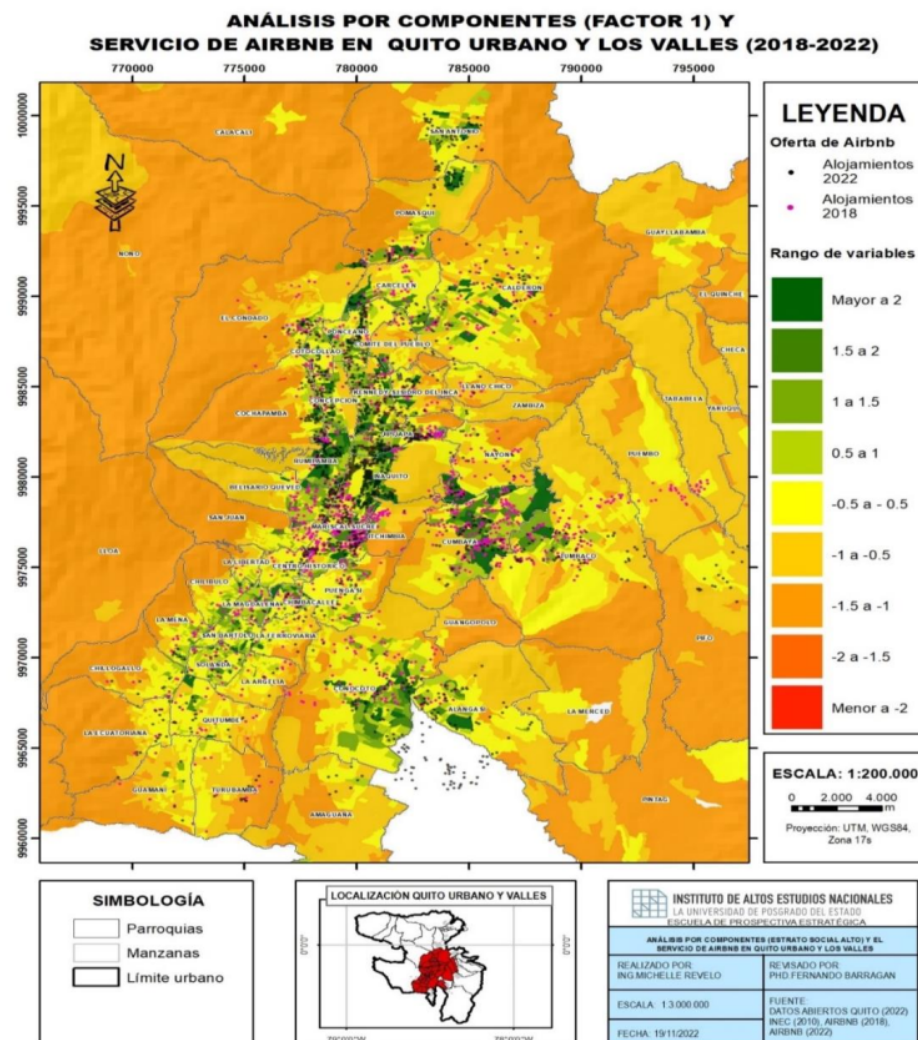
Sin embargo, existe una diversidad de tonalidades en la paleta de colores que van desde el más alto representado con verde hasta el más bajo representado con rojo. Esta diversidad tal como se representa en el mapa permite visualizar una heterogeneidad territorial en ¹ la composición territorial de Quito, esta es compleja y diversa convergen en el mismo sector diferentes clases sociales que no necesariamente comparten entre ellas, cada predio es una especie de isla urbana cercada por cerramiento, la única proximidad existente es la física mas no la social. Esta ¹ forma urbana presenta, entre otras características, una tendencia hacia a la periurbanización y la policentralización donde todo es “difuso, desigual y fragmentado” (De Mattos, 2010). Sin embargo, la proximidad a los servicios y equipamientos juega un rol importante para la densificación de la oferta de un Airbnb, pueda que un predio determinado pertenezca al estrato social más bajo de Quito, pero por su proximidad a los servicios y equipamientos es visto como una oportunidad para la transformación de dicho predio. Esta transformación es más fácil cuando las políticas públicas acompañan las estrategias de los grandes inversionistas. Es decir, avalúos bajos que permite que la oferta de compra y venta sea a un costo mínimo, así como los planes de uso y gestión del suelo donde se determina parámetros urbanísticos permitidos como retiros, número de pisos, materiales de construcción, entre otros a favor del monopolio de las constructoras por ejemplo Uribe Schwarzkopf cuyos diseños y número de pisos modifican el paisaje.

Imagen 1. Edificio de Uribe Schwarzkopf en el sector la Carolina, Quito.



Fuente: Uribe Schwarzkopf, 2024

Figura 6. Estructuras Territoriales y Servicio de AIRBNB 2018-2022



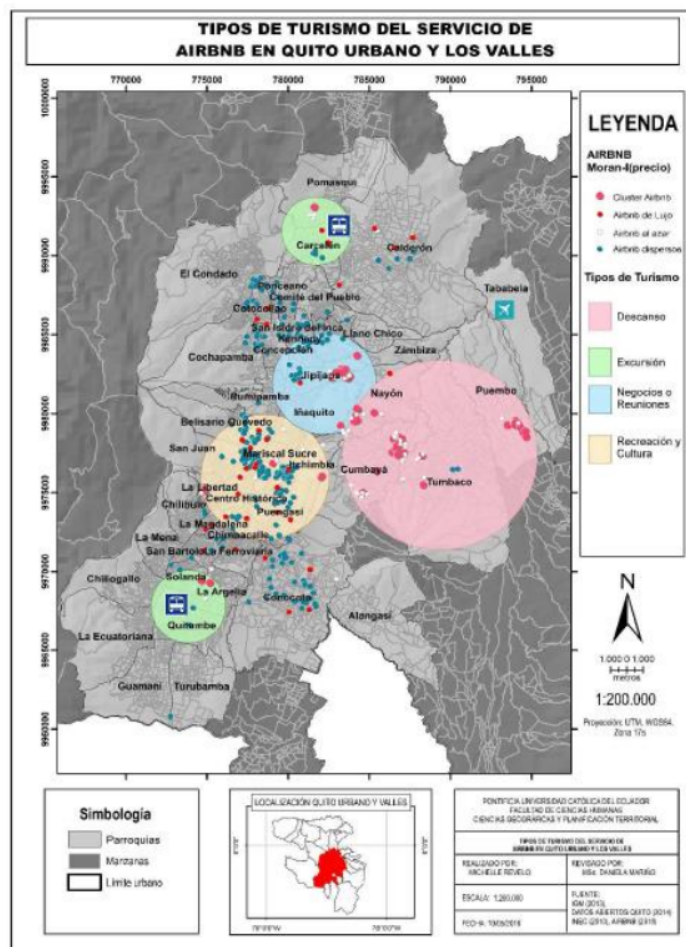
Fuente: (Revelo, 2019); AIRBNB, 2022

Elaborado por: la autora.

Así como los grupos sociales y elementos físicos representan una heterogeneidad territorial la oferta de servicios de Airbnb es amplia y diversa por ejemplo suites, haciendas, habitaciones, fincas, haciendas, hoteles, departamentos, casas a diferentes precios se ajustan las necesidades de la demanda. En el 2019, se pudo identificar diferentes tipos de oferta relacionadas con los sectores a lo largo de la urbe. Sin embargo,

tenían un patrón en común en los valles se ofertaba haciendas, casas de campo con piscina que tenían mucho que ver con un tipo de turismo de descanso, en los límites del norte y el sur se ofertaba Airbnb mucho más baratos así mismo había una gran dispersión de ofertas que eran como departamentos sin mayor atracción en específico más que cuartos para pasar la noche que tenían relación con un turismo de excursión por la cercanía a los terminales. En el sector de Jipijapa, Iñaquito la oferta es de departamentos o suites de lujo que tienen que ver con un turismo de negocios y reuniones así mismo tiene una correlación con los servicios y equipamientos financieros, empresariales, administrativos, jurídicos. Finalmente, el centro histórico tenía una oferta de alojamientos más de tipo rústico, cultural, patrimoniales alojamientos de casas antiguas restauradas. Este análisis espacial se realizó mediante los atributos que se le asignó a cada alojamiento se filtró y se procedió a zonificar identificando un patrón espacial en cada uno de ellos.

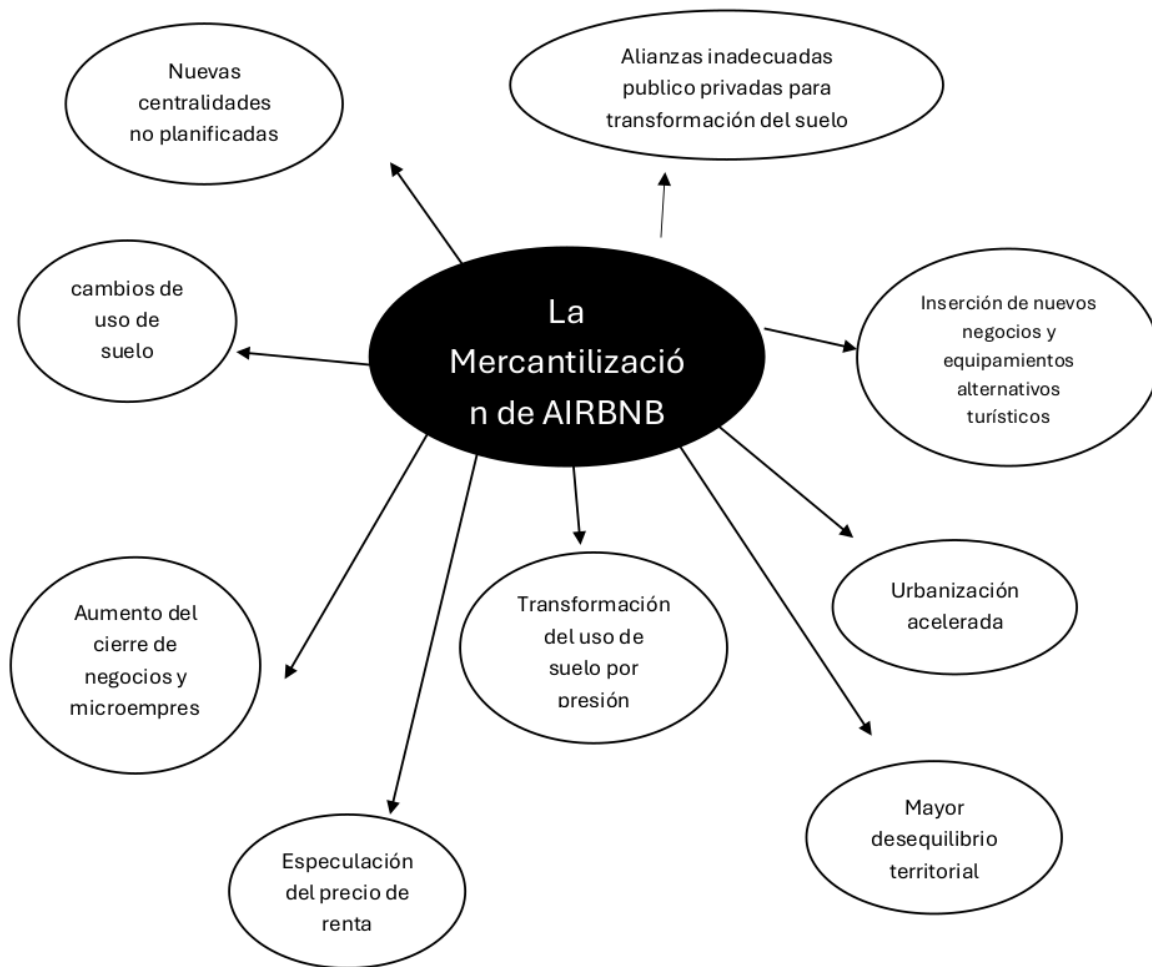
Figura 7. Tipos de Turismo en función del servicio de Airbnb



Fuente: (Revelo, 2019)

Como se pudo observar en los análisis anteriores mediante el análisis espacial se puede identificar de forma anticipada riesgos de la mercantilización del servicio de alojamientos a través de la plataforma Airbnb y los lugares donde se puede concentrar, a fin de que los tomadores de decisiones puedan tomar medidas al respecto. Por ello, en la figura a continuación es necesario tomar en cuenta algunos criterios a fin de estar alerta y no promover procesos de gentrificación no planificada que determine creando guetos de pobreza en las periferias urbanas de la población en este caso Quiteña.

Figura 8. Escenario que promueve la Mercantilización del servicio de Airbnb



Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

En el presente análisis se realizó a través del análisis espacial y ¹ el proceso prospectivo, que inició de un levantamiento de información, intervención de expertos y revisión bibliográfica, ¹ identificación de problemas y retos que se visualizaron a mediano plazo en la densificación de la oferta de AIRBNB y representan una mayor complejidad para las políticas públicas.

La gentrificación es más que un proceso de transformación urbana, en la actualidad se ha convertido en un problema político internacional que avanza en las principales urbes del mundo, el avance de las políticas neoliberales, la exclusión socioeconómica, la mercantilización del suelo y alianzas públicas privadas.

Durante el desarrollo de las fases de análisis espacial para encontrar patrones territoriales existe la posibilidad de que se abra un servicio de AIRBNB, esta es aleatoria ya que cualquier usuario puede ofertar lo que tiene mediante la plataforma virtual. Sin embargo, se observa mayor concentración y densificación estrechamente relacionado con los estratos sociales más altos que gozan de una buena infraestructura, tecnología y se presume mejores niveles de educación y servicios. A pesar de que no es una condición necesaria, ya que los inversionistas buscan nichos de mercado en los predios de costo bajo para restaurarlos o si es posible a través del plan de uso y gestión del suelo crear grandes edificaciones, adosadas ocupando el 100% del coeficiente de ocupación del suelo y vender o rentar a un precio mucho mayor.

AIRBNB ha provocado cambios evidentes en la estructura socioeconómica de algunos barrios de Quito, brindando una configuración más heterogénea con esta investigación se muestra que si bien el servicio de AIRBNB no es la única variable para la gentrificación, sí es una gran herramienta para la transformación del suelo y la evasión de impuestos. El patrimonio y la cultura se han convertido en mercancías que están a disposición de gobiernos y empresas para la construcción de una marca de ciudad y centros de consolidación de la plataforma.

Con el crecimiento de la oferta de la plataforma AIRBNB vienen desafíos para la planificación y ordenamiento territorial que pueden tener un efecto detonante en la ciudad. Con este conocimiento, las organizaciones, los individuos y el gobierno pueden trabajar juntos para prevenir y mitigar problemas socio económicos y urbanos.

Los inversionistas aprovechan sus inicios idealizados de compartirlo que se tiene han evadido regulaciones, impuestos y rendición de cuentas al gobierno, se ha monetizado el valor social del compartir. El fenómeno de la turistificación se está convirtiendo en un factor importante para la desigualdad urbana y la plataforma de alojamientos alimenta el deseo de ganar dinero sin medir las consecuencias en el uso de suelo.

BIBLIOGRAFIA

- AIRBNB. (2019). AIRBNB. Obtenido de https://es.AIRBNB.com/a/?af=43720035&c=.pi0.pk16593168622_259994555952_c_12026464216&sem_position=1t1&sem_target=kwd12026464216&location_of_interest=&location_physical=9069516&ghost=true&gclid=Cj0KCQiAh9njBRCYARIsALJhQkGm4t6P1ODXACFmNkAleNQAZX3SyJZtmEr
- AIRDNA. (2017). Lima, Perú. Recuperado el 2017, de Análisis AIRBNB en Lima, Perú:<https://www.airdna.co/city/pe/lima>
- Berry, J.K. (1996). The Unique Character of Spatial Analysis. GIS World. April: 29-30
- Bodini, H. (1980). GEOGRAFIA URBANA DEL PASADO, DEL PRESENTE Y DEL FUTURO" PERSPECTIVA GEOGRAFICA A PROPOSITO DE SISTEMAS DE
- Buzai, (2015). Análisis socio espacial con sistemas de información geográfica marco conceptual basado en la teoría de la geografía. Universidad Nacional de Luján. Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG), Argentina.
- El Economista (2020). Airbnb debuta en Wall Street y supera 100,000 millones de dólares de valoración. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/mercados/Como-le-fue-a-AIRBNB-en-su-debut-en-Wall-Street-20201210-0059.html>
- Guttentag. (2018). Qué impacto tiene en las ciudades AIRBNB, la controvertida plataforma de alquiler temporal para turistas.
- Harvey J. Miller & Elizabeth A. Wentz (2003). Representation and Spatial Analysis in Geographic Information Systems, Annals of the Association of American Geographers, 93:3, 574-594, DOI: 10.1111/1467-8306.9303004
- Harvey J. Miller (2004). Tobler's First Law and Spatial Analysis, Annals of the Association of American Geographers, 94:2, 284-289, DOI:10.1111/j.1467-8306.2004.09402005.x
- Pillet (2004). La geografía y las distintas acepciones del espacio geográfico. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Castilla

Revelo, M. M. (2022). Patrones territoriales del servicio de alojamiento con la plataforma AIRBNB en Quito urbano y la conurbación de Los Valles, para el año 2018. *Investigaciones Geográficas*, (64), 38-53.

Rosero, S. (2018). El nuevo ambiente de la vieja Tola. Mundo Dinners.

Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46: 234–40.

Verdu, D. (2015). El ‘efecto AIRBNB’ en el vecindario. EL PAÍS. Obtenido de https://elpais.com/economia/2015/12/10/actualidad/1449738303_311413.html

Accesibilidad potencial a equipamientos de salud y educación en el polígono de impacto del Proyecto para el Lago de Texcoco (PELT), 2020

Karla Teresa Rojas Moreno¹

Resumen

La forma en que se hace la distribución territorial de bienes asociados a la salud y la educación es un componente fundamental de la diferenciación socioespacial. La zona del denominado Proyecto para el lago de Texcoco ha resultado controversial en los últimos años debido a los procesos de expansión territorial fomentados por el megaproyecto del nuevo aeropuerto de la ciudad de México, que, si bien no se llevó a cabo, tuvo impactos económicos, sociales y ambientales. El objetivo de la presente investigación es diagnosticar la accesibilidad a equipamientos de salud y educación, para una población desigual, fragmentada y que requiere mejorar sus condiciones de bienestar de manera retributiva a la preservación de su territorio. Para ello se realiza el cálculo de isócronas con el software QGIS 3.32.2 y su complemento HQGIS en trayectos inferiores a 15 minutos desde los centros de salud públicos y privados, así mismo para el caso de escuelas de nivel básico y medio superior público se realiza una estimación de la probabilidad de acceso de acuerdo con el número de ocupados con el uso del método 2SFCA (cobertura flotante de dos pasos), la información que se usa como insumo para la oferta proviene bases de datos oficiales de la ciudad de México y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, 2022. Se asume que una mejor distribución territorial de los bienes de salud contribuye a garantizar el derecho a mantenerse sano y con ello preservar la capacidad de cuidado de los recursos naturales de la zona del PELT, mientras que la educación contribuye a mejorar el sentido de identidad e interacción con personas iguales donde se promuevan valores de preservación, se mejora la toma de decisiones en el mediano plazo y se reducen los gastos que los habitantes puedan ejercer para validar este derecho en las generaciones más jóvenes.

Palabras clave: *accesibilidad potencial, salud, educación, PELT.*

1. Introducción

¹ Doctora en urbanismo. Seminario de Estudios Estratégicos, El Colegio Mexiquense A.C., México, ORCID: 0000-0002-0916-4429

1.1 Disparidades socio territoriales en el polígono del Proyecto para el Lago de Texcoco (PELT)

La inserción de México desde los 90 en el circuito económico global incremento el movimiento de personas y mercancías por vía aérea, volviéndose insuficiente la oferta de recursos e infraestructura (pistas de aterrizaje, terminales y accesos) del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México Benito Juárez (AICM) (Moreno-Sánchez, 2018).

Con el fin de ampliar la capacidad del servicio aéreo en 2001 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación 19 decretos de expropiación de tierras, al noreste de la Ciudad de México y aproximadamente a 14 kilómetros al este del AICM, en 13 núcleos ejidales de Texcoco, Chimalhuacán y Atenco, Estado de México (Galeana, 2022; Moreno Sánchez et al., 2018).

En estos terrenos se instalaría estratégicamente el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM), debido a que la normativa justificada en potenciar el desarrollo económico del país y la región contribuía a la desincorporación y cambio de uso de suelo de tierras ejidales y comunales en beneficio del orden estatal¹.

Sin embargo, el 01 de agosto de 2002 se anunció la derogación del decreto expropiatorio y la cancelación del proyecto, debido a la resistencia de la comunidad apoyada por el Frente de Pueblos en Defensa de la Tierra (FPDT), quienes sustentaron sus argumentos en las potencialidades ecológicas de la zona y los riesgos existentes en la construcción del NAICM (Galeana, 2022).

En la zona existen procesos del ciclo hídrico que mantienen el equilibrio ambiental y la sustentabilidad de la región, como la precipitación, la evapotranspiración, el escurrimiento artificial y natural, así como, la recarga de los acuíferos. Cabe señalar, que en el ex lago de Texcoco concurren corrientes de los ríos Churubusco, La Compañía, Los Remedios, así como, de las localidades de San Juan Teotihuacán, Papalotla, Xalapango, Coxcacoco, Texcoco, San Bernardino, Chapingo, Coatepec y Santa Mónica (Galeana, 2022; Moreno-Sánchez, 2018).

¹ En esta se incluye el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el Código Administrativo del Estado de México (CAEM) y el libro Quinto que permite los cambios de uso de suelo.

Con base en lo anteriormente expuesto, entre 2009 y 2011 el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), bajo el supuesto de ampliar la Zona Federal del Lago de Texcoco mediante un proyecto ecológico optó por la adquisición de parcelas y terrenos ejidales, en mayor medida del municipio de Atenco. No obstante, de acuerdo con Galeana (2022) y Soto Coloballes (2023) la compra se dio mediante asambleas ilegales, en las que se incluyó el cambio en el uso de suelo a dominio pleno.

Para 2015 en la administración del expresidente Enrique Peña Nieto se inició la construcción del megaproyecto NAICM, que consideraba una superficie de 4,430 hectáreas (ha), en la zona federal del Lago de Texcoco (ZFLT) con una extensión de 12,363.0 ha, así mismo, el Grupo Aeroportuario, órgano responsable del NAICM reportó que tan solo en la etapa de construcción se estimaba emplear a 160 mil personas (Moreno Sánchez et al., 2018).

En este sentido, la región no contaba con infraestructura suficiente para albergar el crecimiento de población, servicios y bienes, ya que, además se presentaban profundas disparidades en infraestructura, ingreso familiar, servicios sociales, grados de escolaridad y calificación laboral.

De acuerdo con datos del rezago social a nivel de zonas urbanas (AGEB Urbanas, 2015) del CONEVAL (2015) el porcentaje de personas bajo situación de pobreza era más alto en los municipios de Tezoyuca con 65.4% de su población, Chimalhuacán con 61.5% y Atenco con 59.3%. Así mismo, el municipio de Tezoyuca presentaba en promedio 2.4 carencias, mientras que Texcoco y Acolman presentaron 2.0 carencias en promedio.

En promedio la proporción de personas que presentaban carencia por acceso a la salud en la zona del PELT fue de 20.75%, en la que destacaban los municipios de Tezoyuca, Chimalhuacán y Ecatepec. En cuanto al rezago educativo 10.87% de los habitantes de la zona presentaron esta característica, con mayor intensidad en los municipios de Chimalhuacán, Tezoyuca y Atenco.

Es así que, ante las presiones ambientales, sociales y económicas que se vivieron en los municipios alrededor de la obra del NAICM, aumentó el conflicto social por el territorio. Es decir que, a pesar de las derramas económicas en materia de empleo y el

abastecimiento del territorio con bienes y servicios, parte de los habitantes se mantenían en negativa a la obra.

Para diciembre de 2018, durante la gestión del presidente Andrés Manuel López Obrador, se llevó a cabo la consulta ciudadana respecto a la continuación de la construcción del NAICM. Los resultados publicados arrojaron que 70% de poco más de un millón de votantes optaron por cancelar el megaproyecto (Galeana, 2022; Moreno Sánchez et al., 2018; Moreno-Sánchez, 2018).

A pesar de la cancelación del proyecto, los impactos derivados de la disputa territorial e inicio de la obra que se llevaron por años, requieren revalorizar el polígono del PELT, no solo desde su perspectiva ambiental, sino también desde las necesidades sociales territorializadas que se evidenciaron y que formaron parte de la moneda de cambio de los terrenos.

Dicho lo anterior, la zona de estudio considerada en esta investigación es Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero, Ecatepec, Acolman, Tezoyuca, Atenco, Texcoco, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl².

La investigación desarrollada en este trabajo tiene como objetivo diagnosticar la accesibilidad a equipamientos de salud y educación, para una población que requiere mejorar sus condiciones de bienestar de manera retributiva a la preservación de su territorio. Por lo que, responde a las preguntas: ¿Cuál es la oferta y demanda existente de equipamiento por tipo de municipio en el área colindante al Proyecto Ecológico del Lago de Texcoco?, ¿Cuáles son las zonas de menor accesibilidad y ejercicio de derecho a la salud en el área colindante al Proyecto Ecológico del Lago de Texcoco?, ¿Cuál es el nivel de accesibilidad geográfica de la población de Atenco, Tezoyuca y Acolman a los distintos equipamientos que ofrecen educación? A estos cuestionamientos se da respuesta en cuatro apartados, en el primero se aborda a los equipamientos como una forma de bienestar territorial; en el segundo se explican los métodos aplicados: densidad de kernel y 2SFCA (Cobertura Flotante de dos pasos); en el tercero se seccionan los resultados para los equipamientos de salud y posteriormente se abordan los de educación; en el cuarto apartado se develan las desventajas en el acceso a equipamiento de salud y educación de

² Municipios identificados y atendidos por CONAGUA y CONAHCYT en el Proyecto Acceso Justo al Hábitat para el Lago de Texcoco con número 311270.

los municipios de Atenco, Tezoyuca y Acolman, así como los nichos de oportunidad a atender; finalmente se presentan unas breves conclusiones de la investigación.

1.2 Accesibilidad potencial a equipamientos como medio de distribución espacial de recursos

El conocimiento de la disponibilidad de recursos en el territorio que validan los derechos de las personas permite dimensionar parte de las necesidades de la población desde una perspectiva de interacción espacial. La zona que compone el Proyecto para el Lago de Texcoco representa un reto de preservación ambiental y garantía de derechos humanos, ya que es indispensable lograr el acceso territorial al bienestar básico de su población, la cual se encarga de velar por la disponibilidad de servicios ambientales para la zona metropolitana más grande del país, sin que esto implique el consumo de suelo.

El entorno construido de los asentamientos humanos condiciona o promueve el estado de bienestar de las personas, la calidad de vida y el desarrollo humano (Cáceres & Ahumada, 2020; Cáceres-Seguel, 2016; Harvey, 2003). En este sentido, los equipamientos colectivos desde la economía urbana se entienden como activos fijos materializados en edificaciones y espacios, predominantemente de uso público, en los que se proporcionan servicios de bienestar social y apoyo a las actividades económicas, para posibilitar el ejercicio de derechos, distribuidos de manera indivisible en el territorio (Ghysais Chadid, 2018; Rojas Moreno, 2019; Mayorga-Henao, 2019).

Desde una perspectiva sociológica los equipamientos son lugares (Massey, 2005) productores de capital social, sentimientos de pertenencia, identidad y acumulación de activos (Kaztman, 2001), debido a que en ellos se da el encuentro de actividades e interacciones sociales, así como flujos de información que dan significado, representatividad y referencia (Ghysais Chadid, 2018).

La ausencia de servicios esenciales es una de las principales razones para el aislamiento y puede traer impactos en la justicia social (Mayorga-Henao, 2019; Montes Galbán et al., 2020). De manera que, la localización de los equipamientos en puntos concretos de la ciudad determina las posibilidades de acceso espacial a este, contribuyendo a la diferenciación social e inequidad de un individuo o un grupo.

La concentración de grupos con bajos ingresos en determinadas áreas de las ciudades agrava su situación, al generarse dinámicas de segregación territorial (Pitarch-

Garrido et al., 2018), las consecuencias en un contexto como el latinoamericano son la reducción en la capacidad de empatía y los sentimientos de pertenencia.

Esto debido a que, para la población en estado de pobreza se limitan las interacciones con otros estratos, lo que les impide conocer sus estilos de vida y enfocarse en modelos de rol que brinden metas personales mayores, más allá de la solución a los problemas de la vida cotidiana (Mayorga-Henao, 2019).

De acuerdo con Cáceres-Seguel (2016) y Rojas (2021) las áreas urbanas con déficit de equipamiento impactan, principalmente, a los grupos vulnerables, dado el costo que supone un mayor desplazamiento diario. Para las personas con menor potencial de movilidad (personas en situación de discapacidad, niños y niñas, adultos mayores) se convierten en una condición para su desarrollo y bienestar; así mismo, se asume que los grupos con menores ingresos pasan más tiempo en sus barrios que los grupos con mayores ingresos.

Dicho lo anterior, el concepto de accesibilidad se usa para comprender el impacto del transporte sobre la exclusión social y las desigualdades espaciales (Montes Galbán et al., 2020). Al respecto se pueden considerar dos tipos de accesibilidad, por un lado, la accesibilidad potencial y por otro la accesibilidad real, la primera hace referencia a la relación compleja de oportunidades (o probabilidades) de contacto e interacción entre la distribución de la población y la cobertura de un bien público; por su parte la accesibilidad real, se refiere a la utilización efectiva del servicio (Garnica, 2012; Pitarch-Garrido et al., 2018).

En este sentido, para dimensionar la accesibilidad potencial la distancia al equipamiento urbano concentra la atención de investigadores y programas públicos, que buscan resolver el estándar de distancia medida en tiempo a la cuál debería estar cada tipo de equipamiento (deportivo, educativo, cultural, comercial y de salud) con respecto a la vivienda.

Los indicadores que usualmente se han tomado en cuenta para medir la eficiencia espacial en la accesibilidad, son el costo de viaje, la distancia y el tiempo (Bosque Sendra, Joaquín; Moreno Jiménez, 2012; Galindo Pérez & Suárez Lastra, 2018; Garrocho, Carlos; Chávez-Soto, Tania; Álvarez-Lobato, 2020; Mardones, N.; Valdivia, J. y Aseguinolaza, 2020; Pitchard et Al. 2018).

Es así que, para Ewing y Handy (2009), equipamientos como la plaza, el colegio y las paradas de transporte público deberían estar en distancias inferiores a 400 metros. ¹⁷ Otras propuestas señalan que las áreas residenciales deben ser diversas socialmente, de extensión no mayor a 800 o 1000 metros, caminables, con oferta de vivienda accesible socialmente, conectadas a redes de transporte y nuevas tecnologías, con servicios sociales, comercio de baja escala, espacios públicos y equipamiento recreativos y culturales (Avineri et al., 2012; Pitarch-Garrido et al., 2018).

En el caso particular de los servicios de una mayor economía de escala como son los de salud Rojas et al. (2022) sugiere una distancia máxima de marcha cómoda de 945 metros.

Por ejemplo, una clínica o una primaria que requieren cubrir un demanda mayor e inmediata pueden estar a distancias menores desde los hogares, mientras que un hospital con especialidades o una universidad deberán tener un rango más amplio de demanda (Bosque Sendra, Joaquín; Moreno Jiménez, 2012; Lozano, 1996).

Por lo que, se puede aseverar que la escala local de barrio es clave para la integración social y la implementación, ejecución y convergencia de políticas de infancia, salud, deporte y cultura (Cáceres & Ahumada, 2020). El equipamiento barrial constituye ¹⁷ centros de vida cotidiana y con ello puede impactar en conductas y hábitos cotidianos favorables para la salud física y mental, actuar en aspectos simbólicos como cohesión social o percepción de seguridad, promover la movilidad sostenible, así como acercar a los residentes a mecanismos de protección social (Dovey & Pafka, 2020; Guimpert & Hurtubia, 2018).

De manera que, los equipamientos barriales se convierten en un bien territorial para enfrentar condiciones adversas y el no contar con estos puede implicar procesos de profundización de desigualdades (Bournazou, 2008) e incluso aumentar el valor del territorio (Harvey, 2012). Dicho lo anterior prestar atención a la distribución de los equipamientos en los asentamientos humanos más allá de atender la movilidad de los habitantes, contribuye a generar alternativas de equidad territorial (Cáceres & Ahumada, 2020).

1.3 Acceso a servicios de salud y educación como medios para potenciar el desarrollo humano

1.3.1 Accesibilidad a la educación

²⁰ El ingreso, la educación y la salud son determinantes para alcanzar una adecuada calidad de vida en la metrópoli y megalópolis más importante del país. La educación es un tema vital para el desarrollo, puesto que ayuda a mejorar capacidades, habilidades y conocimiento brindando beneficios sociales, económicos, políticos y culturales (Mayorga-Henao, 2019; Xu et al., 2018). Algunos de los beneficios son: la movilidad social, el empleo, los ingresos, la distribución del salario, la localización a la que se accede y el estado de salud (Gao et al., 2016; Garnica, 2012; Talen, 2001; Xu et al., 2018).

La accesibilidad a equipamientos colectivos de educación contribuye a fortalecer el capital social en los siguientes aspectos: por un lado, la participación de los estudiantes en condiciones de igualdad y uniformidad en grupos heterogéneos en las instituciones educativas que les provee de identidades, metas, derechos y obligaciones comunes, así como de actitudes positivas de reconocimiento del otro como sujeto de derechos ¹⁶ que se extienden a compañeros de distinto origen social (Katzman, 2001, p. 177; Talen, 2001; Xu et al., 2018; y Katzman, 2001). Por el contrario, la distribución no uniforme de accesibilidad a las oportunidades educativas puede agudizar las inequidades sociales, ya que incluso influye en la deserción escolar (Montes Galbán et al., 2020; Talen, 2001).

El acceso a los servicios educativos se puede dividir en cuatro aspectos: 1) accesibilidad potencial, relacionada con el tiempo de impedancia entre el servicio y el usuario, 2) asequibilidad, la cual se relaciona con el costo, 3) aceptabilidad, asociada con la calidad y satisfacción del servicio, 4) apropiación, características de la necesidad del usuario (Xu et al., 2018).

La estimación de la accesibilidad potencial es vital en territorios donde habitan las familias de bajos ingresos, ya que una mayor distancia a las escuelas públicas de educación básica incrementa el retraso para cursar el nivel educativo debido a los costos de desplazamiento a la escuela, que reducen el rango de elección institucional y el acceso a oportunidades ¹⁶ (Sharma & Patil, 2022). Así mismo, durante los periodos de recesión económica, las personas reducen sus gastos y, entre ellos el de transporte, incluido el público, lo cual significa que aumentan los desplazamientos a pie (Pitarch-Garrido et al., 2018).

Para el caso de la educación primaria una localización cercana reduce los impactos derivados de los horarios de entrada, el agotamiento físico y los problemas de salud, debido entre otras causas al peso de los útiles escolares desplazados durante largas distancias (Sharma & Patil, 2022).

En la escala barrial las escuelas representan el significado de la enseñanza y predeterminan los cuerpos del conocimiento, entre estos se incluyen los asociados a la identidad local y las tradiciones, lo que contribuye a generar también lazos de colaboración (Talen, 2001). Otra ventaja de una adecuada localización de las escuelas es la conformación de una red colaborativa entre instituciones, que permite la coordinación entre estas (Xu et al., 2018).

Autores como Xu et Al. (2018) han identificado que a medida que se comienza a atender el rezago educativo mediante nuevas escuelas en la periferia es probable que se logre un mayor acceso con respecto a las zonas centrales. Adicionalmente en el estudio de Talen (2001) se ha confirmado que las escuelas más pequeñas tienen efectos positivos en la educación de estudiantes empobrecidos, este fenómeno se debe en parte a que estas escuelas tienen una mayor vinculación con los niveles de participación en actividades extracurriculares.

1.3.2 Accesibilidad a la salud

Los sistemas de salud son un medio para establecer contacto entre la población y la atención médica. Los servicios de atención médica están destinados a la prevención, curación y rehabilitación de manera incluyente, equitativa y con calidad. Por su parte, los servicios de salud pública tienen como finalidad la prevención y control de enfermedades transmisibles, no transmisibles y de los accidentes; a través de la vigilancia e investigación epidemiológica y la educación para la salud (Galindo, 2016:19-25), en las unidades de atención médica se busca cubrir ambos.

Es así como, en los equipamientos donde se presta atención médica se validan los derechos individuales y, por otra parte, se contribuye a la prevención de contagios, derivados de la proximidad de unidades territoriales, ya que cuando una considerable proporción de la población se ve afectada por la enfermedad, se vulnera al resto, a través de infecciones y enfermedades (Curtis, 2003).

82

La accesibilidad a la salud es la habilidad de la población para obtener un conjunto de servicios asociados con el cuidado de la salud. La accesibilidad efectiva a estos servicios depende de la clase social, educación, valores culturales, percepciones y creencias. Para ello, los criterios a garantizar son la disponibilidad, integralidad, calidad, eficiencia, ausencia de discriminación y capacidad de respuesta (Islam & Aktar, 2011).

56

No obstante, en el contexto territorial el análisis de su provisión se puede realizar mediante el estudio de patrones espaciales de ubicación, cantidad y características que proporcionan a los habitantes unas oportunidades desiguales de uso y disfrute de los mismos (Hare & Barcus, 2007; Moreno, 2008).

35

En un primer momento la disponibilidad y accesibilidad, se logran mediante el desplazamiento al centro de salud, que en ocasiones puede resultar difícil o demasiado costoso (Hoskins et al., 2005). Por su parte, la cobertura de servicios de salud se entiende como el grado de influencia y la capacidad de respuesta social y territorial de los servicios, según su distribución.

La accesibilidad a servicios de salud se vuelve vital en especial para las personas que viven en la periferia de la ciudad bajo condiciones de ausencia o baja calidad en el transporte y que en condiciones de emergencia requieren hacer eficientes sus desplazamientos, en el menor tiempo posible (Cortés, 2021).

41

Además, también en la periferia es donde se presenta una mayor cantidad de enfermedades relacionadas con la pobreza como la desnutrición, las infecciones intestinales, la tuberculosis, la mortalidad infantil, la materno-infantil y el VIH; las cuales suelen converger con los indicadores de bajo grado de escolaridad e ingresos, así como con no contar con derechohabencia (Juárez, M., y Velasco, 2017).

85

En este sentido, en los últimos años la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha prestado atención en la medición de accesibilidad a servicios de salud en países en desarrollo trabajando en conjunto con instituciones académicas (Islam & Aktar, 2011).

2. Método

Para el desarrollo de la investigación en un primer momento se llevó a cabo una consulta documental de investigaciones previas en Latinoamérica, que abordan el derecho a la ciudad desde una perspectiva de acceso a los bienes y servicios. Posteriormente con base en la información disponible derivada del Censo de Población y Vivienda (2020) en

25

conjunto con datos de CONEVAL (2020) y Directorio Nacional de Unidades Económicas, (2022b), se caracterizó la zona de estudio.

La caracterización consideró un análisis de densidad de Kernel con el fin de identificar la congruencia entre las necesidades, concentración de población y concentración de equipamientos. Posterior a ello la investigación se limita a abordar los equipamientos de salud y educación mediante el cálculo de Isócronas que permitan determinar de forma visual y espacial, las áreas sin disponibilidad caminable.

Finalmente, mediante la estimación de la probabilidad de acceso por el método 2SFCA se determinó el nivel de acceso a los equipamientos públicos educativos para lograr el ejercicio del derecho a la educación, para ello se identificaron áreas que requieren fortalecer sus recursos.

La densidad de Kernel calcula dentro de los Sistemas de Información Geográfica la concentración ¹² de las entidades de punto alrededor de cada celda ráster de salida, para ello se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y ⁶⁷ disminuye hasta cero a medida que aumenta la distancia desde el punto, considerando un vecindario circular.

El volumen bajo la superficie es igual al valor del campo de población del punto, ¹⁴ para este caso 1. Con la finalidad de calcular la densidad de cada celda ráster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de kernel en donde se superponen con el centro de la celda ráster (ArcGIS, 2022).

En un segundo momento se estimaron los umbrales de movilidad a partir de Isócronas de la plataforma (HeiGIT gGmbH., 2022), considerando trayectos caminables de entre 5 a 15 minutos para el caso de servicios de salud y de 10 a 30 minutos para los niveles educativos.

Para los equipamientos educativos se aplicó el método 2SFCA considerando los umbrales de movilidad antes mencionados y como demanda la población total por manzana. El método 2SFCA se desarrolló de la siguiente manera:

¹⁰
Paso 1.

Para cada unidad económica con un cierto número de ocupados (j), identificar la población (k) que está dentro del umbral o radio de cobertura (d0) de la localización (j) y

calcular la proporción de ocupados/población objetivo (R_j) dentro del área de influencia de (j) (Chen y Jia, 2019).

El resultado de este Paso 1, es la proporción (ocupados/población total) en las áreas de influencia de las unidades económicas educativas. En términos matemáticos:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} P_k},$$

10
Dónde: P_k es la población total (PO) en la manzana k , cuyo centroide está dentro del radio de influencia d_0 , S_j es el número de empleados en la unidad económica educativa j y d_{kj} es la distancia (o costo de transporte) entre k y j .

Paso 2.

Esta fase es similar al Paso 1, pero los cálculos determinan áreas de alcance desde los centroides de cada manzana, tomando como parámetro las isócronas por nivel educativo (ver cuadro 1). El resultado del Paso 2, es la proporción ocupados/PO en las áreas de alcance de cada manzana. En este Paso 2, las áreas de alcance se mueven o flotan de manzana a manzana hasta cubrirlas todas.

El Paso 2 se sintetiza así, para cada localización de la población total (i : el centroide de cada manzana) identificar todos los ocupados j de las unidades económicas educativas en el nivel correspondiente que están dentro del umbral o radio de cobertura d_0 , desde la localización i y sumar las proporciones médico/población objetivo R_j para todas las localizaciones i (Chen & Jia, 2019):

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} R_j = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} P_k}$$

10
Dónde: A_i^F representa la accesibilidad en la manzana i , R_j es la proporción de ocupados/población total en la localización j que está dentro del área de alcance de i (esto es: $d_{ij} \leq d_0$), y d_{ij} es el umbral del área de alcance entre i y j .

Mientras más alto sea el valor de A_i^F mayor será la accesibilidad de cada manzana donde radica la población objetivo.

Cuadro 1. Ponderadores para isócronas por nivel educativo

Nivel Educativo	Tiempo caminando	Ponderación
Preescolar	10	1
	15	0.75
	20	0.45
Primaria	10	1
	15	0.75
	20	0.5
Secundaria	10	1
	15	0.9
	20	0.8
Media Superior	10	1
	15	1
	20	0.8
	30	0.5
Superior	10	1
	20	0.8
	30	0.5

3. Resultados

3.1 Accesibilidad a equipamiento público de salud en la zona del PELT

En el polígono del Proyecto Ecológico Para el Lago de Texcoco (PELT) los municipios y alcaldías de la zona con mayor cantidad de población son Ecatepec de Morelos con 1,645,352 habitantes, Gustavo A. Madero con 1,173,351 habitantes y Nezahualcóyotl con 1,077,208 habitantes, en estos se concentra también la mayor cantidad de actividades, incluidos los servicios prestados a través de equipamientos.

Por el contrario, los municipios de menor cantidad de población son Atenco con 75,489 habitantes y Tezoyuca con 47,044 habitantes. En Tezoyuca esto responde a la reducida superficie municipal correspondiente a 1,619 ha., no obstante, en Atenco que cuenta con una superficie de 8,707 ha. resalta su grado de preservación natural frente a la alta densificación habitacional que se vive en los municipios colindantes, y que contribuye a toda el área de estudio como un medio de regulación ambiental.

Esta situación ha convertido al municipio de Atenco en territorio disputado debido al potencial de la superficie no urbanizada para megaproyectos que sirvan no solo a la región, sino al Área Metropolitana de la Ciudad de México.

En los municipios y alcaldías considerados en el área de estudio se identificaron nueve mil 884 equipamientos, de los cuales el 67.6% son de carácter público (Directorio Nacional de Unidades Económicas, 2021). Los equipamientos contemplados fueron la ⁹⁵ captación, tratamiento y suministro de agua realizados por el sector público; centros de impartición de justicia; bibliotecas; centros de acondicionamiento físico del sector público y privado; panteones; iglesias; oficinas administrativas del sector público; centros recreativos; escuelas de educación preescolar, primaria, secundaria, medio superior y superior del sector público y privado; así como escuelas especiales y de oficios; consultorios médicos, consultorios dentales, hospitales públicos y privados.

El municipio que concentro una mayor cantidad de equipamientos es Ecatepec con mil 834, a este le sigue la alcaldía de Gustavo A. Madero con mil 473, otro municipio con más de mil equipamientos es Nezahualcóyotl; por el contrario, los municipios con menor cantidad de equipamiento son Atenco y Tezoyuca, donde respectivamente se identificaron valores de 90 y 80 equipamientos en cada uno.

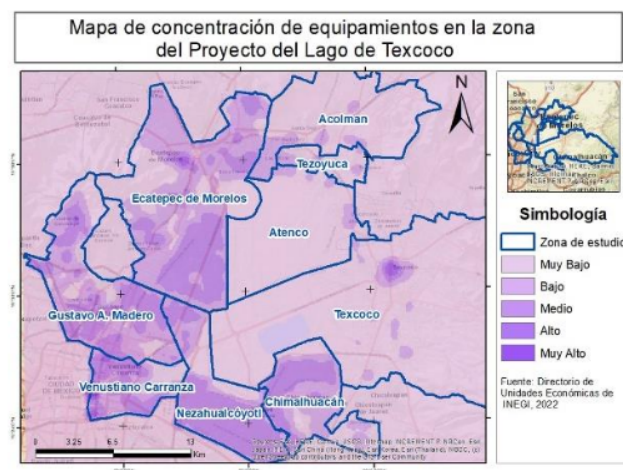
En el ámbito público priman las escuelas de educación preescolar y secundaria general, por el contrario, los equipamientos que se encuentran en menor medida son los relacionados con clínicas de especialidad y hospitales. A escala local en cada uno de los municipios, la concentración de equipamientos se da en las principales vialidades de carácter primario y secundario.

En la alcaldía Gustavo A. Madero los equipamientos se localizan principalmente sobre avenida Tecnológico y avenida Venustiano Carranza, en eje 1 poniente, eje central, avenida insurgentes norte, calzada de los misterios, así como en los cruces de Calzada a Chalma y avenida Cuauhtémoc; en avenida congreso de la unión y eje 3 norte.

En la alcaldía Venustiano Carranza sobre avenida canal del norte, avenida congreso de la unión, eje 3 sur, avenida Iztaccíhuatl, avenida Río Churubusco y Calzada Ignacio Zaragoza. En Nezahualcóyotl existen equipamientos distribuidos uniformemente por todo el municipio, mientras que en Ecatepec estos se concentran en la cabecera municipal, la colonia Ruíz Cortines, jardines de Morelos, Ciudad Cuauhtémoc, Los Reyes Ecatepec, Ciudad Azteca, Miguel Hidalgo, Solidaridad, Hank González, Valle de Anáhuac, Jardines del Tepeyac y Valle de Aragón.

En Texcoco los equipamientos se concentran en la cabecera municipal; en el municipio de Atenco la concentración de equipamiento se encuentra en la cabecera municipal, San Cristóbal Nexquiyapan, Santa Isabel Ixtapan y Nueva Santa Rosa. En Tezoyuca las concentraciones son hacia Tezoyuca, Tequisistlán y Nueva Santa Rosa. En el caso de Acolman se concentran en las localidades de las Brisas, ampliación Lázaro Cárdenas, San Miguel Totolcingo, Anáhuac primera sección y Acolman centro. Finalmente, en Chimalhuacán se concentra entre avenida del Peñón y avenida de las Torres (**Error! Reference source not found.**).

Figura 1. Concentración de equipamientos en la zona del Proyecto del Lago de Texcoco.



Fuente: Directorio de Unidades Económicas (2022).

En la presente investigación se consideró la necesidad de la salud como uno de los principales factores de vulnerabilidad de la zona de estudio, debido a la cantidad de población que habita una zona geográfica en condiciones de alta urbanización, en detrimento de las condiciones ambientales.

Dicho esto, en la figura 2 y cuadro 2 se presenta la cobertura de equipamientos actual en distancias caminables de hasta 15 minutos. Es así que, el 54.1% de los municipios y alcaldías no tendría cobertura de salud caminando, las peores condiciones se presentan en los municipios de Ecatepec donde 97.1 % de la población no cuenta con acceso peatonal a los servicios de salud, a este le sigue Atenco con 91.8% de la población. Ambos municipios contrastan ya que el primero tiene la mayor densidad poblacional de la zona de estudio y el segundo una de las más bajas, de manera que, en Ecatepec a pesar

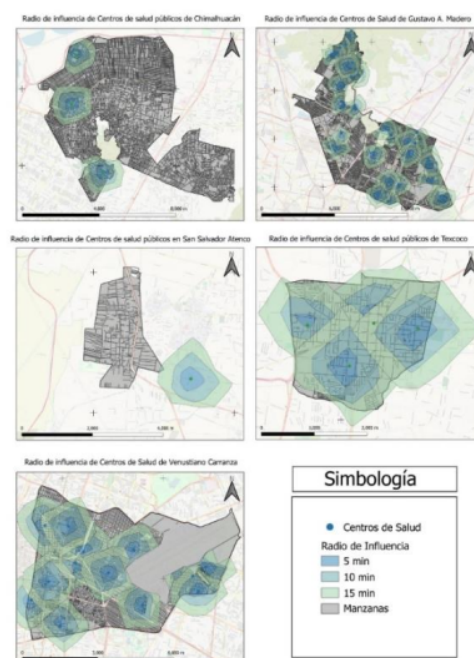
de la existencia de unidades de salud, estas son insuficientes debido a la demanda, por el contrario, en Atenco es casi nula la existencia de este servicio.

En la alcaldía Gustavo A. Madero se presenta cobertura total, ya que, el 59.0% de la población podría tener acceso a un servicio de salud público en menos de 10 minutos, mientras que el resto en trayectos de hasta 15 minutos. La alcaldía Venustiano Carranza se puede considerar también una de las mejor servidas, ya que, alrededor del 21.0% de la población puede acceder a servicios de salud públicos en menos de 10 minutos, solo al sur se observa la ausencia de servicios de salud pública, no obstante, cuenta con Hospitales que generan servicios especializados y que tienen un mayor alcance territorial, además existe oferta con cobertura territorial suficiente del sector privado.

El municipio de Texcoco por sus dimensiones y distribución territorial de unidades de salud, tanto públicas como privadas presenta una cobertura total. En el municipio de Acolman la cobertura de acceso a los servicios de salud públicos no existe y en el caso de los privados cubren toda el área urbana. El municipio de Tezoyuca por sus dimensiones tampoco cuenta con servicios de salud públicos y los privados solo cubren la parte norte.

Cuadro 2. Cobertura de unidades de salud públicas en trayectos caminables									
Municipio	Población total	Sin cobertura		5 minutos		10 minutos		15 minutos	
		Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Atenco	75,489	69,331	91.8	0	-	1,416	1.9	4,742	6.3
Chimalhuacán	705,193	484,795	68.7	13,528	1.9	65,098	9.2	141,772	20.1
Ecatepec de Morelos	1,645,352	1,598,357	97.1	862	0.1	12,212	0.7	33,921	2.1
Gustavo A. Madero	1,173,351	-	-	195,431	16.7	496,446	42.3	481,474	41.0
Texcoco	277,562	-	-	7,323	2.6	26,603	9.6	243,636	87.8
Venustiano Carranza	443,704	186,937	42.1	16,058	3.6	76,729	17.3	163,980	37.0
Total	4,320,651	2,339,420	54.1	233,202	5.4	678,504	15.7	1,069,525	24.8
Fuente: Elaboración propia con base en Centros de Salud, 2022; Hospitales Públicos en la Zona Metropolitana Del Valle de México, 2020; Directorio de Unidades Económicas, 2022.									

Figura 2. Isócronas de cobertura de salud pública en los municipios de estudio.



Fuente: Elaboración propia con base en Centros de Salud, 2022; Hospitales Públicos en la Zona Metropolitana Del Valle de México, 2020; Directorio de Unidades Económicas (2022).

Una forma de compensar la ausencia de servicios públicos es a través de servicios privados, sin embargo, esto solo es opción para quienes cuentan con capacidad adquisitiva.

3.2 Equipamiento educativo en San Salvador Atenco y municipios colindantes

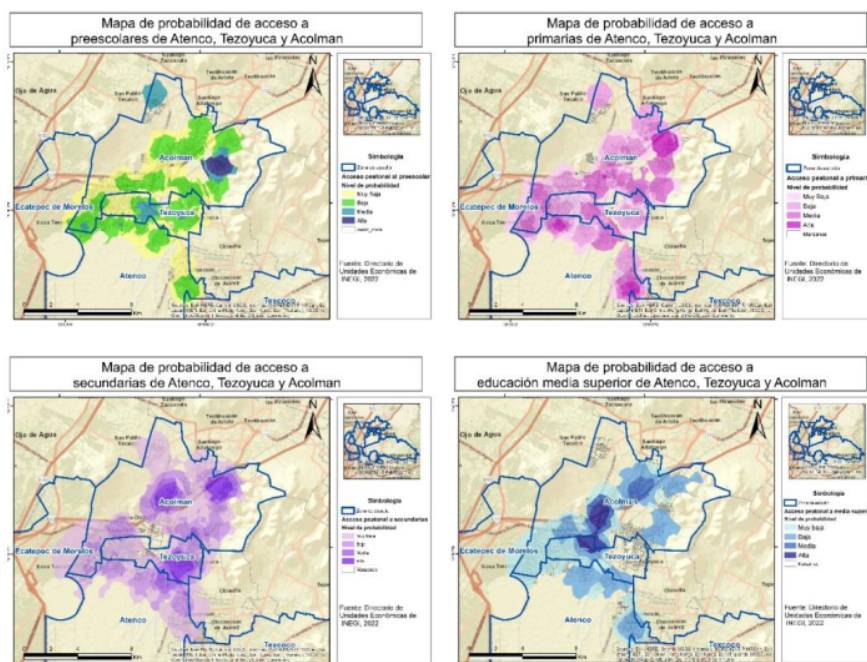
En el municipio de San Salvador Atenco derivado del intento de implantación del proyecto del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México se da con mayor profundidad la disputa territorial, que a su vez genera fractura y fragmentación social. En este sentido, se vuelve indispensable reconstruir el tejido social comunitario mediante el derecho a la educación en contexto con el entorno inmediato.

El derecho a la educación es un pilar en la búsqueda de la democracia y acceso a la información para la conservación y prestación de servicios ambientales en los municipios de Atenco, Tezoyuca y Acolman. En dichos municipios poco más del 10.7% de las personas de 3 a 5 años no contarían con acceso peatonal a la educación preescolar, siendo el municipio más afectado Tezoyuca.

En Atenco, Acolman y Texcoco la accesibilidad a preescolares corresponde a entre 6 y 12 ocupados por cada 1,000 infantes de 3 a 5 años. De forma específica en Atenco, se observan desiertos educativos, pese a que, según datos de INEGI, 2022 se mantiene una pirámide poblacional de base ancha, lo que indica que este tipo de servicio se debe reforzar en el municipio (ver cuadro 3 y figura 3).

Cuadro 3. Probabilidad de acceso a preescolar para personas de 3 a 5 años							
Municipio	Población total	Acolman		Atenco		Tezoyuca	
		Totales	%	Totales	%	Totales	%
Población total	12,264	6,555	53.4	2,894	23.6	2,815	23.0
Sin accesibilidad	1,311	272	4.1	63	2.2	976	34.7
Muy baja (5 ocupados ó menos por cada 1,000 alumnos)	3,575	1,724	26.3	1,007	34.8	844	30.0
Baja (6 a 12 ocupados por cada 1,000 alumnos)	6,641	4,052	61.8	1,820	62.9	769	27.3
Media (12 a 28 ocupados por cada 1,000 alumnos)	603	373	5.7	4	0.1	226	8.0
Alta (29 a 54 ocupados por cada 1,000 alumnos)	134	134	2.0	-	-	-	-
Fuente: Directorio de Unidades Económicas (2022).							

Figura 3. Accesibilidad potencial a servicios educativos en los municipios de Atenco, Tezoyuca y Acolman.



Fuente: Elaboración propia con base en Directorio de Unidades Económicas (2022).

Al considerar todos los niveles educativos en los tres municipios mencionados, las primarias públicas presentan el mejor nivel de accesibilidad, ya que, las personas de 6 a 11 años en trayectos caminables de 15 minutos o menos tienen acceso a una escuela con entre 6 y 12 ocupados por cada 1000 niños; además otro 4.7% de niños tendrían que caminar más de 15 minutos para poder acceder a una escuela primaria (ver cuadro 4 y figura 3).

Cuadro 4. Probabilidad de acceso a educación primaria para personas de 6 a 11 años							
Municipio	Población total	Acolman		Atenco		Tezoyuca	
		Totales	%	Totales	%	Totales	%
Población total	27267	16,046	58.8	6,761	24.8	4,460	16.4
Sin accesibilidad	1284	1,067	6.6	217	3.2	0	-
Muy baja (5 ocupados ó menos por cada 1,000 alumnos)	3165	1,188	7.4	970	14.3	1,007	22.6
Baja (6 a 12 ocupados por cada 1,000 alumnos)	11849	6,718	41.9	2,752	40.7	2,379	53.3
Media (12 a 28 ocupados por cada 1,000 alumnos)	9809	6,744	42.0	1,991	29.4	1,074	24.1

Alta (29 a 54 ocupados por cada 1,000 alumnos)	1160	329	28.4	831	12.3	0	-
Fuente: Directorio de Unidades Económicas (2022).							

En los municipios de Atenco, Tezoyuca y Acolman para el nivel de escolaridad secundaria 52.9% de los jóvenes de 10 a 14 años presentan accesibilidad peatonal baja en distancias inferiores a los 16 minutos, ya que las escuelas cuentan con 5 ocupados o menos por cada 1000 de ellos, es decir tienen una baja capacidad, a pesar de que este tipo de equipamiento tiene una distribución uniforme en el área urbana (ver cuadro 5 y figura 3).

Cuadro 5. Probabilidad de acceso a educación secundaria para personas de 10 a 14 años							
Municipio	Población total	Acolman		Atenco		Tezoyuca	
		Totales	%	Totales	%	Totales	%
Población total	22,967	13,661	59.5	5,539	24.1	3,767	16.4
Sin accesibilidad	775	343	2.5	314	5.7	118	3.1
Muy baja (5 ocupados ó menos por cada 1,000 alumnos)	12,148	6,973	51.0	2,975	53.7	2,200	58.4
Baja (6 a 12 ocupados por cada 1,000 alumnos)	8,870	5,618	41.1	2,198	39.7	1054	28.0
Media (12 a 28 ocupados por cada 1,000 alumnos)	182	105	0.8	52	0.9	25	0.7
Alta (29 a 54 ocupados por cada 1,000 alumnos)	992	622	4.6	-	-	370	9.8
Fuente: Directorio de Unidades Económicas (2022).							

En la educación media superior se presenta el mayor déficit de accesibilidad, ya que, 30.0% de las personas de 15 a 19 años no tendrían accesibilidad en 15 minutos o menos. Además, quienes tienen acceso es bajo con 6 a 12 ocupados por cada 1000 alumnos, por lo que se presenta la necesidad de reforzar la capacidad, ya que, pueden existir desplazamientos a otros municipios con una mayor capacidad como Texcoco (ver cuadro 6 y figura 3).

Cuadro 6. Probabilidad de acceso a educación media superior para personas de 15 a 19 años							
Municipio	Población total	Acolman		Atenco		Tezoyuca	
		Totales	%	Totales	%	Totales	%
Población total	14,867	7,606	51.2	4,176	28.1	3,085	20.8

Sin accesibilidad	4,468	1,977	26.0	875	21.0	1,616	52.4
Muy baja (5 ocupados ó menos por cada 1,000 alumnos)	3,575	1,724	22.7	1,007	24.1	844	27.4
Baja (6 a 12 ocupados por cada 1,000 alumnos)	4,975	2,191	28.8	2,294	54.9	490	15.9
Media (12 a 28 ocupados por cada 1,000 alumnos)	1,287	1,287	16.9		-		-
Alta (29 a 54 ocupados por cada 1,000 alumnos)	562	427	5.6	-	-	135	4.4
Fuente: Directorio de Unidades Económicas (2022).							

4. Discusión

La zona denominada PELT que ha suscitado preocupación política y académica por la afectación derivada de NAICM, presenta condiciones diferenciales entre los municipios que la componen. En esta zona la dinámica centro periferia condiciona el acceso a equipamientos para los municipios mayormente afectados por el proyecto y de carácter rural, al respecto se puede hablar de la distribución en una jerarquía urbana que fomenta viajes pendulares, pero que, no todos los habitantes pueden generar. De forma que municipios como Acolman, Tezoyuca y Atenco dependen de Texcoco o incluso de alcaldías de la Ciudad de México para cubrir sus necesidades básicas, como la atención a la salud y la educación.

La cantidad de equipamientos y su jerarquía a escala municipal tiene que ver principalmente con la población que contiene cada municipio, lo que permite generar agrupamientos de servicios especializados en la región. De forma tal que en este estudio se identifican tres tipos de municipio afectados por la propuesta del NAICM, para el caso, alcaldías de la Ciudad de México en donde se cuenta con una alta cobertura de equipamiento tanto público como privado, además del fácil acceso a transporte y se garantiza el derecho a la salud en trayectos caminables; municipios de alta densidad poblacional del Estado de México, donde a pesar de existir una alta cantidad de equipamientos, su distribución se concentra en las cabeceras municipales y vías principales, de forma que no se alcanza a abastecer a la población asentada en las periferias donde adicionalmente se presentan condiciones de carencias según CONEVAL, 2020 y municipios semirurales con menor tamaño en el área urbana, donde a pesar de existir una baja densidad poblacional, el equipamiento en varios casos es inexistente.

Cabe señalar que a medida que se reduce el número de equipamientos también se reduce su accesibilidad en el territorio.

En este texto se analizó la accesibilidad a dos tipos de equipamiento: los de salud y educativos, ya que son los que requieren una mayor atención por su carencia en la zona. Para el caso del equipamiento de salud requiere reforzarse en municipios como Ecatepec y Chimalhuacán, mientras en que en municipios como Acolman, Atenco y Tezoyuca es urgente la implementación de unidades que cubran la atención pública, ya que, si bien existe en algunos casos la atención privada, el acceso está condicionado a un pago.

De acuerdo con recorridos en campo de los municipios de Atenco y Acolman se observó que quienes asisten en su mayoría a obtener servicios de atención a la salud son mujeres y personas de más de 30 años, con acompañantes, pero sin espacios para los segundos. Así mismo, de forma complementaria se identificaron otros espacios estratégicos desde los que se realizan jornadas de salud, como la iglesia y la plaza principal.

En el caso de los equipamientos de educación, se distribuyen principalmente en los municipios más poblados, sin embargo, en los municipios predominantemente rurales su distribución es escasa. En este caso el análisis se delimitó a los municipios menos beneficiados, ya que, que se consideran centros de cohesión e interacción social a través de los cuales se pueden regenerar lazos sociales en el mediano plazo y generar una cultura del cuidado de los recursos y tradiciones.

Con base en lo antes expuesto, en las colonias periféricas es indispensable dotar de preescolares que contribuyan en trayectos caminables a su acceso. La distribución de escuelas de educación primaria es la de mayor cobertura, sin embargo, a medida que incrementa el nivel educativo, se reduce la probabilidad de acceso peatonal, volviendo necesario el traslado a otros municipios como Texcoco en los niveles de secundaria y medio superior.

Con el presente estudio, se aporta una metodología replicable para medir y mejorar la accesibilidad a equipamiento urbano desde el cual se preserve la interacción y cohesión social para la preservación de bienes ambientales. No obstante, a pesar de la necesaria implementación de nuevos equipamientos en la zona, las disputas territoriales actuales complican las posibles cesiones de terrenos, por lo que se convierten en

alternativas el aumento en la capacidad de los equipamientos existentes y mejorar las condiciones de movilidad motorizada y no motorizada.

Conclusiones

En esta investigación se aborda la accesibilidad potencial como una dimensión del ordenamiento territorial desde la escala local. En específico se estudió la referida a los equipamientos de salud y educación, ya que estos se consideran vitales para los derechos de los habitantes de áreas rururbanas, quienes se encargan de preservar los servicios ambientales de regiones urbanas.

Uno de los principales aportes de esta investigación es su replicabilidad a otros estudios, a partir del uso de métodos para el tratamiento de información espacial que develan la cobertura y el nivel de accesibilidad en trayectos caminables para grupos específicos de población, como la densidad de Kernel y el análisis 2SFCA.

Como parte de los resultados se evidencio la baja distribución de servicios de salud y educativos para las áreas rururbanas de zona del PELT, que motivan a realizar desplazamientos continuos hacia zonas de mayor urbanización, para compensar estas carencias. Sin embargo, no debería asociarse la preservación de servicios ambientales con la ausencia y déficit de equipamientos que vulneren los derechos de sus comunidades. Al respecto una potencialidad que se presenta en los municipios de Acolman, Atenco y Tezoyuca es la concentración de la población en sus cabeceras municipales, que puede aprovecharse para una mejor dotación de servicios, sin que ello implique la densificación desmedida y especulación.

En futuros estudios se sugiere aplicar los métodos mostrados para analizar la distribución de otros servicios que son utilizados por estas comunidades diariamente y que contribuyen a generar cohesión social. Otro análisis relevante puede ser el estudio de cambio en el uso de suelo y la evolución de la interacción con municipios cercanos mediante el uso de técnicas espaciotemporales.

Se requiere preservar a las poblaciones que ayudan a regular las condiciones medio ambientales y culturales, mediante el rescate de sus conocimientos y necesidades, garantizando el acceso a bienes básicos como la salud y la educación, de lo contrario, se tomará destino a la depredación social, cultural y ambiental.

Bibliografía

- ArcGIS. (2022, November 20). *Densidad de Kernel*. <https://Pro.Arcgis.Com/Es/pro-App/Latest/Tool-Reference/Spatial-Analyst/How-Kernel-Density-Works.Htm#:~:Text=La%20Densidad%20kernel%20calcula%20la,Curva%20uniforme%20sobre%20cada%20punto.>
- Avineri, E., Shinar, D., & Susilo, Y. O. (2012). Pedestrians' behaviour in cross walks: The effects of fear of falling and age. *Accident Analysis & Prevention*, 44(1), 30–34. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.028>
- Bosque Sendra, Joaquín; Moreno Jiménez, A. (2012). La localización óptima como problema: cuestiones teóricas y metodológicas. In A. Bosque Sendra, Joaquín; Moreno Jiménez (Ed.), *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamientos* (2da ed.). Ra-Ma.
- Bournazou, E. (2008). La segregación social del espacio y la dimensión territorial, en los estudios de pobreza urbana. In A. Cordera, R., Ramírez, P. y Zicardi (Ed.), *Pobreza, desigualdad y exclusión social en la ciudad del siglo XXI*. Siglo XXI.
- Cáceres, C., & Ahumada, G. (2020). Acceso a equipamiento urbano y calidad de vida. Quilpué y Villa Alemana, Chile. *Bitácora Urbano Territorial*, 30(3), 263–275. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v30n3.86844>
- Cáceres-Seguel, C. (2016). Vivienda social periurbana en Santiago de Chile: la exclusión a escala regional del trasurbanita de Santiago de Chile. *Economía Sociedad y Territorio*, 17(1). <https://doi.org/10.22136/est002017664>
- Chen, X., & Jia, P. (2019). A Comparative Analysis of Accessibility Measures by the Two-Step Floating Catchment Area (2SFCA) Method. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1620442>
- Rezago social a nivel zonas urbanas (AGEB urbanas), (2020).
- Cortés, Y. (2021). Spatial Accessibility to Local Public Services in an Unequal Place: An Analysis from Patterns of Residential Segregation in the Metropolitan Area of Santiago, Chile. *Sustainability*, 13(2), 442. <https://doi.org/10.3390/su13020442>
- Curtis, S. (2003). *Health and Inequality: Geographical Perspectives*. SAGE Publications. <https://books.google.com.mx/books?id=DfiTEpzs8S4C>
- Dovey, K., & Pafka, E. (2020). What is walkability? The urban DMA. *Urban Studies*, 57(1), 93–108. <https://doi.org/10.1177/0042098018819727>

- Ewing, R., & Handy, S. (2009). Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability. *Journal of Urban Design*, 14(1), 65–84.
<https://doi.org/10.1080/13574800802451155>
- Galeana, S. (2022). Hábitat, territorio y tejido social en la región nororiente de la cuenca de México: el caso del espacio público de Atenco. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 12, 95–115. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.209>
- Galindo, C. (2016). *Soy derechohabiente pero la clínica está muy lejos. Accesibilidad a servicios de salud en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Galindo Pérez, C., & Suárez Lastra, M. (2018). Servicios de salud del ISSSTE en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México ¿Qué pasaría si nos enfermáramos todos? . In *Gestión y política pública* (Vol. 27, pp. 475–499). scielomx .
- Gao, Y., He, Q., Liu, Y., Zhang, L., Wang, H., & Cai, E. (2016). Imbalance in Spatial Accessibility to Primary and Secondary Schools in China: Guidance for Education Sustainability. *Sustainability*, 8(12), 1236. <https://doi.org/10.3390/su8121236>
- Garnica, R. (2012). Análisis espacial de los equipamientos educativos (oficiales) en la ciudad de Montería, Colombia. *Estudios Socioterritoriales*, 12, 159–179.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-43922012000200007
- Garrocho, Carlos; Chávez-Soto, Tania; Álvarez-Lobato, J. Antonio. (2020). Accesibilidad de la población mayor a farmacias en el espacio intraurbano: desplazamientos caminando y el método de área de cobertura flotante. In A. (Coords.) Oscar Figueroa Monsalve, Luis Miguel Valenzuela Montes (Ed.), *Desafíos del desarrollo urbano sostenible en el transporte y la movilidad* (pp. 415-442.). El Colegio Mexiquense.
- Ghysais Chadid, G. A. (2018). *Equipamientos colectivos y construcción de identidad urbana para producir competitividad en el municipio de Sincelejo* [Maestría]. Universidad del Norte.
- Hospitales privados en la zona metropolitana del Valle de México, (2020).
 Centros de Salud, (2022).
- Guimpert, I., & Hurtubia, R. (2018). Measuring, understanding and modelling the Walking Neighborhood as a function of built environment and socioeconomic variables. *Journal of Transport Geography*, 71, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.07.001>

- Gwatkin, D., Wagstaff, A., y Yazbeck, A. (2006). *Llegar a los Pobres con salud, nutrición y servicios de población. Que funciona, que no y por qué*.
- Hare, T. S., & Barcus, H. R. (2007). Geographical accessibility and Kentucky's heart-related hospital services. *Applied Geography*, 27(3–4), 181–205.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.004>
- Harvey, D. (2003). Contested cities: social process and spatial form. In R. LeGates & F. Stout (Eds.), *The city reader* (pp. 227–234). Routledge.
- HeiGIT gGmbH. (2022). *Open Route Service*. <https://openrouteservice.org/>.
- Hoskins, I., Kalache, A., & Mende, S. (2005). Hacia una atención primaria de salud adaptada a las personas de edad. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 17(5), 444–451.
- Censo de Población y Vivienda 2020, (2020).
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- Directorio Nacional de Unidades Económicas, (2021).
<https://www.inegi.org.mx/app/descarga/default.html>
- Directorio Nacional de Unidades Económicas, (2022).
- Islam, M., & Aktar, S. (2011). Measuring Physical Accessibility to Health Facilities – A Case Study on Khulna City. *World Health & Population*, 12(3).
<https://doi.org/10.12927/whp.2011.22195>
- Juárez, M., y Velasco, G. (2017). Pobreza y salud. In F. López (Ed.), *Geografía y pobreza, nuevos enfoques de análisis espacial* (pp. 65–108). Instituto de Geografía UNAM.
- Kaztman, R. (2001). Seducidos y abandonados. *CEPAL*, 75, 171–189.
- Lozano, J. L. S. (1996). La dimensión económica de las ciudades: Una aproximación a las economías de aglomeración. *Boletín de Estudios Económicos*, 51, 579.
- Mardones, N.; Valdiva, J. y Aseguinolaza, I. (2020). La ciudad del cuarto de hora, ¿una solución sostenible para la ciudad postCOVID-19? *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, LII(2020), 653–664.
- Massey, D. (2005). *For Space*. SAGE Publications.
https://books.google.com.mx/books?id=xgrVr6Y_3ZcC
- Mayorga-Henao, J. M. (2019). Equipamientos colectivos: “lugares” de producción de capital social. *Revista de Arquitectura*, 21(2). <https://doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.2.1906>
- Montes Galbán, E., Cerezo, Y., & Romero Méndez, A. (2020). Eficiencia y equidad espacial como principios para la planificación territorial de los establecimientos educativos: análisis de la educación primaria al sureste del municipio de Maracaibo, Venezuela.

Anuario de La División de Geografía, 1–17.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/168837>

- Moreno, A. (2008). Los servicios colectivos y el desarrollo territorial: una reconsideración conceptual y metodológica actual. In A. Moreno & G. Buzai (Eds.), *Análisis y planificación de servicios colectivos con sistemas de información geográfica*. UAM-AECID-UNLU.
- Moreno Sánchez, E., Rivero Hernández, M., & Velázquez Martínez, M. de los Á. (2018). El nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México y su impacto en la región oriente del Estado de México. In E. Pérez Campuzano & V. E. Mota Flores (Eds.), *Desarrollo regional sustentable y turismo: Vol. II* (1st ed., pp. 1–23). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://ru.iiec.unam.mx/3774/>
- Moreno-Sánchez, E. (2018). El nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en el exlago de Texcoco, Estado de México: problemática socioterritorial y ambiental. *Revista CS*, 203–235. <https://doi.org/10.18046/recs.i24.2396>
- Pitarch-Garrido, M.-D., Salom Carrasco, J., & Fajardo Magraner, F. (2018). Detección de barrios vulnerables a partir de la accesibilidad a los servicios públicos de proximidad. El caso de la ciudad de Valencia. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 38(1), 61–85. <https://doi.org/10.5209/AGUC.60469>
- Rojas, Karla; Aguilar, A. G. (2021). Probabilidad de atención médica para los pobres en la Zona Metropolitana de Cuernavaca, Morelos, en 2018. *Economía, Sociedad y Territorio*, XXI(67), 835–864.
- Rojas Moreno, K. T. (2019). *Los bienes públicos de salud en zonas pobres de Cuernavaca : condicionantes del acceso, 2010-2018* [Doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sharma, G., & Patil, G. R. (2022). Spatial and social inequities for educational services accessibility - A case study for schools in Greater Mumbai. *Cities*, 122, 103543. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103543>
- Soto Coloballes, N. V. (2023). Un vuelo sin destino: el Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 38(1), 131–161. <https://doi.org/10.24201/edu.v38i1.2103>
- Talen, E. (2001). School, Community, and Spatial Equity: An Empirical Investigation of Access to Elementary Schools in West Virginia. *Annals of the Association of American Geographers*, 91(3), 465–486. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00254>

Xu, Y., Song, W., & Liu, C. (2018). Social-Spatial Accessibility to Urban Educational Resources under the School District System: A Case Study of Public Primary Schools in Nanjing, China. *Sustainability*, 10(7), 2305. <https://doi.org/10.3390/su10072305>

La información presentada en este artículo forma parte del Proyecto Nacional de investigación e Incidencia para una vivienda adecuada y acceso justo al hábitat, financiado por CONAHCYT durante 2022 con número 321270.

Análisis espacio temporal de incendios forestales en ejidos del Sur de la Península de Yucatán (2012-2021)

José Francisco López Toledo¹,

José Manuel Camacho Sanabria²

Juan Carlos Alcérreca Huerta³

Resumen

Los incendios forestales son una amenaza creciente para los recursos forestales y la biodiversidad. Su caracterización es de gran importancia para el diseño de estrategias de manejo del fuego. Por esta razón, se construyó un índice espacio temporal de incendios forestales (IETIF) a partir del análisis de indicadores del régimen de incendios forestales para un período de tiempo de diez años (2012-2021), tomando como unidad de análisis espacial los ejidos ubicados dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197. Se calcularon indicadores de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad de los incendios, utilizando datos de puntos de calor y de perímetros de los conglomerados de puntos de calor del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) de México. Lo valores estandarizados de los indicadores y el IETIF fueron categorizados en cinco niveles para su posterior representación espacial. Los resultados permitieron identificar conglomerados de ejidos como zonas críticas de afectación por incendios, así como su relación con rasgos productivos que caracterizan a dichos ejidos, tales como la actividad agropecuaria y la presencia de áreas invadidas por *Pteridium aquilinum* en ejidos con IETIF muy alto y por otro lado ejidos con manejo forestal que presentaron IETIF bajo y muy bajo. Se sugiere establecer brigadas comunitarias de manejo del fuego en localidades ubicadas al centro de las zonas críticas.

Palabras clave: *Régimen de incendios, extensión, frecuencia, recurrencia, estacionalidad.*

1. Introducción

¹ Estudiante de doctorado en Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Campus Chetumal Bahía. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7080-2795>.

² CONAHCYT - Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Campus Chetumal Bahía. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0366-0613>.

³ CONAHCYT - El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-3118>

Los incendios forestales son eventos que pueden afectar a las coberturas forestales, la biodiversidad y alterar los procesos hidrológicos en ecosistemas sensibles al fuego (Villar-Hernández *et al.*, 2022). Si bien pueden ocurrir de manera natural como parte de la ecología de sabanas, matorrales, bosques templados y boreales (Pompa-García *et al.*, 2018a), la alteración de los patrones espacio temporales de los incendios forestales representa una amenaza crítica para los recursos forestales (Villar-Hernández *et al.*, 2022).

En los últimos diez años, en el mundo se ha incrementado 20% la duración de la temporada de incendios forestales debido al cambio climático (Zamudio *et al.*, 2023), y con ello, la frecuencia, extensión y severidad (Pompa-García *et al.*, 2018a). Entre los incendios forestales de gran magnitud, ocurridos recientemente en el mundo, figuran los del Amazonas y el Ártico en 2019, Australia en 2009, 2019 y 2020, Canadá en 2016, Chile en 2017, Grecia en 2007 y 2018, Indonesia en 2019, Portugal en 2003, 2005 y 2017, la Federación de Rusia en 2010 y los Estados Unidos de América en 2013, 2017, 2018 y 2019 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). En México, durante el periodo 1970 al 2019 se presentaron en promedio 7,095 incendios, con 260,998 hectáreas afectadas, anualmente, donde destacan los años de 1998, 2011 y 2017 como los más críticos por su extensión (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2020).

La comprensión de los patrones de distribución espacial y temporal de los incendios es de gran relevancia para su prevención y manejo (Zúñiga-Vásquez *et al.*, 2017; Gutiérrez Martínez *et al.*, 2018; Flores-Garnica *et al.*, 2021). En este sentido, la disciplina encargada de comprender los rasgos que definen el comportamiento del fuego y su relación con los efectos ecológicos en los organismos vivos y el entorno físico es la ecología del fuego (Cochrane & Ryan, 2009). Dicha disciplina, a través del régimen de incendios, analiza indicadores de extensión, frecuencia, estacionalidad, intensidad y severidad en un área concreta, así como sus efectos ecológicos (Jardel *et al.*, 2014; Díaz-Delgado & Ruíz-Ramos, 2019).

La extensión es el tamaño de un incendio, mientras que la frecuencia mide cuán habituales son estos eventos en un ecosistema determinado. La recurrencia es el intervalo promedio de tiempo entre incendios en un área específica y está muy ligada a la frecuencia. La estacionalidad describe los periodos del año en los que los incendios son

más comunes, típicamente limitándose a la estación seca o a periodos de sequía inusual (como en fenómenos de El Niño o La Niña). Sin embargo, las alteraciones de los atributos en un ecosistema pueden modificar el comportamiento del fuego y dar lugar a nuevos regímenes (Cochrane & Ryan, 2009; Díaz-Delgado & Ruíz-Ramos, 2019).

La caracterización del régimen de incendios es fundamental para comprender el papel del fuego en la estructura y función de los ecosistemas, siendo crucial para la planificación estratégica a largo plazo (Cochrane & Ryan, 2009). El análisis de estos rasgos se puede llevar a cabo mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y datos de sensores remotos (Zúñiga-Vásquez et al., 2017; Gutiérrez Martínez et al., 2018; Flores-Garnica et al., 2021).

A nivel internacional, los SIG y datos de sensores remotos se han utilizado para detectar incendios a distintas escalas (Chuvieco, 2009; Chuvieco et al., 2019; Briones-Herrera et al., 2020), realizar comparaciones con registros de campo (Lim et al., 2019), elaborar mapas de predicción (Murthy et al., 2019), analizar factores causales (Reyes-Bueno & Balcazar-Gallegos, 2021), delimitar áreas quemadas (da Silva et al., 2023) y evaluar la pérdida global de bosques por incendios (van Wees et al., 2021; Tyukavina et al., 2022).

En México, se han llevado a cabo estudios que caracterizan los incendios forestales en periodos de entre cinco y 20 años, tanto a nivel nacional como estatal, considerando variables ambientales y antropogénicas para generar modelos predictivos. Para lo cual se han utilizado indicadores de probabilidad de incendios (Villar-Hernández et al., 2022; Zúñiga-Vásquez et al., 2017; García et al., 2012), frecuencia (Pompa-García et al., 2018a; Gutiérrez Martínez et al., 2018), índice de recurrencia (Pompa-García et al., 2018b), superficie afectada (Vilchis-Francés et al., 2015; Pérez-Verdín et al., 2013; Gutiérrez Martínez et al., 2018) y número de días requeridos para la extinción (Pérez-Verdín et al., 2013), así como índices de afectación y severidad (Gutiérrez Martínez et al., 2018).

Pompa-García et al. (2018b) propusieron un modelo conceptual del potencial de incendios mediante una sumatoria lineal estandarizada de valores asignados a los componentes de combustibles, meteorología, topografía y causas en polígonos previamente definidos. Por su parte, Gutiérrez Martínez et al. (2018) establecieron el

régimen de incendios de vegetación en el Estado de México, categorizando los valores de cada variable para caracterizar los disturbios a nivel municipal y regional.

En lo que respecta a las fuentes de datos sobre incendios forestales, éstas son diversas, incluidas plataformas que ofrecen información sobre puntos de calor detectados por los sensores MODIS y VIIRS. Un ejemplo de esto es el Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) de México (<https://forestales.ujed.mx/incendios2/>).

A pesar de estos avances, la aplicación de herramientas SIG y productos de sensores remotos para el análisis espaciotemporal de incendios forestales en México, especialmente en sus ecosistemas tropicales, aún es limitada (Manzo-Delgado & López-García, 2020; Neger, Manzo-Delgado & Galicia-Sarmiento, 2022; Zamudio et al., 2023).

Cabe destacar que las selvas son ecosistemas particularmente sensibles al fuego, ya que su estructura y biodiversidad pueden verse gravemente afectadas tras un incendio. Naturalmente, los incendios en estos ecosistemas son esporádicos y, en ocasiones, catastróficos, especialmente bajo condiciones meteorológicas propicias (Rodríguez-Trejo, 2008; Cochrane, 2009). La intervención humana ha alterado aún más el régimen del fuego en las selvas, en gran parte debido a la expansión de actividades agropecuarias, siendo la pecuaria un factor altamente asociado a los incendios, dado que el fuego se utiliza como herramienta de manejo de praderas (Flores-Garnica, 2021).

Por lo tanto, este trabajo busca integrar los rasgos espaciales y temporales que describen el régimen de incendios, con la finalidad de caracterizar el patrón de incendios a lo largo de un periodo de tiempo corto (10 años) en espacios concretos (ejidos). Para lo cual el objetivo es construir un índice que analice y represente espacialmente los principales rasgos de los incendios forestales, facilitando la toma de decisiones en el manejo integral del fuego.

2. Método

En el presente trabajo se propone un índice espacio temporal de incendios forestales (IETIF), que integra variables de corte espacial, como la extensión, con aquellas de corte temporal, como la frecuencia, recurrencia y la estacionalidad de los incendios.

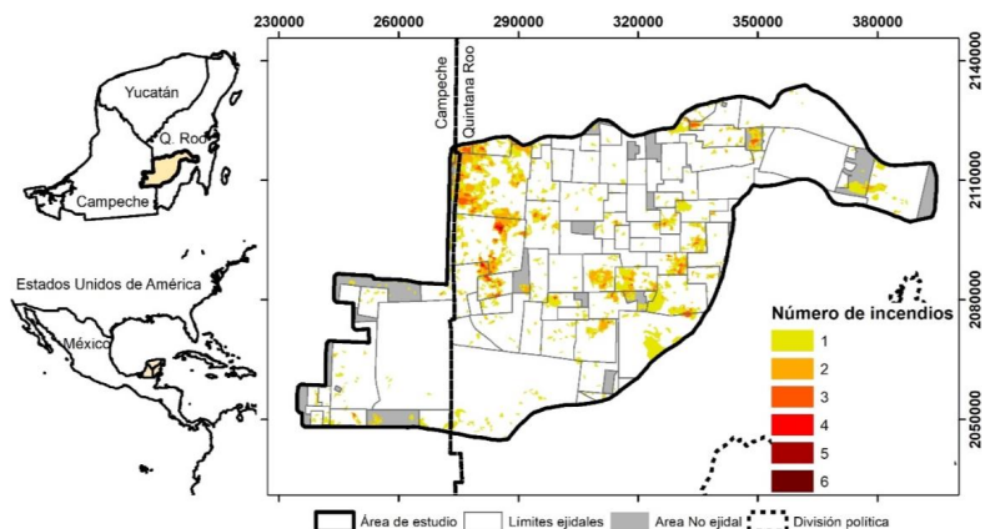
Se utilizó como zona de estudio un polígono ampliado en un kilómetro hacia su exterior del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197 (AICA-197), el

cual tiene una extensión de 670 000 ha y se ubica en la porción sur de la Península de Yucatán, entre los estados mexicanos de Quintana Roo y Campeche (Fig. 1). En el área de estudio predomina la ¹⁰³vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia y de selva baja espinosa subperennifolia, así como usos del suelo con fines agropecuarios (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2018). La AICA 197 forma parte del corredor biológico Calakmul- Sian Ka'an ³²y conecta a cinco Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Díaz-Gallegos et al., 2008; ¹³Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2015).

Se emplearon puntos de calor (PC) y perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 ¹³del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>). Los PC provienen de los sensores MODIS y VIIRS con resolución espacial de 1000 y 375 m, respectivamente, a partir de los cuales se obtienen los PCPC mediante estimación rápida por interpolación automática (Briones-Herrera et al., 2020).

Como unidad de análisis espacial, se seleccionaron los polígonos de los ejidos dentro del área de estudio (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017), resultando en 81 ejidos, algunos de los cuales fueron recortados debido a que su extensión se encontraba fuera del área de estudio. La elección de los ejidos se justifica por las diferencias en su percepción, organización y manejo del entorno, influenciadas por sus antecedentes culturales e históricos, lo que puede ofrecer variables explicativas relacionadas con la ocurrencia de incendios forestales (Ríos-Quiroz et al., 2021).

Figura 1. Ubicación del área de estudio, que corresponde al Área de Importancia para la Conservación de la Aves (AICA) 197, se representa la frecuencia de incendios forestales en el período 2012 – 2021 y ejidos.



Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

Mediante geoprocesamiento de los datos con el programa ArcGis 10.8® se calcularon cuatro indicadores descriptores de incendios: extensión (AQx), frecuencia (F), recurrencia (REC) y estacionalidad (EST) (Cuadro 1), con los cuales se integraron en el IETIF, que permite hacer una clasificación de los ejidos en diferentes niveles de afectación por incendios forestales.

Para el establecimiento del IETIF se construyó una matriz con los cuatro indicadores, cuyos valores fueron estandarizados a escala de 0 – 1, para lo cual se definió previamente el rango de datos como resultado de la diferencia entre los valores máximos y mínimos. Asimismo, la escala se dividió en cinco partes iguales cada una asignada a las categorías: a) muy bajo, b) bajo, c) medio, d) alto y e) muy alto (Cuadro 1) (Flores-Garnica & Flores-Rodríguez, 2020). Mediante el promedio de los valores estandarizados se obtuvo el IETIF para cada ejido (ec. 1). Se elaboraron mapas de clasificación por semaforización de los ejidos de acuerdo con los cinco niveles establecidos, tanto de los cuatro indicadores calculados como del IETIF.

Cuadro 1. Indicadores espaciotemporales del régimen de incendios

Indicador	Rango de valores por nivel					Descripción
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
Extensión (AQR)	8.6% ≥	8.7% – 17.2%	17.3% – 25.8%	25.9% – 34.4%	34.5% ≤	Porcentaje de superficie ejidal con incendios
Frecuencia (Frec)	1 ≥	2	3	4	5 ≤	Número de incendios en un mismo polígono
Recurrencia (Rec)	4.32 ≤ y 0	3.63 - 4.31	2.94 - 3.62	2.25 - 2.93	1.56 - 2.24	Promedio de años entre incendios en un mismo polígono
Estacionalidad (Est)	0 – 2	3 – 4	5 – 6	7 – 8	9 ≤	Número de meses con incendios
Valores estandarizados (VE)	0.000 – 0.199	0.200 – 0.399	0.400 – 0.599	0.600 – 0.799	0.800 – 1	
Fuente: Elaboración propia a partir de puntos de calor (PC) y perímetro de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al periodo 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; http://forestales.ujed.mx/incendios2)						

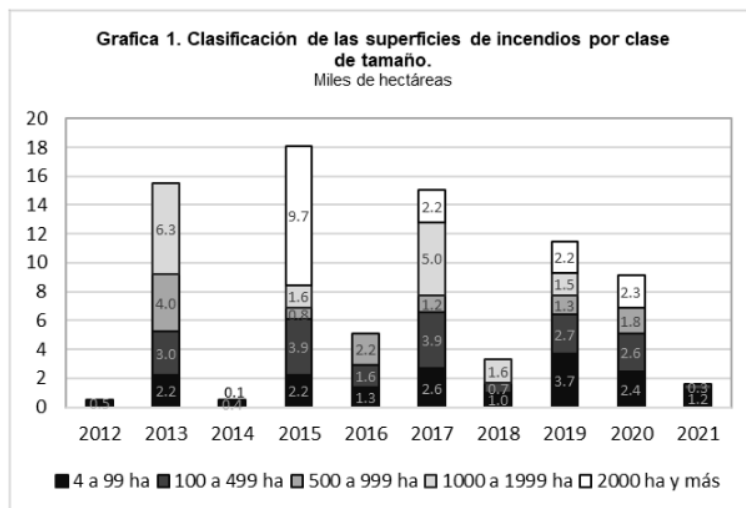
$$IETIF = \frac{\sum AQR, VE, Frec, VE, Rec, VE, Est, VE}{4} \quad ec. \quad (1)$$

Donde: AQR VE, Frec. VE, Rec. VE y Est. VE corresponden a los valores estandarizados de la extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad de incendios, respectivamente.

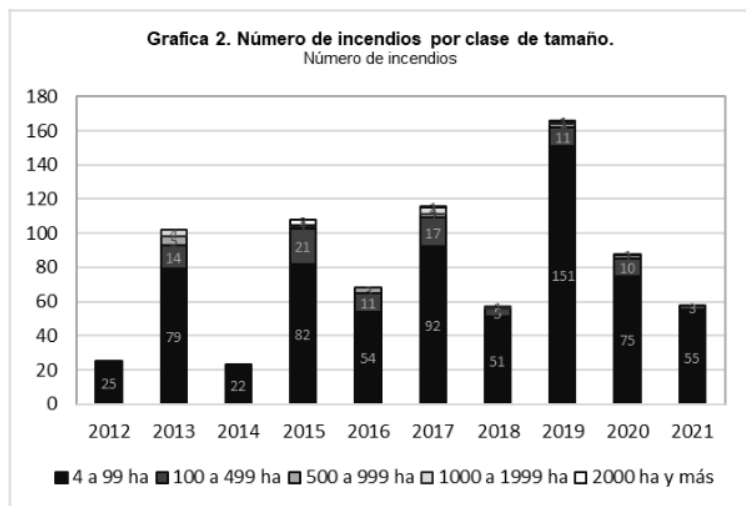
3. Resultados

El análisis espacio-temporal de los incendios forestales, utilizando datos de los sensores MODIS y VIIRS, permitió obtener una comprensión del patrón de incendios en las selvas y áreas perturbadas del sur de la Península de Yucatán. En términos de extensión, se observó que durante el periodo de estudio (2012–2021), solo 9% de la superficie del área analizada (60,917.7 ha) experimentó incendios. De esta superficie, 44,526 ha (equivalente al 6.6%) se quemaron una única vez, representando el 73% del área total quemada, mientras que solo el 27% registró una frecuencia superior a uno.

Se registró un total de 811 incendios, de los cuales la mayoría (84.5%) fueron de baja extensión (<100 ha), abarcando únicamente el 29% (17,693.5 ha) del área quemada durante el período considerado. En contraste, los incendios de mayor extensión (≥ 2000 ha) afectaron el 26% del área total, a pesar de ocurrir en solo seis eventos (0.7%) (Gráficas 1 y 2).



Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>).



Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>). ¹³

A continuación, se presenta la cartografía de los indicadores de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad de los incendios analizados en el AICA 197 durante el período 2012-2021. Este análisis revela cómo cada uno de estos indicadores prioriza de manera distinta las unidades espaciales (ejidos) examinadas.

En el análisis espacial de la extensión, se identificaron dos conglomerados de ejidos con mayor afectación: el noroeste y el centro-este, donde se registró al menos un caso con nivel de afectación muy alto. Este indicador, de naturaleza espacial y poco sensible, clasificó en total a solo cuatro ejidos con nivel muy alto, los cuales representan el 6% de la superficie del área de estudio. Es importante señalar que la actividad productiva predominante en estos ejidos es la agropecuaria, y algunos de ellos presentan áreas invadidas por *Pteridium aquilinum*. En contraste, la mayoría de los ejidos (55) se clasificaron con nivel muy bajo, ocupando el 62% de la superficie del área de estudio. Estos ejidos se distribuyen principalmente en las zonas norte-centro, noreste y suroeste, coincidiendo en gran medida con áreas de coberturas forestales relativamente conservadas. Además, varios de estos ejidos implementan actualmente programas de manejo forestal (Figura 2). ¹²

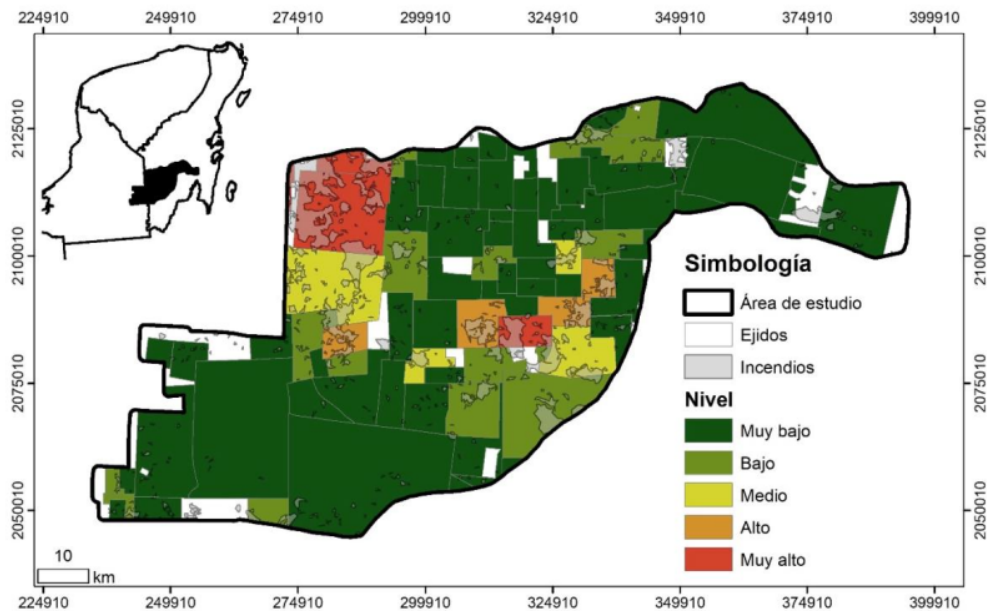
En el análisis de frecuencia, se reflejaron los mismos dos conglomerados que en la extensión, aunque solo uno mostró dos casos con nivel muy alto, abarcando el 5% de la superficie del área de estudio. Este indicador también permitió identificar un tercer conglomerado en la parte noreste. A diferencia del indicador de extensión, la frecuencia es de tipo temporal y reveló un mayor número de ejidos con nivel alto (13), que representan el 14% del área de estudio. Se observó un menor número de ejidos con nivel muy bajo (33), entre los cuales se incluyen aquellos con una larga tradición de manejo forestal sustentable, como Noh Bec, Petcacab y Nuevo Becal (Figura 3).

La recurrencia amplió considerablemente el número de ejidos clasificados en niveles medio (13), alto (14) y muy alto (12), conectando los tres conglomerados identificados en la extensión y la frecuencia, además de revelar un cuarto conglomerado en el suroeste. Este indicador es especialmente sensible y relevante en la dimensión temporal, ya que indica que el 26% del área afectada ha experimentado incendios en más

de una ocasión, con una frecuencia de ocurrencia en periodos cortos (aproximadamente dos años) (Figura 4).

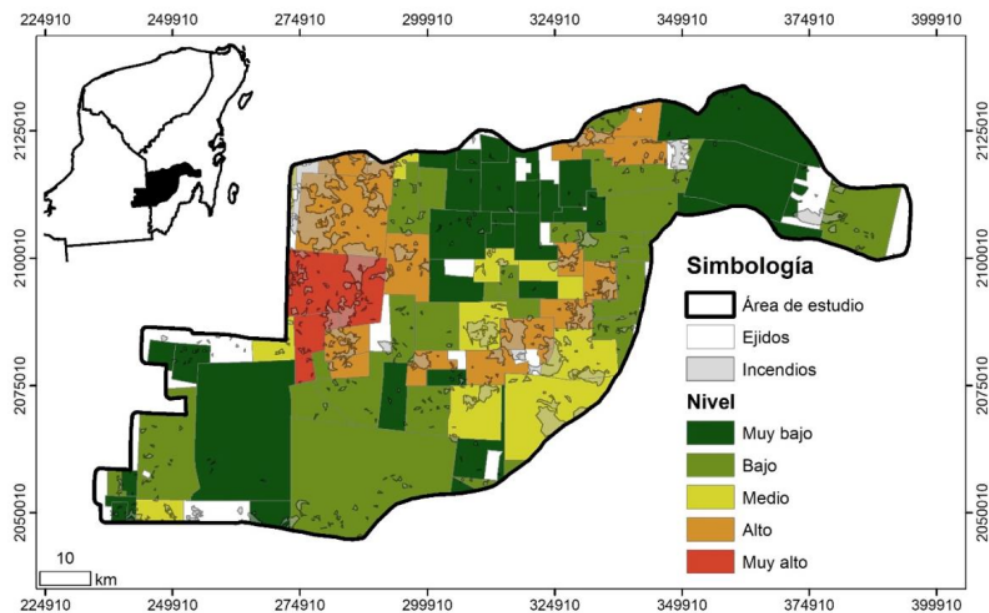
Por último, el análisis de estacionalidad mostró 11 ejidos con nivel muy alto, que ocupan el 20% de la superficie del área de estudio. Estos ejidos difieren de los identificados en la recurrencia, lo que resalta la sensibilidad de este indicador. Asimismo, se registró el menor número de ejidos con nivel muy bajo (30), que acumulan el 24% de la superficie total. Los meses con mayor incidencia de incendios fueron marzo, abril y mayo, que abarcaron el 83% de los eventos (Figura 5).

Figura 2. Niveles de extensión de incendios forestales (según su proporción de área quemada) en ejidos ubicados dentro del área de estudio, para el periodo 2012 – 2021.



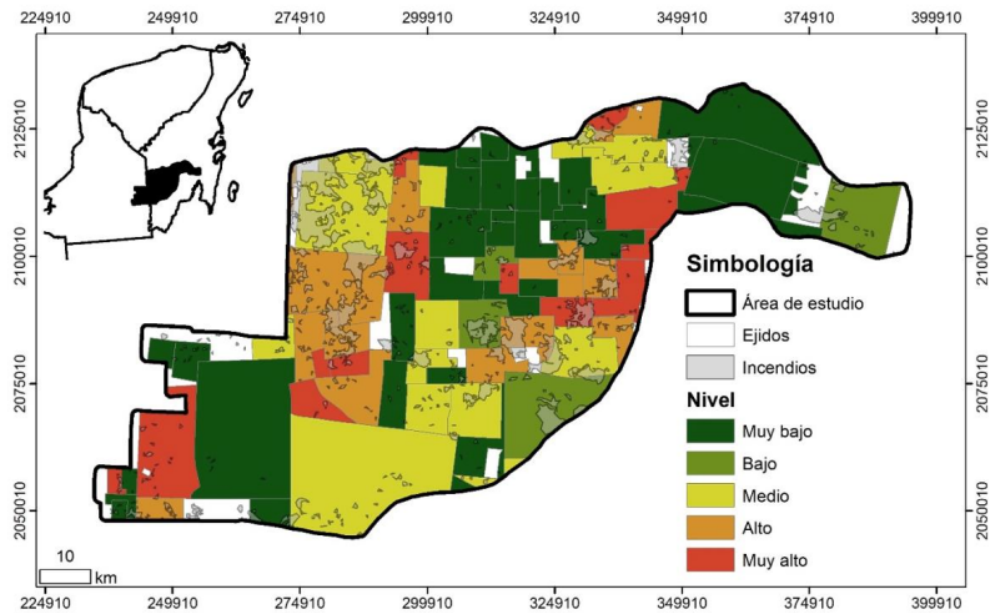
Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al periodo 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

Figura 3. Niveles de frecuencia (número de veces que han ocurrido incendios en un mismo sitio) de incendios forestales en ejidos del área de estudio, para el periodo 2012 – 2021.



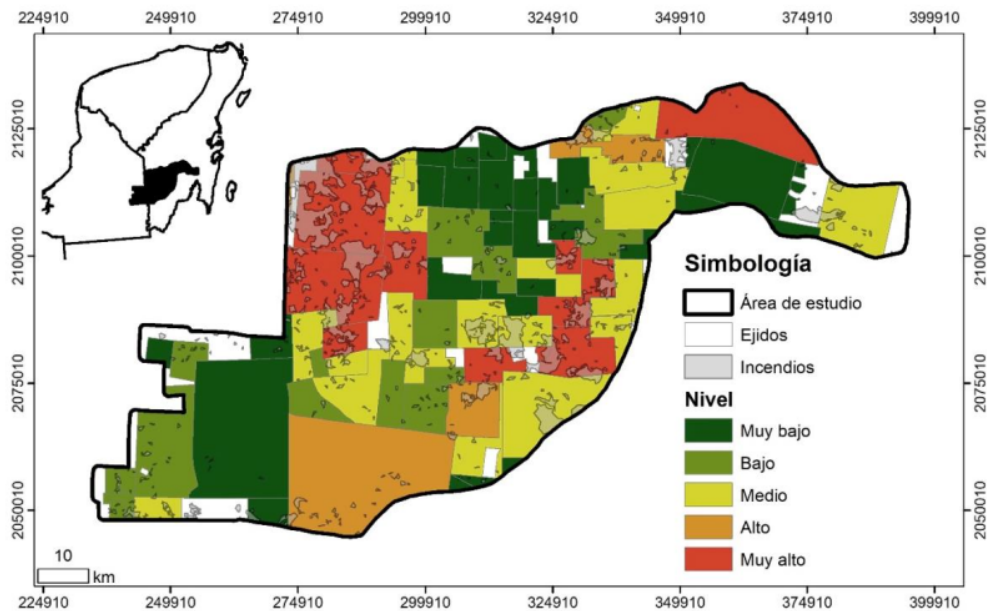
Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

Figura 4. Niveles de recurrencia (número de años transcurridos entre dos incendios consecutivos en el mismo sitio) de incendios forestales en ejidos del área de estudio para el período 2012 - 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

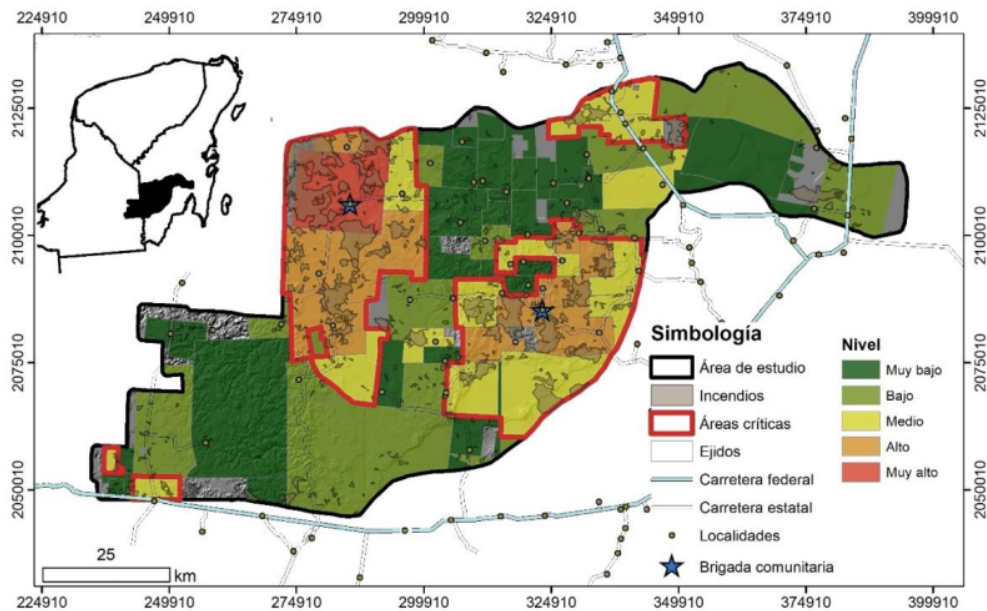
Figura 5. Niveles de estacionalidad (número de meses que duró la temporada de incendios) en los ejidos del área de estudio para el período 2012 - 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de puntos de calor (PC) y perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al período 2012 – 2021 ¹³ del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

La integración de los cuatro indicadores (extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad) permitió identificar cuatro conglomerados de ejidos. Sin embargo, dos de ellos son especialmente significativos por el número de ejidos que agrupan (>10) y por sus niveles de IETIF alto y muy alto. Esta información es crucial para la implementación de estrategias concretas de manejo del fuego; por ejemplo, sería recomendable considerar las localidades situadas en el centro de estos conglomerados para establecer brigadas comunitarias de manejo del fuego (Figura 5).

Figura 5. Niveles del índice espacio temporal de incendios forestales (IETIF) (2012 – 2021) en el Área de Importancia para la Conservación de la Aves 197, se consideran los ejidos como unidades espaciales. Se delimitan en rojo las áreas críticas y se señalan con estrellas azules los centros de población de los ejidos donde se observa la necesidad de instaurar brigadas comunitarias de manejo del fuego.



Fuente: Elaboración propia a partir de perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales correspondientes al periodo 2012 – 2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (SPPIF; <http://forestales.ujed.mx/incendios2>) y perimetrales de los núcleos agrarios de los estados de Campeche y Quintana Roo (Registro Agrario Nacional [RAN], 2017).

4. Discusión

El uso de puntos de calor (PC) y perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC), provenientes de los sensores MODIS y VIIRS, ha sido fundamental en este estudio. Estos insumos han sido procesados previamente de manera automatizada y están fácilmente accesibles a través del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México, una plataforma digital diseñada específicamente para este país (Briones-Herrera et al., 2020).

Los métodos de geoprocusamiento aplicados con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para calcular los cuatro indicadores y el índice espacio temporal de incendios forestales (IETIF) son relativamente sencillos y fáciles de interpretar. Resultan cruciales para analizar la dinámica espaciotemporal de los incendios forestales a mesoescala, específicamente en unidades ejidales. Estos métodos han permitido identificar patrones de incendios en el sur de la Península de Yucatán durante el periodo de 2012 a 2021.

A diferencia de este estudio, investigaciones previas han analizado la distribución espacial y temporal de los incendios forestales a escalas más pequeñas, como municipal, estatal y nacional. Por ejemplo, Gutiérrez Martínez et al. (2018) utilizaron municipios y regiones del Estado de México para caracterizar el régimen de incendios, construyendo un índice de afectación que clasifica en cuatro niveles (nulo, bajo, medio y alto) durante un periodo de 11 años. Por su parte, Villar-Hernández et al. (2022) emplearon cuadrículas de 10 km² para analizar la densidad de puntos de calor en Oaxaca, en un marco temporal de 19 años. Zúñiga-Vásquez et al. (2017) también utilizaron cuadrículas de 0.5° (≈50 km) para identificar patrones de agrupamiento espacial de puntos de calor en México a lo largo de 11 años.

Al proponer los ejidos como unidades de análisis espacial, se facilita la asociación entre la problemática de incendios y los antecedentes culturales y prácticas productivas locales. Esta perspectiva ayuda a comprender mejor los patrones espaciotemporales desde una perspectiva local. El IETIF ha permitido jerarquizar los ejidos del AICA 197 en cinco niveles de afectación, así como su representación cartográfica.

Los resultados destacan áreas críticas donde se agrupan ejidos con incendios de gran extensión (≥ 2000 ha) y reincidentes, diferenciándose de zonas con eventos más pequeños (< 100 ha) y sin repetición. Este comportamiento es similar al observado por Manzo-Delgado y Galicia-Sarmiento (2022) en áreas de uso agropecuario y vegetación secundaria. Otros autores, como Carrillo-García et al. (2012), Pérez-Verdín et al. (2013), Flores-Garnica et al. (2021), Villar-Hernández et al. (2022) y Zúñiga-Vásquez et al. (2017), han documentado patrones similares en diversas regiones de México utilizando técnicas de geoestadística. Estas áreas requieren atención y evidencian la necesidad de implementar acciones de sensibilización, promoción de la cultura de manejo del fuego, formación de brigadas comunitarias, participación de distintos niveles de gobierno y el involucramiento de ejidos circundantes.

Un patrón adicional identificado es que los incendios de gran superficie (≥ 2000 ha) fueron escasos (solo seis eventos), pero abarcaron una cuarta parte de la superficie total afectada. En contraste, los incendios de menor extensión (< 100 ha) fueron más comunes (84% de los casos) y afectaron áreas comparables a las de los incendios más grandes (29%). Este fenómeno coincide con observaciones de Neger et al. (2022) a nivel nacional, así como con los estudios de Manzo-Delgado y Galicia-Sarmiento (2022) en las

selvas húmedas de la Reserva de la Biosfera Montes Azules en Chiapas y Gutiérrez-Martínez et al. (2018) en el Estado de México.

Se observó que en los ejidos más afectados predomina la actividad agropecuaria, y estos también presentan áreas invadidas por *Pteridium aquilinum*, una especie asociada al fuego. Esto respalda la evidencia de que la mayoría de los incendios forestales son provocados por actividades antropogénicas, como la agricultura y la ganadería, donde se utiliza el fuego para preparar las tierras (Flores-Garnica et al., 2021), especialmente en ecosistemas tropicales húmedos (Tyukavina et al., 2022).

La baja proporción del área afectada por incendios (9%), junto con el hecho de que tres cuartas partes de esta superficie solo registraron un evento durante el periodo analizado, sugiere una baja frecuencia de incendios. Esto concuerda con lo planteado por Rodríguez-Trejo (2008) y Cochrane & Ryan (2009), quienes indican que los incendios en las selvas suelen ser esporádicos, aunque catastróficos cuando ocurren. Por otro lado, en la pequeña porción que presentó una frecuencia mayor a un incendio, estos ocurrieron en un promedio de dos años, lo que indica una elevada recurrencia. Esto es coherente con la observación de que los cambios en las coberturas forestales, cuando se transforman en pastizales o herbazales, también alteran el régimen de incendios, asemejándose al de una sabana, donde los incendios son recurrentes (Rodríguez-Trejo, 2014).

Por otro lado, se observó que los ejidos que implementan manejo forestal tienden a enfrentar menos problemas relacionados con incendios. Esto sugiere que mantienen selvas relativamente conservadas que almacenan combustibles pesados y húmedos, lo que dificulta la propagación del fuego (Gutiérrez-Martínez et al., 2018; Briones-Herrera et al., 2019). Además, el manejo forestal fomenta la organización social para la prevención y control de incendios (Pérez-Verdín et al., 2013).

Este análisis de caso se centró en una subregión con condiciones ambientales específicas de clima cálido subhúmedo y vegetación de selvas, que ha sido escasamente estudiada, a pesar de las crecientes amenazas de incendios. No obstante, el método propuesto puede aplicarse a otras condiciones ambientales. Se espera que este trabajo contribuya al manejo integral del fuego, la conservación de áreas forestales y el mantenimiento de regímenes de incendios, tal como lo proponen Cochrane & Ryan (2009) y Jardel et al. (2014).

Finalmente, la asociación con los rasgos culturales y productivos de los ejidos se fundamentó en el conocimiento previo de los autores sobre el área de estudio. Sin embargo, este trabajo abre la necesidad de realizar un análisis detallado sobre las coberturas y usos del suelo asociados a los incendios forestales, así como sobre la severidad y niveles de daño que estos incendios provocan en los ecosistemas. Estos estudios complementarios proporcionarían información valiosa sobre la ecología del fuego en la región y en este tipo de ecosistemas, que aún carecen de datos.

5. Conclusiones

El índice espacio temporal de incendios forestales es una herramienta que permite analizar los rasgos del régimen de incendios en pequeñas unidades espaciales, como lo son los ejidos. Su aplicación evidencia patrones y una comprensión detallada de la dinámica de incendios forestales a escalas local y regional. El análisis de los indicadores de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad reveló la existencia de conglomerados de ejidos que enfrentan problemas graves relacionados con incendios. Estas áreas críticas, especialmente aquellas asociadas con actividades agropecuarias, se caracterizan por la invasión de especies inflamables, lo que incrementa el riesgo de incendios recurrentes.

Un hallazgo clave es que los ejidos con un manejo forestal adecuado presentan bajos niveles de IETIF, sugiriendo que estas prácticas promueven la conservación de ecosistemas y reducen la propagación del fuego. Esto subraya la importancia de implementar estrategias de manejo del fuego que consideren las características socioeconómicas y ambientales de cada ejido.

Las técnicas aplicadas ofrecen una herramienta valiosa para la planificación y gestión de incendios forestales, resaltando la necesidad de acciones coordinadas entre los ejidos, los gobiernos locales y la comunidad en general para abordar esta problemática de manera efectiva. La identificación de áreas críticas y la promoción de una cultura de manejo del fuego son pasos esenciales hacia la mitigación de los incendios forestales y la conservación de los ecosistemas de la región.

6. Bibliografía

- Briones-Herrera, C. I., Vega-Nieva, D. J., Monjarás-Vega, N. A., Briseño-Reyes, J., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Alvarado-Celestino, E., Arellano-Pérez, S., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D., Jolly, W. M. & Parks, S. A. (2020). Near real-time automated early mapping of the perimeter of large forest fires from the aggregation of VIIRS and MODIS active fires in Mexico. *Remote Sensing*, 12(2061), 1-19. <https://doi.org/10.3390/rs12122061>
- Carrillo-García, R. L. C., Rodríguez-Trejo, D. A., Tchikoué, H., Monterroso-Rivas, A. I. & Santillán-Pérez, J. (2012). Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia*, 37(9), 678-683. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925502012>
- Chuvieco, E. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 173-181. <https://rac.es/ficheros/doc/00917.pdf>
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J. & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
- Cochrane, M. A. (2009). Tropical Fire Ecology. Climate change, land use, and ecosystem dynamics. *Springer-Praxis*. 645.
- Cochrane, M. A. & Ryan, K. C. (2009). Fire and fire ecology: Concepts and principles. En: Cochrane M. A. (2009). Tropical Fire Ecology. Climate change, land use, and ecosystem dynamics. *Springer-Praxis*, 25-62.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2015). *Áreas de importancia para la conservación de las aves, 2015, escala: 1:250000*. Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves-Conabio. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/aicas15gw.html>
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR] (2020). Programa de Manejo del Fuego 2020-2024. Coordinación General de Conservación y Restauración - Gerencia de Manejo del Fuego. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/>

- Da Silva, J. J. A., Pacheco, A. d. P., Ruiz-Armenteros, A. M., Henriques, R. F. F. (2023). Evaluation of the Ability of SLSTR (Sentinel-3B) and MODIS (Terra) Images to Detect Burned Areas Using Spatial Temporal Attributes and SVM Classification. *Forests*, 14(32), 1-23. <https://doi.org/10.3390/f14010032>
- Díaz-Delgado, D. & Ruíz-Ramos, J. (2019). La teledetección en la caracterización del régimen de incendios y de los efectos sobre la vegetación. En F. García-Novo, M. Casal, & J. G. Pausas (Eds.), *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas* (pp. 131–146). Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía – ACSYMA. <https://oro.open.ac.uk/59612/7/59612.pdf>
- Díaz-Gallegos, J. R., Mas, J. F. & Velázquez-Montes, A. (2008). Monitoreo de los patrones de deforestación en el Corredor Biológico Mesoamericano, México. *Interciencia*, 33(12), 882-890. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913804>
- Flores-Garnica, J. G. & Flores-Rodríguez, A. G. (2020). Análisis comparativo del número e intervalos de clases de riesgo de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 4-30. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.775>
- Flores Garnica, J. G. (2021). Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Especial-1. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.981>
- Flores-Garnica, J. G., Reyes-Alvarado, A. G. & Reyes-Cárdenas, O. (2021). Relación espaciotemporal de puntos de calor con superficies agropecuarias y forestales en San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64): 127-145. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.857>
- Gutiérrez-Martínez, G., Orozco-Hernández, M. E., Ordóñez-Díaz, J. A. B. & Camacho-Sanabria, J. M. (2018). Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 92-107. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i29.219>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie VII. Conjunto Nacional*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/#Descargas>
- Jardel, E. J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado, E. & Morfin-Ríos, J. E. (2014). Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo. Comisión Nacional Forestal, 59.

<https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/principios-y-criterios-para-el-manejo-del-fuego-en-ecosistemas-forestales-guia-de-campo?idiom=es>

- Lim, Ch. H., Kim, Y. S., Won, M., Kim, S. J. & Lee, W. K. (2019). Can satellite-based data substitute for surveyed data to predict the spatial probability of forest fire? A geostatistical approach to forest fire in the Republic of Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 719-739.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1543210>
- Manzo-Delgado, L. L., & López-García, J. (2020). Análisis espacial y temporal de áreas quemadas en 1998, 2003 y 2015 en la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas, México. *Bosque*, 41(1), 11-24. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000100011>
- Murthy, K. K., Sinha, S. K., Kaul, R. & Vaidyanathan, S. (2019). A fine-scale state-space model to understand drivers of forest fires in the Himalayan foothills. *Forest Ecology and Management*, 432, 902–911. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.009>
- Neger, C., León-Cruz, J. F., Galicia-Sarmiento, L., & Manzo-Delgado, L. L. (2022). Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y Bosques*, 28(2), 1-21. <https://doi.org/myb.2022.2822453>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2021). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>
- Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A. & Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 19(2).
<https://doi.org/10.21829/myb.2013.192339>
- Pompa-García, M., Camarero, J., Rodríguez-Trejo, D. A. & Vega-Nieva, D. J. (2018a). Drought and spatiotemporal variability of forest fires across Mexico. *Chinese Geographical Science*, 28(1). <https://doi.org/10.1007/s11769-017-0928-0>
- Pompa-García, M., Vázquez-Vázquez, L., Zapata-Molina, M., & Solís-Moreno, R. (2018b). Modelo conceptual del potencial de incendios forestales en Durango: avances preliminares. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(13).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.492>
- Priego, S. A. G., Bocco, G., Mendoza, M. & Garrido, A. (2010). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje. Secretaría de Medio Ambiente

- y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/ciga.9789688179239p.2011>
- Registro Agrario Nacional [RAN] (2017). Datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados por estado. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado>
- Reyes-Bueno, F., & Balcazar-Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50–60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Ríos-Quiroz, D. del C., Castillo-Santiago, M. A., Guízar-Vázquez, F. & Medina-Sanson, L. (2021). Historia y cambios en el paisaje en dos ejidos de la Selva Lacandona, Chiapas. *Cuadernos Geográficos*, 60(2), 236–254. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.15813>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). Fire regimes, fire ecology and fire management in Mexico. *AMBIO*, 37(7), 548-556. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). Incendios de vegetación - Su ecología, manejo e historia. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, Semarnat, Programa de Prevención y Combate de Incendios Forestales, Conafor, Conanp, Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl, ANCF, AMPF.
- Tyukavina A., Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A. H., Stehman, S. V., Turubanova, S., Parker, D., Zalles, V., Lima, A., Kommareddy, I., Song, X-P., Wang, L. & Harris, N. (2022) Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3(825190), 1-20. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>
- van Wees, D., van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Andela, N., Chen, Y., and Morton, D. C. (2021). The role of fire in global forest loss dynamics. *Global Change Biology*, 27(11), 2377–2391. <https://doi.org/10.1111/gcb.15591>.
- Vilchis-Francés, A. Y., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, D., Bâ, K. M., & Gómez-Albores, M. Á. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río Balsas. *Agrociencia*, 49(7), 803-820. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000700008&lng=es&tlng=es.
- Villar-Hernández, B. J., Pérez-Elizalde, S., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Rodríguez, P. (2022). Análisis espacio temporal de la ocurrencia de incendios forestales en el

- estado mexicano de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74): 120-144. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1274>
- Zamudio, D. A. C., Guerra, B. R., Vázquez, J. L. A., Garnica, J. G. F., Avilés, L. C., Aguilar, R. T., Cantú, D. H. N., Bautista, A. A., Hernández, J. M., Quiroz, D. C., Nava, N. T., & Hernández, R. G. (2023). Trends in global and Mexico research in wildfires: A bibliometric perspective. *Open Journal of Forestry*, 13, 182-199. <https://doi.org/10.4236/ojf.2023.132012>
- Zúñiga-Vásquez, J. M., Cisneros-González, D., Pompa-García, M., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Verdín, G. (2017). Modelación espacial de incendios forestales en México: una integración de dos fuentes de datos. *Bosque*, 38(3), 563-574. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300014>

Análisis espacial de la región minera El Oro y Tlalpujahua, Michoacán, México, en los siglos XVIII-XIX

Pedro Gómez Molina¹

Pedro Sergio Urquijo Torres²

Resumen

La presente investigación se enfoca en la interpretación y descripción de mapas históricos entre los siglos XVIII-XIX, los cuales permitieron analizar la transformación territorial a partir de la producción metalúrgica en la región de El Oro y Tlalpujahua. Para este objetivo, se conjuntó los Sistemas de Información Geográfica en su orientación histórica, análisis espacial e investigación histórica, por la vasta información histórico-cartográfica con que cuenta la región. Planteamos que existe un déficit historiográfico en el uso de estas herramientas y cartografía histórica para el análisis espacial en la Nueva España y minería en perspectiva histórica. El trabajo permitió conocer a diferentes escalas momentos de poblamiento, redes comerciales, vías de comunicación, toponimia e información geológica en periodos de bonanza; estas representaron variables que estructuraron el territorio.

Palabras clave

Cartografía histórica, SIG-Histórico, Minería novohispana, Región, El Oro y Tlalpujahua

¹ Maestro en Geografía con énfasis en Manejo Integrado de Paisaje. Doctorante en Estudios Novohispanos, Universidad Autónoma de Zacatecas. ORCID: 0009-0006-8397-4215

² Doctor en Geografía, Profesor Investigador Titular del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México. ORCID: 0000-0001-9626-0322

Introducción

La minería novohispana ha sido ampliamente estudiada por su influencia en la transformación territorial, de la sociedad y del entorno económico de la época (Brading, 1975; Bakewell, 1976; 1991, Commons, 1989; Hausberger, 1997). De manera particular, en el periodo colonial tardío, el reformismo borbónico³ dispuso una serie de cambios y medidas administrativas, tales como ajustes tributarios, mejoras en la recaudación fiscal, la creación del Real Tribunal de Minería⁴, las Ordenanzas de Minería de 1783 —para el control minero desde la producción, el aprovechamiento en haciendas y distribución de los metales—, y nuevas técnicas de aprovechamiento metalúrgico —amalgamamiento con base en azogue⁵—, entre otros aspectos históricamente significativos (Pérez, 1991; Contreras, 1995). Con ello, la producción minera alcanzó cifras inconcebibles para la época; autores lo refieren al cambio tecnológico y la política de aprovechamiento, lo que dispuso diferentes cambios en la dinámica espacial a diferentes escalas (Trabulse, 1981; Sariago, 1994; Propin y Sánchez, 2001).

Por lo anterior, en este capítulo se presenta un estudio geográfico e histórico que analiza la relación de la minería y la organización territorial que tuvo lugar en la región minera de El Oro y Tlalpujahua, que comprende los actuales estados de México y Michoacán respectivamente. El estudio se focaliza entre los siglos XVIII y XIX, en el contexto de las reformas borbónicas. Para ello, se recurre a fuentes primarias, específicamente cartografía histórica. Los mapas históricos se procesan espacialmente mediante el uso de sistemas de información geográfica en su vertiente histórica (SIG-H). Esto se hace con la finalidad de analizar, de forma general, cómo la producción metalúrgica deriva en dinámicas y patrones espaciales particulares que brindan una estructura en escala regional a las actividades socioeconómicas del lugar, en la escala local.

³ Las reformas estaban orientadas por una vocación fiscalista: rescatar el control de los impuestos, eliminar los arrendamientos y mejorando el sistema de recolección. Derivó, entre otros aspectos, en la creación de una nueva división territorial administrativo-política (las intendencias), mejoras en la administración fiscal a través de la Real Hacienda y otorgamiento de concesiones mineras y resolución de conflictos a través del Real Tribunal de Minería (Jauregui, 1999; Blanco y Romero, 2000).

⁴ Institución de carácter gremial la cual fungía como banco para inversiones mineras. Entre sus tareas estaba la asociación de mineros, administración de recursos monetarios y un consejero (Tamayo, 1943).

⁵ El azogue es mercurio utilizado para amalgamar la plata; es decir, su compactación. Fue el método de tratamiento de la plata durante gran parte de la época colonial. En 1618 bajo el decreto del rey, se proclamó que este mineral no debería faltar en la mina, ya que cesaría la producción (Lang, 1969)

En principio, con el fin de brindar un contexto, describimos cómo la minería se configuró en la Nueva España y cómo transformó territorial y económicamente a la colonia. Nos interesa resaltar el establecimiento de nodos y redes de estructuración territorial que incentivaron la consolidación de asentamientos como reales de minas, vías de comunicación como caminos reales, y senderos de arrieros. Las regiones mineras se caracterizaron por el aprovechamiento de recursos locales, administración a través de las haciendas de beneficio, control de las vetas, plantas metalúrgicas, gastos santuarios, lo que detonó en una transformación sucinta del entorno. Por tanto, la minería se convirtió en la principal base económica y productiva del periodo novohispano. Con ello, regiones enteras, algunas despobladas, inhóspitas, inaccesibles y lejanas de centros de población se desarrollaron como regiones económicamente estables y prósperas (Sariego, 1994; Álvarez, 1999).

En este trabajo, entendemos la organización territorial por la minería como la articulación relacionada con la población y el espacio para la transformación, exportación y administración de la producción metalúrgica (López y Moncada, 2012). Como vemos, esto da lugar a prácticas espaciales específicas que fueron representadas en la cartografía histórica, pues a partir de su análisis e interpretación se pueden ver momentos de poblamiento, toponimia, vetas principales, la aparición de ranchos y estancias, fraccionamiento de haciendas, conformación de caminos, el nombramiento de conjuntos orográficos donde se extraían metales. Establecemos una aproximación a escala regional, pues en este espacio se desarrolló un sistema funcional compuesto por flujos, nodos e interacciones a partir de una actividad productiva (Propin y Sánchez, 2001). La delimitación de la región se hizo bajo dos principios. Primero, a partir de la geografía física, partiendo de la geomorfología donde se encontraban las minas; y segundo, dado por la actividad humana denotado por patrones de asentamiento y redes de intercambio. Al espacio le precede una construcción social e histórica con diferentes estructuras y subsistemas que rigen y controlan los recursos (García, 2008; Viales, 2010).

Planteamos que el análisis espacial en perspectiva histórica permite conocer patrones generales de cambio territorial que han sido poco abordados en la historiografía. La región de estudio cuenta con un notable legado cartográfico-histórico poco utilizado hasta el momento para analizar fenómenos espaciales a diferentes escalas. En la actualidad son pocos los trabajos de análisis espacial mediante SIG-histórico para el periodo novohispano (Sluyter, 1999; Hunter y Sluyter, 2011; Hunter, 2012).

En investigaciones para la Nueva España, la minería y la transformación espacial derivada de la actividad no es un tema central. La mayoría de estas se han centrado en el cambio de uso de suelo, territorio, y caminos, por mencionar algunos. Entre algunos trabajos más recientes podemos referir a Navarro (2023) que versa sobre apropiaciones territoriales y uso de la tierra relacionado con la frontera. Así mismo, trabajos como el de Murrieta (et al. 2019) enfocan el SIG-histórico en la interpretación de un mapa del siglo XVI para estudiar información social, geográfica, de simbología, ideológica e identitaria en la transición de Mesoamérica al virreinato para el centro novohispano. A su vez, en el reparto de tierras y la introducción de campos agrícolas en el XVI como proceso de colonización, enfoques espaciales como el de Lefebvre (2018), exponen los principales cambios territoriales, momentos de reparto y el manejo de documentación administrativa con valiosa información.

Por ello, identificamos que el aprovechamiento de la cartografía histórica representa una oportunidad de reconocer fenómenos espaciales que han sido poco atendidos en el periodo novohispano. El uso de esta herramienta ha desempeñado un papel importante en el análisis de procesos históricos de forma interdisciplinaria, valiéndose de fuentes primarias para la representación espacial. Los mapas históricos pueden figurar, en diversos casos, como la única fuente de observar paisajes, escenas, territorio y espacio geográfico que ya no cuenta con sus características primarias (Gregory y Healey, 2007; Bailey y Schick, 2009; DeBeats y Gregory, 2011; Zohar, 2019).

Los mapas también son un instrumento para el razonamiento espacial de la información cuantitativa. Son una imagen, que a menudo ya no existe de ubicaciones y estadísticas; así mismo permite describir, explorar y comunicar algún aspecto de la realidad histórica (Harley, 1989). Representa a una realidad que facilita el conocimiento espacial de cosas, condiciones, procesos y eventos. Por ello, en este capítulo consideramos al mapa como un elemento que contiene un código visual sujeto a esquemas de lectura. Un medio para controlar y organizar datos que permiten la interpretación y construcción del pasado. A su vez puede ser analizado histórica, geográfica, semántica, estética y discursivamente (Rojas, 2008; Lois, 2015).

Para este trabajo, se hizo una revisión de diversas metodologías y manejo de bases de datos, pues son necesarios algunos aportes para los SIG-históricos, modelos de regionalización, y cambios sociales con base en actividades productivas (Healey y Stamp, 2000; MacDonald y Black, 2000). Así mismo, fue necesario reconocer otro tipo de

aproximaciones para el procesamiento de información documental y relaciones espaciales con visiones desde la geografía histórica. (Ellian y Gregory, 2001; Gregory y Healey, 2007; Bailey y Schick, 2009) En diversos estudios se han documentado transformaciones territoriales con estudios de caso aplicados a vías férreas, agricultura, conflictos sociales, religión, política, no obstante, son un marco de referencia para el objetivo de esta investigación, ya que pocos de estos estudios se han enfocado en la minería (DeBeats y Gregory, 2011; Gregory, 2014; Schindlling y Harris, 2018).

Para atender lo anterior dispuesto, el capítulo se estructura de la siguiente manera, primero ofrecemos un panorama histórico sobre la fundación de los Reales de Minas de El Oro y Tlalpujahua, los diferentes momentos de producción, población y empresas. Segundo, se explica a grandes rasgos la metodología empleada y los elementos que conformaron el SIG-histórico. Y tercero, se explica en análisis espacial con las fuentes primarias utilizadas, los elementos cartográficos, la articulación territorial planteada y finalmente una serie de conclusiones respecto a lo observado espacialmente.

La región el Oro y Tlalpujahua, un enclave minero novohispano

La historia de la región comienza en el poblado de Tlalpujahua, provincia de Michoacán, cuando el conquistador Hernán Cortés otorgó la primera encomienda a Gonzalo Rioboz Sotomayor, encargado de los pueblos de Araro y Zinapécuaro. Hacia 1525, junto con Zumpango, Sultepec, entre otros pueblos, Tlalpujahua fue de los primeros laboríos argentíferos en el occidente novohispano. En 1558 fueron descubiertas las minas con los límites de Taimeo bajo la jurisdicción de Ucareo, Cinapécuaro, Araro, Maravatío y Taximaroa (Gerhard, 1993). En 1560 recibió el título de Real de Minas de Tlalpujahua en Ucareo. Fue en 1596 que el alcalde **Gaspar de Solís, llevó a cabo la primera congregación de indígenas y el primer trazo y construcción de viviendas** para el nuevo pueblo (figura 1). En 1603 se reconoció de manera independiente el Real de Minas de Tlalpujahua con catorce vetas en explotación, extendiéndose su bonanza a mediados del siglo XVII (Lang, 1977; Aparicio y Poncela, 2019).

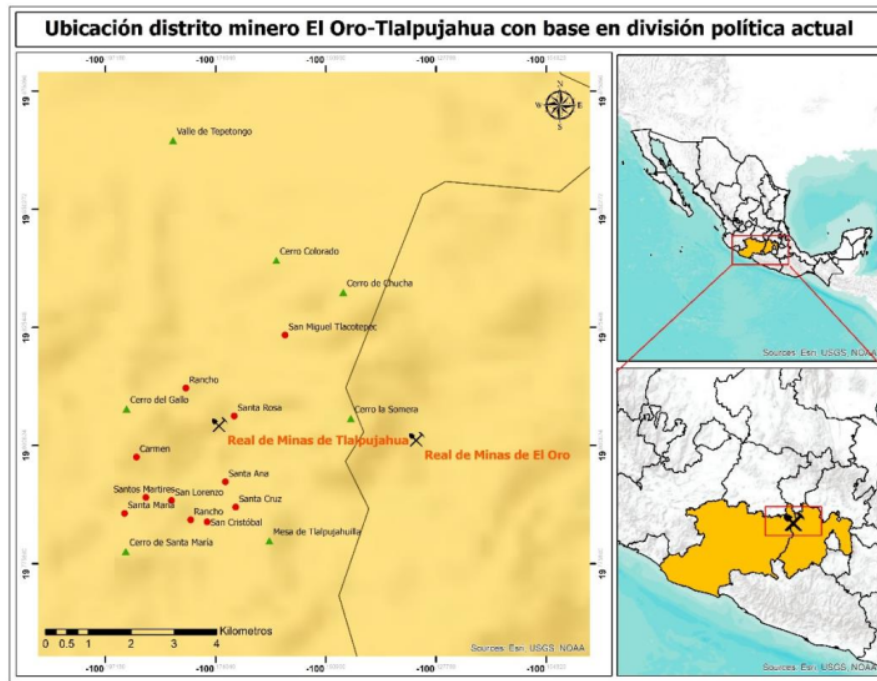


Figura 1. Mapa de ubicación de los Real de Minas de El Oro y Real de Minas de Tlalpujahua con división política actual

Si bien la historia de la región minera se remonta a principios de la etapa colonial, en este estudio nos centramos en la segunda bonanza argentífera de Tlalpujahua, que data de 1733, pues es el año que marca el descubrimiento de nuevas minas. En este lapso proliferaron solicitudes, litigios y proyectos de aprovechamiento metalúrgico que, consecuentemente, transformaron la organización territorial (figura 2). En 1736 inició la explotación de la mina de Santa Ana y para 1743, el minero José de la Borda encontró otra rica veta; sin embargo, éste se trasladó a Taxco ocho años después. En 1745 se construyó la hacienda de beneficio de Los Reyes. En 1758 corresponde al año de mayor producción minera que se registró en la Caja Real de México procedente de Tlalpujahua (Gavira, 2006).

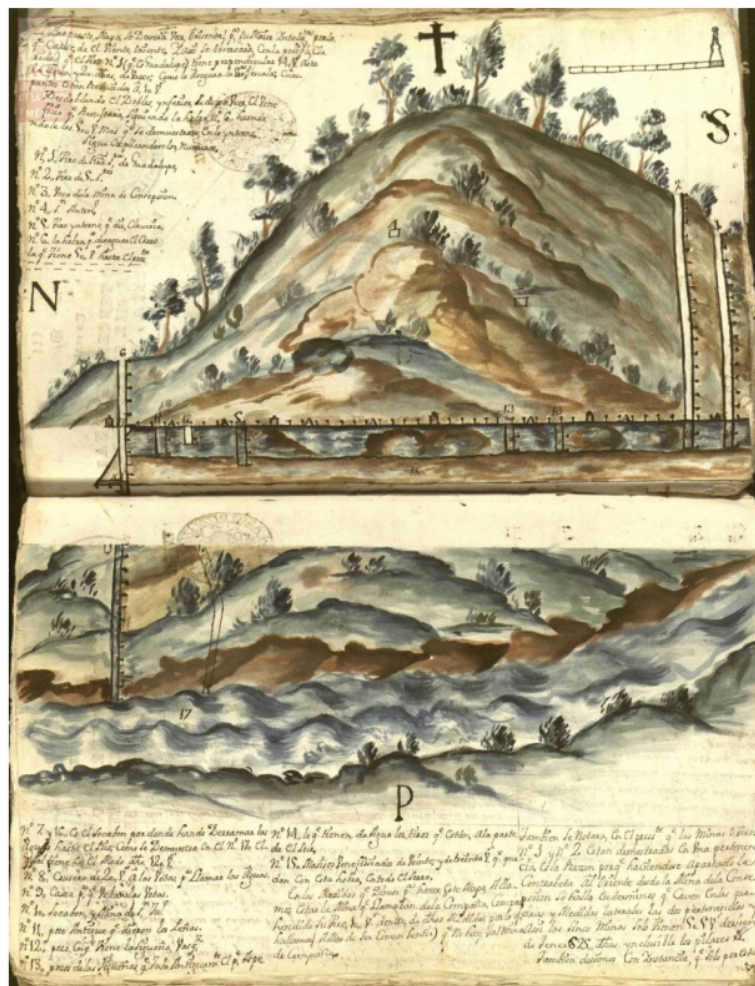


Figura 2. Minas de Tlalpujahua, Michoacán, 1733. Fuente: Archivo General de la Nación, procedente de Minería, vol. 20, exp. 10, fojas, 336 y 337. MAPILU 02746F.

La temporalidad planteada se orienta en el aprovechamiento de las primeras minas en la localidad de El Oro, las cuales fueron descubiertas por Andrés Francisco Arziniega, por lo que en 1786 se inauguró el Real de Minas de El Oro, en las faldas del cerro de La Somera, perteneciente a la jurisdicción de Ixtlahuaca. Sin embargo, Arziniega comenzó a beneficiarse de los productos minerales en 1788. Durante este año se establecieron en la región otras minas, primero la del Poder de Dios, administrada por Vicente Gujide y las de menores rendimientos de San Francisco de Paula, San Vicente, De la Aparición y

Chihuahua, cuyos respectivos propietarios eran Manuel Serrano, José González y José Coronado (Meléndez, 2013).

En El Oro, las principales vetas de aprovechamiento en la época de estudio fueron, Chihuahua, Acacio, La descubridora, San Rafael y Calera. Entre los yacimientos más importantes se encuentran la ya mencionada Poder de Dios, San Francisco de Paula, San Vicente, de la Aparición y Sacramento. Los minerales extraídos fueron oro nativo, plata nativa, plata sulfúrea, plata gris, polvorilla de plata, manganeso, cuarzo y pirita (Meléndez, 2013). Nuestra investigación se desarrolla hasta el siglo XIX, pues hasta este tiempo es que se aprovecharon los filones más ricos conocidos hasta ese entonces en el país. Una de las empresas prolíferas fue la compañía minera Dos Estrellas, que significó un importante aporte técnico, auspiciando a la región como una de las más importantes del centro del país (Uribe, 2009). Durante este lapso otras empresas internacionales realizaron explotaciones, entre ellas se encuentran, Esperanza Ltd., de origen inglés (1893), Guggenheim Exploration, de origen estadounidense (1897): Weetman Pearson, de capital inglés (1897); Compañía Minera Las Dos Estrellas de capital francés (1898); American Mining Company y American Railroad and Lumber Company, –que posteriormente se convertiría en The Oro Mining Railway Company– de capital inglés (1899) y The exploration company, de capital inglés, las cuales invirtieron para la rehabilitación de minas destruidas o en desuso (Uribe, 2005).

Procedimiento metodológico

Para la investigación se elaboró una base de datos cartográfica que constó de los siguientes criterios de selección. Primero la temporalidad debía corresponder al periodo de estudio, entre los siglos XVIII y XIX, privilegiando los mapas que correspondían a la actividad minera en la región. Segundo, el mapa podría representar algún tipo de propiedad de la tierra, que tuviera una escala local-regional y que contuviera algún informe de producción minera. La búsqueda de estos insumos se realizó en los Archivos históricos municipales de El Oro y Tlalpujahuá, el Archivo General de la Nación en el fondo Mapas Planos e Ilustraciones, en los fondos operaciones de guerra, tierras y minería, así como la Mapoteca Manuel Orozco Y Berra.

En total se encontraron 32 mapas que cumplieron con las características antes mencionadas; sin embargo, se seleccionaron 14 para el proceso en SIG-histórico descrito

más adelante⁶. Los mapas históricos elegidos corresponden a triangulaciones mineras⁷ (Triangulación de los distritos el Oro y Tlalpujahua, de El Oro, Red Triangularía entre Acambay y El Oro, Estado de México, Triangulación Acambay a Mineral del Oro, Triangulación de primer y segundo orden en la región megaséismica Acambay Temascalcingo, distrito de El Oro, Estado de México, los cuales corresponden a finales siglo XIX;), planos de haciendas (San Miguel Solís, Temascalcingo), plano geológico de minería (elaborado por José Burkart en 1828 para el distrito El Oro y Tlalpujahua), y mapa de solicitud de tierras (Tlalpujahua, Michoacán, Ixtlahuaca y Jilotepec. Edo Méx. 1755).

Tal como señala, Guzmán, (2017), las metodologías en SIG-histórico radican en el uso de herramientas espaciales para responder preguntas de investigación sobre fenómenos históricos de forma innovadora. Las capas de información extraídas producto de la interpretación cartográfica tratan de responder (figura 3), ¿cómo se estructuró el territorio a partir de la minería? ¿Qué información del espacio nos otorgan los mapas? ¿Qué flujos y dinámicas regionales dan cuenta de la realidad minera de la zona de estudio? ¿Qué pueblos y localidades fueron apareciendo? ¿Qué periodos fueron determinantes para la expansión minera? ¿Los cambios en el territorio son sólo por la minería? ¿Qué procesos históricos fueron determinantes en los procesos espaciales? De igual forma, alguna parte de esta información fue cotejada en fuentes primarias como informes de minería, expedientes de los mapas, e información de litigios.

⁶ Los mapas históricos no elegidos sirvieron de referencia en el proceso de interpretación que resultó complejo su procesamiento en SIG-histórico.

⁷ Técnica cartográfica utilizada para señalar la distancia más corta entre algún poblado o mina. Esta tecnología cartográfica se implementó a finales del siglo XIX y consideraba la superficie del suelo. Las distancias se identificaban por puntos fijos. (Gil, 2012).

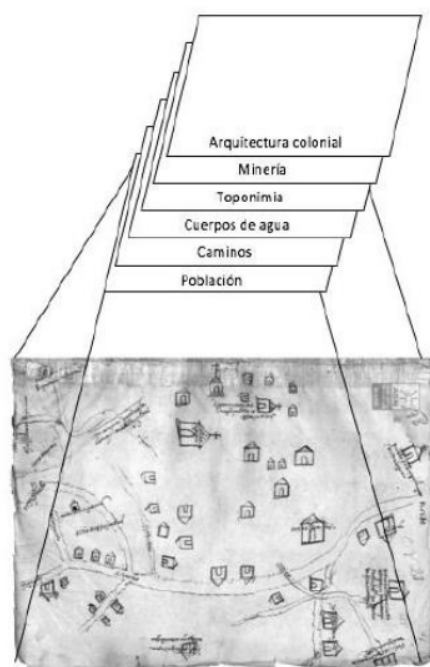


Figura 3. Capas de información obtenidas a partir de mapa histórico, con base en la metodología de MacDonald y Black (2000). Mapa de Tlalpujahua que corresponde a Plano de deslindes de las Congregaciones de Tlalpujahua, Valladolid, 1603. Fuente: AGN, Tierras, vol. 2742, exp. 19, f.

Cabe mencionar que en el caso de las toponimias estas pudieron haber cambiado, o bien, estar próximos a otros lugares que no corresponden a los que se registraron, por ende, los registros espaciales se correlacionaron con la información histórica, con la finalidad de detectar inexactitudes, exageración o discrepancia de los datos (Schindling y Harris, 2018; Zohar, 2019). El SIG-histórico tiene 3 componentes clave (Gregory, et al. 2001): un conjunto de datos, información temática sobre el objeto de estudio e información espacial.

El análisis espacial

La cartografía histórica consultada fue una oportunidad de conocimiento del territorio a diferentes escalas y momentos de producción del recurso mineral. Como se ha mencionado en el apartado anterior, los mapas estudiados devienen de litigios, linderos,

fronteras, levantamientos topográficos y geodésicos, triangulaciones megasísmicas para distancias, fraccionamiento y demarcaciones de haciendas, aprovechamientos agrícolas e información militar. Las capas generadas indican un conocimiento amplio del espacio por los intereses de aprovechamiento, lo que se ve expresado en ranchos, estancias, haciendas, toponimia, infraestructura defensiva y eclesiástica, localidades, vías de comunicación, entre otros. Esta información espacial se complementa con diversos informes de minería que nos permiten una interpretación histórica y geográfica más precisa respecto al lugar. Los patrones y la visualización cartográfica otorgan mayor claridad para dilucidar dinámicas regionales, flujos mercantiles, vínculos geográficos y el funcionamiento del sistema metalúrgico.

Hay que considerar que los momentos de aprovechamiento se pueden denotar por aumentos en la población, producción en marcos e impuestos, por ejemplo. Para el caso específico de Tlalpujahua pocos son los trabajos que involucran estas variables. En principio, en 1729 Don José de la Borda fue el encargado de la exploración y puesta en marcha de antiguos laboríos, para que en 1733 se consolidaran los tiros de las minas de la Concepción y Guadalupe, que significaron un repunte en los aprovechamientos (Almazán y Santiago, 2020). Esta bonanza se extendió poco más de dos décadas, pues en 1745 derivó en la construcción de la hacienda de Reyes para el amalgamiento de la plata. En 1746 la población local sumaba 5470 habitantes. De forma aparente no se incrementó mucho, ya que para 1769 en Tlalpujahua habitaban 5276 personas; sin embargo, para un repunte a final de siglo indica que en 1793 se establecieron 9888 personas⁸. Por otro lado, datos señalan que, hasta antes de 1750, los costos de explotación y la extracción de una menor cantidad de plata hicieron que De la Borda se trasladara a Taxco en 1748, y en 1758 abrió una nueva empresa minera en Chontalpa y Zacualpan; por ende, este momento es clave para que la población de Tlalpujahua se mantuviera lineal (Gavira, 2006).

Durante este periodo de bonanza hay tres aspectos a destacar. Primero, las reformas borbónicas redujeron impuestos de un 26% al 13% sobre la producción; hubo una disminución del 50% en el costo del mercurio para el amalgamiento y se crearon las

⁸ La demografía histórica elaborada por Gavira (2006) proviene de estadísticas generadas a partir de padrones de confesiones y comunión elaborados en el siglo XVIII, así como de crónicas, expedientes, informes eclesiásticos, —elaborador por Felipe Valleza en los años 1760 y 1765—, y fuentes fiscales obtenidos en el Archivo Histórico Manuel Castañeda, Archivo Casa de Morelos y Archivo General de la Nación principalmente.

diputaciones mineras y la exención de los derechos de alcabala. Segundo, la Corona ordenó el apoyo a los trece distritos mineros más importantes de la Nueva España, entre ellos Tlalpujahua, por los hermanos de “La Borda”, quienes también laboraron las minas de Taxco (Trabulse, 1981). Tercero, de acuerdo al estudio de Lang (1977), las minas de Tlalpujahua eran susceptibles a ser aprovechadas mediante nuevos métodos de amalgamiento; por ejemplo, el de Born, que fueron desplazando al método de “patio”. De igual forma los aportes científicos de españoles, franceses y alemanes, sirvieron para las mejoras de beneficio de la plata. La minería dependía necesariamente del mercurio y justo a mediados del siglo XVIII es cuando se tiene recuento del mayor aprovisionamiento del mineral (Pelayo, 1990).

La mayor parte de la población en la región se dedicaba al comercio de productos agrícolas y ganaderos, especialmente de trigo, maíz, cebada, animales de carga para los trabajadores de la mina. Para el caso de Tlalpujahua, José de la Borda entregaba una doceava porción del mineral extraído a los empleados aunado a su salario (Povea, 2018). De acuerdo con información de los asentamientos que provienen de estadísticas elaboradas en 1758, se dividían de la siguiente manera: cabecera (Real de Tlalpujahua), barrios (El Real, Puztla, Bartola, Zapatero, Real de Arriba), pueblos (Tlacotepec, Los Remedios, Tarimangacho, Tlalpujahuilla, Santa María) y cuadrillas⁹ (San Lorenzo, San Francisco, Magallanes, Todos Santos), los cuales se inscriben en la cartografía presentada más adelante (Gavira, 2006).

En esta coyuntura, el repunte en las últimas décadas del siglo XVIII tuvo otras condicionantes. En 1772 se fundó el Real Colegio de Minería donde se impartieron cursos de metalurgia, mineralogía y química. Además, en 1777 se creó el Real Tribunal de Minería auspiciado por Joaquín Vázquez de León, que tenía como meta lograr mejoras tecnológicas para la metalurgia, resolver con prontitud los litigios y demandas, otorgar créditos y negociación de minas (Velasco, 1987; Commons, 1989). En general, se impulsó una modernización del sistema colonial y un crecimiento comercial sin precedentes. Precisamente, la década de 1770 marcó un hito en la producción argentífera, ya que hubo una expansión industrial. Se calcula que la Nueva España en este periodo producía el 67%

de toda la plata de América (Brading, 1975). En este contexto, en 1786 se fundó el Real de Minas de El Oro, por lo que la región se consolidó para ambos Reales (Brading, 1975;).

De acuerdo con el informe de la mina de San Buenaventura en Tlalpujahua, elaborado por Emilio Schleiden (1856), el periodo de esta segunda bonanza culminó por las siguientes causas:

Se ignora como algunas veces la verdadera causa de haber terminado la bonanza; pero es de presumir que las dificultades del desagüe, la que presentaba la blandura de los respaldos y la falta de medios para vencer estos y otros inconvenientes, paralizaran los trabajos [...] Entre varias tentativas de rehabilitación del mineral, la más notable fue la que hizo D. Joaquín Velázquez de León, director del tribunal de minería, quien con fondos del banco emprendió el desagüe de algunas minas de la veta de Coronas. quien con fondos del banco emprendió el desagüe de algunas minas de la veta de Coronas. No realizó su objeto, pero sirvió de un poderoso estímulo a esta clase de empresas. [...] Bien que la mayor parte es de creer dimanaba del mineral del Oro, pues en Tlalpujahua lo que más se hacía, según parece] era despilarar los altos y repepenar les terreros. Pero de aquellas obras nos interesa una, por hallarse dentro de la pertenencia de San Buenaventura, y es el tiro, llamado de la Caja de agua, que está por concluir y se. empezó poco antes de la guerra de independencia.

Precisamente, tras la guerra de Independencia los laboríos quedaron desolados, sin embargo, la cartografía militar nos da indicios relevantes para comprender el territorio. Sobre el cerro del Gallo en Tlalpujahua se construyó una fortificación, diseñada por Nicolás Cano Luque, el cual denominó al baluarte principal como El Carmen. Es de llamar la atención que este fuerte es de los pocos de la llamada ruta a “Tierra Adentro”, pues la mayor parte se edificación en zonas portuarias como Campeche, Bacalar, San Juan de Ulúa, Acapulco, por mencionar algunos. Ello resalta la importancia política y económica de este sitio. Esta infraestructura se compone de muros en forma de pentágonos o hexágonos. Se colocan en el frente de la fortificación para tener visión general de los terrenos en custodia y tener almacenes para provisiones en general. En la figura 3 se aprecia el baluarte de El Carmen, el cual se encuentra en esa ubicación ya que “al norte presenta un voladero casi inaccesible y con presencia de naturaleza” como

detalla el mapa. El fuerte del cerro del Gallo fue construido para la guerra de Independencia. En 1812, en la fortaleza se establecieron los hermanos López Rayón, Ignacio y Francisco quienes fueron los precursores del movimiento. La fortaleza tuvo la función de fabricar y albergar fusiles, cañones, establecimiento de tropas e imprenta. En 1813, los insurgentes obligaron a las tropas realistas a abandonar el cerro del Gallo (Gorbea, 1968).

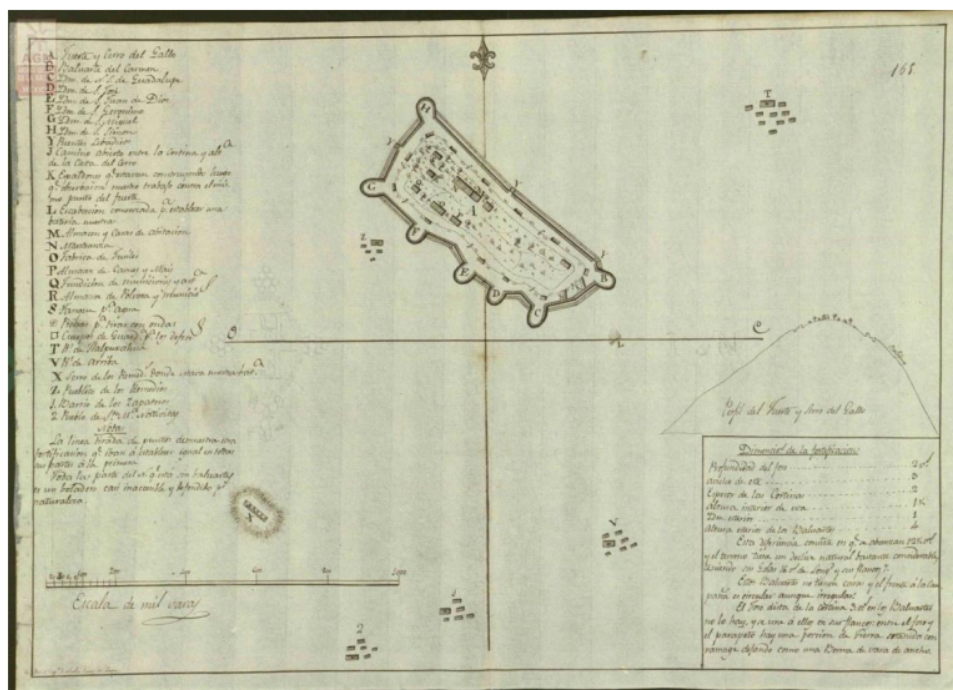


Figura 4. Plano del Fuerte del Cerro del Gallo, Talpujahua, Michoacán, 1813. Elaborado por Nicolás Cano de Luque. Fuente: Archivo General de la Nación, Operaciones de Guerra, vol. 112, f. 165. MAPILU 02628F.

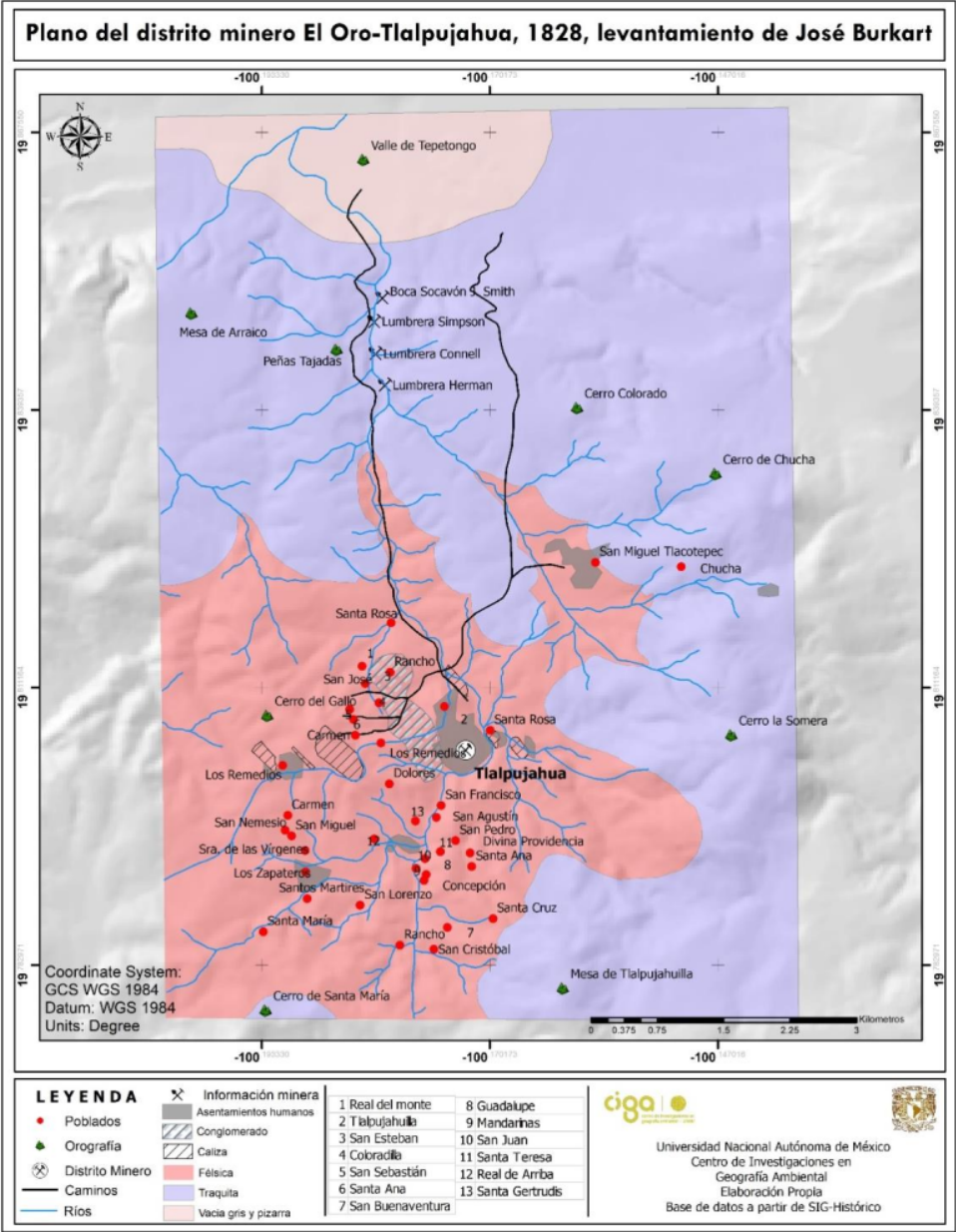
De manera particular, los mapas militares expresan ocupación territorial y aluden a la importancia estratégica de lugar y al interés político por defenderlo. Los conocimientos geográficos y cartográficos respaldaron la organización del territorio. Esto se debe a que los poblados representados están en dirección a los baluartes, en modo de contraataque (Moncada, 2018).

Posterior a la guerra de Independencia, la relativa estabilidad política también fue factor para aprovechamientos argentíferos. En Talpujahua se instaló el ayuntamiento independiente en 1822 y en 1831 se le reconoció como municipio (Uribe, 2001). En este

lapso, la inversión extranjera se hizo presente para un repunte argentífero. Dentro de una de las generaciones prolíferas de ingenieros y científicos germanos se encuentra Joseph Burkart, quien fungió como director técnico de la Compañía Británica de Tlalpujahua de 1825 a 1828 (Suter, 2016). La rehabilitación consistió en el desagüe de minas conocidas, la introducción de motores de vapor y la mejora en los sistemas de beneficio. La cartografía desarrollada por Burkart permite identificar de manera amplia la geografía, mineralogía, geología y orografía del sitio de estudio. Desarrolló el ¹²Plano geológico del distrito minero de Tlalpujahua y El Oro, y que sirvió de base para la construcción del SIG-histórico, específicamente el mapa de la figura 5, pues contiene curvas de nivel que

precisan la geomorfología de la zona, así mismo la condición litológica y otros elementos geográficos como escorrentías, localidades y vetas de minerales. (Uribe, 2014).

Figura 5. Plano del distrito minero, con información geográfica y geológica, a partir de Mapa geológico del distrito minería de Tlalpujahua, 1828, elaborado por José Burkart. Fuente: Mapoteca Manuel Orozco Y Berra. CGF.RM.M26.V4.0243



Este periodo del mapa corresponde a la segunda bonanza del distrito minero, es decir, cuando estuvieron a la par las labores de El Oro y Tlalpujahua. La tecnología implantada por Burkart fue fundamental para los aprovechamientos (Corona y Uribe, 2009); en la siguiente descripción que ofrece Schleiden (1856:8) indica cómo los aprovechamientos fueron a lo largo de vetas novohispanas, así mismo, la composición litológica:

Tal era el estado en que se hallaban las minas de Tlalpujahua, cuando vino á darles nueva vida la compañía grande del Oro, que fundándose en tradiciones y otros datos, parece discurrir de esta manera [...] Se compone de melafira, extendida por el rumbo del cerro de Somera Inicia el de San Lorenzo, divide en dos partes un gran terreno de pizarra de transición con vacia gris y caliza. La parte más pequeña al Oriente, compone el mineral del Oro, y el de Tlalpujahua la más grande al Poniente.

Los adelantos científicos fueron clave para el desarrollo de cartografía especializada y una mejora considerable en los métodos de uso del mercurio que, si bien esta técnica se empleó en la Nueva España desde el siglo XVI, es en finales del siglo XVIII y principios del XIX que los especialistas la llevaron a un mejoramiento sustancial a Europa (Lang, 1977). De igual forma, las descripciones geológicas como la de la figura 4 fueron esenciales para la extracción de los metales, pues los científicos tenían la experiencia y el conocimiento sobre las antiguas minas novohispanas, y los errores de su funcionamiento. Además, los análisis económicos sirvieron para la toma de decisiones entorno si era factible o no las exploraciones. La obra de Burkart de las minas de Tlalpujahua y su descripción geológica fue publicada en 1866 en el *Boletín de la Sociedad de Geografía y Estadística de la República Mexicana*, por lo que el informe de Schleiden (1856: 11) identifica la necesidad de estos avances para abaratar costos:

Aunque por la considerable extensión del terreno, era necesario mucho tiempo y estudio para la formación de un. mapa geológico en que se comprendiese todo él, seria increíble que hubiesen dejado de formarle las tres poderosas compañías que han trabajado desde 1825 hasta hoy, a no saberse que la guía principal para las obras subterráneas fue la tradición. El mapa, con toda probabilidad, hubiera, ahorrado algunos millares de pesos.

La estancia de Burkart en Tlalpujahua fue de alrededor de nueve años, donde consolidó el distrito que estaba desolado y en ruinas. Destaca en su informe cómo la rehabilitación de las vetas hizo que la población volviera al pueblo a las faldas del Cerro del Gallo, el cual gozaba de abundantes maderas para la construcción y fortificación de las minas. Los pueblos mostrados en la cartografía ya se encontraban antes de llegada de esta nueva bonanza; la mayoría estos y los ranchos tuvieron un uso de suelo agrícola tras la guerra de Independencia. La población respecto a finales del periodo colonial no aumentó en demasía, pues para 1822 alcanzaba los 12,000 habitantes, casi 4,000 más que a finales del siglo XVIII. Los minerales extraídos fueron la plata sulfúrea o plata azul, la plata agria o azul acerada. No obstante, esta bonanza no se postergó ya que en 1827 comenzó a tener problemas, y fue en este año que el director de la compañía fue removido ya que como señala el informe no tenía los conocimientos necesarios para la minería, y no supo manejar las 400,000 libras de inversión londinense —una cifra trascendental para la época—. En 1828, la empresa británica dio la orden de suspender labores, por lo que los aprovechamientos posteriores se hacían en pequeñas vetas (Burkart, 1866).

La última bonanza del distrito minero llegó en 1786. Posteriormente, en 1857, las reformas liberales se instauraron en el país y repercutieron en la minería, mediante la instauración de políticas fiscales que regularon los impuestos en la materia (Carmagnani, 1989). El gobierno realizó federal inventarios y estadísticas de aprovechamientos mineros. Posteriormente, en el régimen porfirista se descubrieron y aprovecharon las vetas del cerro la Somera, en El Oro. En 1898 se fundó la compañía minera Las Dos Estrellas. La concesión federal se dio para los tiros Estrella 1, Estrella 2 y Estrella 3, que abarcaron un área de 385.37 hectáreas. La minera propició un desarrollo técnico, científico y productivo. Las empresas inglesas modernizaron la industria, invirtieron capital, lograron que se ubicara entre las 22 más rentables en México (Corona y Uribe, 2001). Influyó además que la demanda de oro a nivel mundial se encontraba en apogeo. Desde 1898 a 1907 alrededor de 51 empresas explotaron minerales, la mayor participación fue el capital inglés; sin embargo, el capital norteamericano y francés fueron los de mayor alcance (Uribe 2001: Meléndez, 2013).

Durante este periodo, se desarrolló cartografía específica, en particular, otra fuente valiosa de información son los mapas de triangulaciones de regiones megasísmicas. Las triangulaciones básicamente se utilizaban para señalar la distancia más corta entre algún

poblado o mina. Esta producción cartográfica se implementó a finales del siglo XIX. Si bien estos mapas fungían para distancias, contaban con excelente información como topónimos orográficos, cuerpos de agua, y localidades, los cuales pudieron ser mapeados (Gil, 2012). En este sentido, en la figura 5 es un mapa que muestra la región de estudio con poco más de ochenta topónimos orográficos registrados entre 1755 y 1913.¹⁰ Este SIG-histórico precisa cómo la región de interés minero se expandió en más de un siglo de acuerdo con momentos de bonanza. Si bien los topónimos no identifican patrones de poblamiento, sí es una fuente de información para modelos de exploración, historia local y articulación territorial. Además, alberga un conjunto de datos históricos para otras investigaciones. Los topónimos significaron ser una fuente de información para orientación espacial producto de la interpretación cartográfica (Chloupek, 2018).

¹⁰ Se decidió usar un mapa de principios del siglo XX ya que contenía información más precisa de topónimos encontrados en cartografía anterior a esta fecha

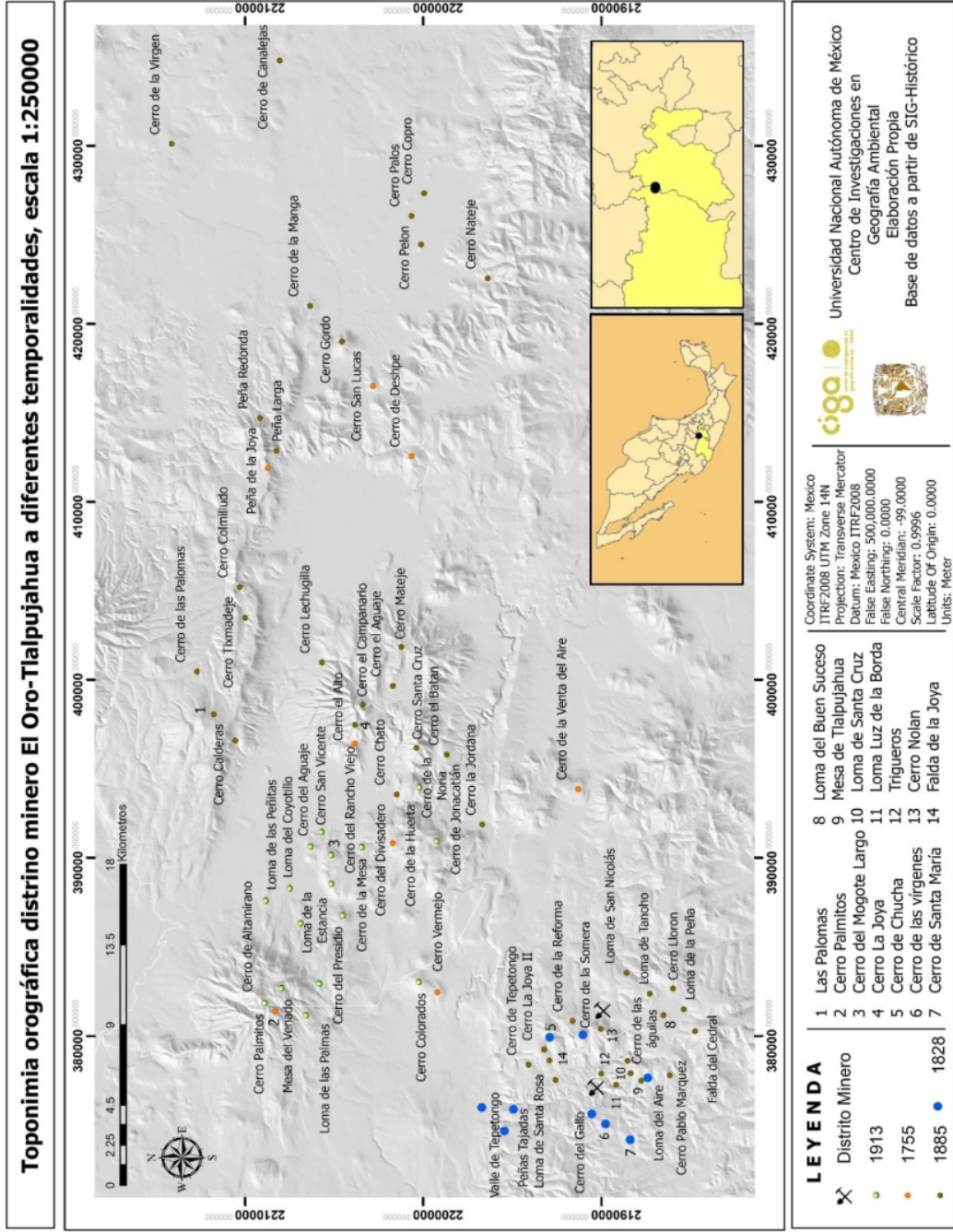


Figura 6. Mapa de topónimos orográficos desde 1755 a 1913 para la región minera El Oro-Tlalpujahua. Elaboración propia.

Los topónimos encontrados son producto de las investigaciones y levantamientos topográficos para el aprovechamiento argentífero; por lo tanto, dan cuenta de la realidad en la transformación no sólo del espacio físico, sino cómo los periodos de bonanza permitieron tener información de elementos territoriales a escala regional. De igual forma, se considera que el SIG-histórico planteado es una oportunidad para investigaciones futuras, ya que la información toponímica puede revelar aspectos lingüísticos, cambios poblacionales, conocimiento a escala local, sitios representativos culturales y de identidad histórica, que no son objeto de esta investigación. Por ende, son necesarios enfoques interdisciplinarios para el análisis espacial aquí dispuesto (Tucci, et al., 2011). La toponimia mostrada debe trabajarse con sumo cuidado, pues la historia de asentamientos y nombramiento de lugares es un proceso dinámico. Por ende, se hace hincapié que la presencia de estos nombres corresponde a un tiempo y espacio determinado, ya que algunos pudieron haber cambiado de nombre (Levin, et al., 2010).

Otro punto importante dentro de esta información es que los mapas históricos de los cuales se conformó el SIG es que pueden contener conocimiento que no se encuentra en otras fuentes primarias como expedientes, informes o archivos gubernamentales. También, la información contenida en diversos mapas históricos, ahora se encuentra reunida en una misma base de datos, por lo que abre un panorama a identificar otro tipo de patrones y percepciones del espacio en cuestión. Así mismo, la información sobre la localización de puntos específicos tiene mayor precisión en la cartografía. Los mapas utilizados en el presente estudio dan cuenta de cambios tecnológicos, uso de herramientas topográficas, diferentes avances en la medición de la escala y exactitud de su representación. No obstante, más allá del tratamiento en el SIG, lo sustancial es la interpretación de los mapas y en su caso, la de fuentes primarias anexas (Rumsey y Williams, 2002).

Los mapas resultantes del SIG-histórico intentan mostrar una condición geográfica en cuanto a los elementos que lo componen. Hay que tomar en cuenta dentro de los mapas históricos de las múltiples distensiones, restricciones y subjetividad que le preceden. Estas circunstancias tratan de ser resueltas para que puedan ser comprendidas en convenciones geográficas contemporáneas. Las series espaciotemporales propuestas se pueden actualizar con nuevos datos, o correcciones necesarias. Las ambigüedades se pueden resolver con investigación histórica a profundidad, pues las representaciones en el pasado es una forma de percibir el espacio físico y la forma en que se construye, o se

quiere indicar el medio discursivo de la cartografía histórica. La visión multiescalar propuesta da cuenta de ciertas condiciones espaciales de la región, se puede observar la necesidad de quienes poblaron esa región de conocer su espacio, sus formaciones geológicas, la contención de riesgos, la necesidad de poblados para la mano de obra, y tomar en cuenta dónde se encontraban los recursos, especialmente metalúrgicos (Desimini, 2019; Cattoor, 2019).

La cartografía histórica no sólo se elaboró para el conocimiento y aprovechamiento de la mina, sino de sus provisiones, pues, buena parte de los sitios encontrados en los mapas no corresponden únicamente a vetas, desagües y tiros. Los mapas consultados para la investigación contienen información sobre haciendas, ranchos, localidades, estancias, y vías de comunicación. Por lo que en el mapa de la figura 6, se decidió conjuntar estos elementos siguiendo el principio de diferentes temporalidades, pues es importante, reconocer como en la cartografía algunos sitios aparecen, y que demuestra el conocimiento espacial de la región en el mismo patrón regional de poblamiento. Este último mapa refleja un conjunto de acciones de forma secundaria vinculadas a la minería, pues las localidades formaron parte del comercio local, los principales centros administrativos y tributarios, lo que da cuenta de la amplia articulación territorial producto de la minería. Esta visión espacial es una aproximación a la dinámica minera, pues en realidad, poco se ha escrito de relaciones topográficas y los asentamientos humanos en las minas, las bonanzas y los cambios en el espacio. Al ser una aproximación, en futuras investigaciones se recomienda otro tipo de fuentes primarias como informes de visitantes coloniales, relatos de viajeros, informes de administradores, registros topográficos, o itinerarios, sólo por mencionar algunos ejemplos (Stangl, 2019).

Para la elaboración del SIG-histórico de este mapa de la figura 6 hay que hacer unas precisiones. La temporalidad corresponde al periodo en que los elementos geográficos fueron encontrados en la cartografía histórica; se toma en cuenta que algunos poblados cambiaron de nombre, por lo que fueron actualizados a las bases más recientes —sobre todo mapas de 1885 y 1913, y poblados que aparecieron en 1755—, por ende, se decidió no separar las capas cronológicamente. Para el caso de las haciendas, en algunos casos la cartografía sólo marcó la ubicación del casco, pero, como se observa, algunos más precisos de finales del siglo XIX se pudieron obtener sus límites. Para la zona de mayor actividad metalúrgica, gracias a los reconocimientos mineros y algunos mapas de las compañías mineras se lograron obtener las poblaciones. La otra parte de la región, las localidades se obtuvieron a partir de las triangulaciones megaséismicas.

Conclusiones

Consideramos que este estudio aporta al conocimiento espacial de una región minera en la historia espacial de más de un siglo. La cartografía de mediados del siglo de XVIII es poco precisa —en términos de las convenciones cartográficas actuales—. El SIG-histórico busca restar esa ambigüedad de sitios espacio temporales a fin de tener una base de datos precisa, de tal forma, que se puedan espacializar y comprender bajo otras perspectivas los fenómenos históricos. Al ser un estudio que ofrece un marco general, es conveniente que estas bases de datos sean utilizadas por futuros trabajos, pues es fundamental vincular ejercicios interdisciplinarios para comprender atributos históricos y unidades espaciales.

Más allá del uso de las herramientas del SIG-histórico, es conveniente una interpretación cartográfica y lectura de fuentes primarias anexas, pues como se mostró, se puede conocer informes de minería, geología y descripciones geográficas a fin de conformar mapas con precisión. Los referentes y patrones encontrados en la cartografía muestran la historia minera de la región, pues es clave como las localidades se concentran en principio por las vetas, posteriormente algunas más dispersas sobre las haciendas, que alcanzan escalas más pequeñas. Se encontraron los elementos que permitieron y que suponen un auge minero como, poblados, haciendas, ranchos,

estancias, caminos, topónimos orográficos (cerros donde se llevaba la explotación minera), cuerpos de agua, ríos, y vías de comunicación.

En conjunto con esta visión espacial, la información de fuentes primarias permitió cotejar los procesos de bonanza, cambios tecnológicos, abandono de minas, periodos bélicos, zonas de intercambio y procesos de poblamiento, en donde hay un punto en común, la actividad minera como medio de articulación y transformación del territorio. Por tanto, el Real de Minas de El Oro y Tlalpujahua fungió como una importante zona de estructuración regional. Permitió la creación de haciendas, dinamizó la economía con el descubrimiento de vetas de oro y plata, atrajo inversión y promovió el desarrollo de infraestructura. Consideramos que se conformó una importante base de datos sobre todos estos elementos,

Se considera que este estudio es una aproximación a lógicas y dinámicas territoriales, sin embargo, planteamos que es un avance necesario y pertinente para reconstrucciones, análisis paisajísticos y territoriales. Lo relevante es la expresión de datos y eventos históricos en un mapa, pues ello, permite analizar la historia regional con sus entidades geográficas.

Referencias

- Almazán, A., y Santiago, P., (2020). "El resurgimiento del fénix", José de la Borda y sus últimas empresas mineras (1767-1778). En Salazar, N., Paniagua, J., Pérez, J., y Arciello, D., (coords.), *"El Jardín de las Hespérides": estudios sobre la plata en Iberoamérica. Siglos XVI al XIX* (pp. 95-109), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aparicio, A., y Poncela, A., (2019). Tlalpujahua, Michoacán. De asentamiento minero a turístico. *URBS. Revista de Estudios Urbanos y Ciencias Sociales*, 9(2), 83-95.
- Álvarez, S. (1999). Colonización agrícola y colonización minera, la región de Chihuahua durante la primera mitad del siglo XVIII. *Relaciones*, 79(20), 29-82.
- Bailey, T., y Schick, J. (2009). Historical GIS: enabling the collision of history and geography. *Social Science Computer Review*, 27(3), 291-296.
- Bakewell, P. (1976). *Minería y sociedad en el México colonial: Zacatecas 1546-1700*, Fondo de Cultura Económica.
- Bakewell, P. (1991). La periodización de la producción minera en el norte de la Nueva España durante la época colonial. *Estudios de historia novohispana*, 10(10), 32-43.

- Blanco, M., y Romero, M. (2000). Los límites institucionales del crecimiento económico. Avances y retrocesos de la política borbónica en el siglo XVIII novohispano. *Investigación económica*, 60(231), 139-179.
- Brading, D. (1975). *Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810)*, Fondo de Cultura Económica.
- Burkart, J. (1866). *Descripción del Distrito de Minas de Tlalpujahua y de su constitución geológica con un mapa anexo*, Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía.
- Carmagnani, M. (1989). El liberalismo, los impuestos internos y el Estado federal mexicano 1857-1911. *Historia Mexicana*, 3(38), 471-496.
- Cattoor, B. (2019). Mapping and Design as Interrelated Processes Constructing Space-Time Narratives. En Coomans, T., Cattoor, B., y De Jonge, K. (eds.), *Mapping Landscapes in Transformation Multidisciplinary Methods for Historical Analysis* (pp. 63-92), Leuven University Press.
- Chloupek, B. (2018). A GIS approach to cultural and historical toponymic research in Nebraska. *Journal of Cultural Geography*, 35(1), 23-43.
- Commons, A. (1989). La minería en Nueva España en el siglo XVIII. *Investigaciones geográficas*, 1(19), 89-103.
- Contreras, C. (1995). Las Ordenanzas de minería de 1783. La polémica entre Gamboa y el Tribunal de Minería. *Revista Historias*, 36, 39-53.
- Corona, P., y Uribe, J. (2009). *Atlas cartográfico del distrito minero El Oro y Tlalpujahua, Morelia Michoacán*, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán.
- DeBats, D., y Gregory, I., (2011). Introduction to historical GIS and the study of urban history. *Social Science History*, 35(4), 455-463.
- Desimini, J. (2019). Cartographic Grounds, The Temporal Cases. En Coomans, T., Cattoor, B., y De Jonge, K. (eds.), *Mapping Landscapes in Transformation Multidisciplinary Methods for Historical Analysis* (pp. 17-43), Leuven University Press.
- Ellian, P., y Gregory, I. (2001). Adding a new dimension to historical research with GIS". *History and Computing*, 13(1), 1-6.

- García, B. (2008). *Las regiones de México. Breviario geográfico e histórico*, El Colegio de México.
- Gavira, M. (2006). Población y producción de plata en el real de minas de Tlalpujahua a mediados del siglo XVIII. *Estudios de Historia Novohispana*, 34(34), 17-45.
- Gerhard, P. (1993). *A guide to the historical geography of New Spain*, University of Oklahoma Press.
- Gil, R. (2012). Tecnología minera en los siglos XVI-XIX: una perspectiva comparada. En Bodemer, K. (coord.), *Cultura, sociedad y democracia en América Latina. Aportes para un debate interdisciplinario* (pp. 305-326), Iberoamericana.
- Gorbea, J. (1968). La arquitectura militar en la Nueva España. *Estudios de Historia Novohispana*, 2(2), 1-29.
- Gregory, I., Kemp, K., y Mostern, R. (2001). Geographical Information and historical research: current progress and future directions. *History and Computing*, 13(1), 7-21.
- Gregory, I. y Healey, R. (2007). Historical GIS: structuring, mapping and analysing geographies of the past. *Progress in Human Geography*, 31(5), 638-653.
- Gregory, I., y Geddes, A., (2014) *Toward spatial humanities: Historical GIS and spatial history*, Indiana University Press.
- Guzmán, C. (2017). Investigación histórica, los SIG y las nuevas posibilidades epistemológicas y metodológicas. En Urquijo, P., Vieyra, A., y Bocco, G. (coords.), *Geografía e historia ambiental* (pp. 193-214), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Harley, B. (1989). Historical geography and the cartographic illusion. *Journal of Historical Geography*, 15(1), 80-91.
- Hausberger, B. (1993). La minería novohispana vista por los libros de carga y data de la Real Hacienda. *Estudios de historia novohispana*, 1(15), 35-66.
- Healey, R., y Stamp, T., (2000). Historical GIS: The spatial turn in social science history. *Social Science history*, 23(3), 575-612.
- Hunter, R., y Sluyter, A. (2011). How incipient colonies create territory: The textual surveys of New Spain, 1520s–1620s. *Journal of Historical Geography*, 37(3), 288-299.
- Hunter, R. (2012). Land use change in New Spain: A three-dimensional historical GIS analysis. *The Professional Geographer*, 66(2), 260-273.

- Jáuregui, L. (1999). *La Real Hacienda de Nueva España, su administración en la época de los intendentes 1786-1821*, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía.
- Lang, M. (1977). *El monopolio estatal de mercurio en el México Colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica.
- Lefebvre, K. (2018). Los procesos de colonización agropecuaria de la región de Acámbaro-Maravatío durante el siglo XVI. *Estudios de Historia Novohispana*, 58, 32-71.
- Levin, N., Kark, R., y Galilee, E. (2010). Maps and the settlement of southern Palestine, 1799–1948: an historical/GIS analysis. *Journal of Historical Geography*, 36(1), 1-18.
- Lois, C. (2015). El mapa, los mapas: Propuestas metodológicas para abordar la pluralidad y la inestabilidad de la imagen cartográfica. *Geograficando*, 11(1), 1-23.
- López, C., y Moncada, O. (2012). Los espacios para la producción como elementos estructuradores del territorio en la región de Valladolid. En De Ita, L., (coord.), *Organización del espacio en el México Colonial: puertos, ciudades y caminos* (pp. 353-388), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- MacDonald, B. y Black, F. (2000). Using GIS for spatial and temporal analyses in print culture studies: Some opportunities and challenges. *Social Science History*, 24(3), 505-536.
- Meléndez, A. (2013). *Real de Minas de El Oro, la ciudad deseada en el plano de Manuel Agustín Mascaró 1786-1803*, Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de México.
- Moncada, O. (2018). La cartografía de los ingenieros militares. Instrumento para el conocimiento del territorio. *Revista de geografía Norte Grande*, 1(69), 9-31.
- Murrieta, P., Favila, M., y Flores, A. (2019). Spatial Humanities 3.0: Qualitative spatial representation and semantic triples as new means of exploration of complex indigenous spatial representations in sixteenth century esarly colonial mexican maps. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 13(1), 53-68.
- Navarro, A. (2023). Construcción de una frontera en el oeste del obispado de Chiapa y Soconusco, 1650-1810. Una aproximación desde los SIG-H. *Revista Geográfica de América Central*, 70(1), 57-90.
- Pelayo, F. (1990) Las actividades mineras de J.C. Mutis y Juan José Elhuyar en Nueva Granada. *Revista de Indias*, 50(189), 455-471.

- Pérez, P. (1991). Los beneficiarios del reformismo borbónico: metrópoli versus élites novohispanas. *Historia mexicana*, 41(2), 207-264.
- Povea, I. (2018). Conflictos y negociaciones. La defensa de los arreglos laborales tradicionales por parte de los trabajadores mineros de Nueva España, segunda mitad del siglo XVIII. *Tiempos modernos*, 37(2), 234-257.
- Propin, E., y Sánchez, Á., (2001). Características básicas de la estructura territorial de la economía mexicana. *Investigaciones Geográficas*, 46, 148-163.
- Sariego, J. (1994). Minería y territorio en México: tres modelos históricos de implantación socioespacial. *Estudios demográficos y urbanos*, 9(2), 327-337.
- Schindling, J., y Harris, T., (2018). Deepening Historical GIS: An Integrated Database Solution for Linking People, Place and Events through Unstructured Text. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 12(2), 120-137.
- Schleiden, E. (1856). *Informe de la mina de San Buenaventura en Tlalpujahua*.
- Sluyter, A. (1999). The making of the myth in postcolonial development: materialconceptual landscape transformation in sixteenth-century Veracruz. *Annals of the Association of American Geographers*, 89(3), 377-401.
- Stangl, W. (2019). A Matter of Scales: Understanding Spatial Patterns of Colonial Spanish America's Silver Mining in the Digital Age. En Pieper, R., Lozanne C., y Denzel, M. (eds.), *Mining, Money and Markets in the Early Modern Atlantic Digital Approaches and New Perspectives* (pp. 87-126), Palgrave Studies in Economic History.
- Suter, M. (2016). Early 19th century geologic studies of the Zimapán region, central Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(2), 215-230.
- Rojas, I. (2008). El estudio histórico de la cartografía. *Takwá, Revista de historia*, 1(13), 11-32.
- Rumsey, D., y Williams, M. (2002). Historical Maps in GIS. En Knowles, A. (coord.) *Past time, past place: GIS for History* (pp. 1-18), ESRI Press.
- Uribe, J. (2001). Economía y mercado en la minería tradicional mexicana, 1873- 1929. *Revista de Indias*, 61(222), 267-290.
- Uribe, J. (2005). Los minerales de el oro y Tlalpujahua en el concierto internacional de los siglos XIX Y XX. *Economía y Sociedad*, 10(15), 169-184.

- Uribe, J. (2009). *Historia económica y social de la Compañía y Cooperativa Minera Las Dos Estrellas, en El Oro y Tlalpujahua, 1898-1959*, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- Uribe, J. (2014). La plata en el mineral de Tlalpujahua a través de los estudios geológico-mineros de Joseph Burkart y Teodoro Flores Reyes, 1869-1920. En Vasconcelos, G., Paniagua, J., y Salazar, N. (coords.), *Áurea quersoneso: estudios sobre la plata iberoamericana: siglos XVI-XIX* (pp. 73-88), México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Tamayo, J. (1943). La minería de Nueva España en 1794. *El trimestre económico*, 10(38), 287-319.
- Trabulse, E. (1981). Aspectos de la tecnología minera en Nueva España a finales del siglo XVIII. *Historia mexicana*, 119(3), 311-357.
- Tucci, M., Ronza, R., y Giordano, A., (2011). Fragments from many pasts: Layering the toponymic tapestry of Milan. *Journal of Historical Geography*, 37(3), 370-384.
- Velasco, C. (1987). Política borbónica y minería en Nueva España, 1766-1810. *Historias. Revista de la Dirección de Estudios Históricos del INAH*, 1(30), 89-113.
- Viales, R. (2010). La región como construcción social, espacial, política, histórica y subjetiva. Hacia un modelo conceptual/relacional de historia regional en América Latina, *Geopolítica(s) Revista de estudios sobre espacio y poder*, 1(1), 157-172.
- Zohar, M. (2019). Follow the road: historical GIS for evaluating the development of routes in the Negev region during the twentieth century. *Cartography and Geographic Information Science*, 46(6), 532-546.

Zonificación de amenaza por deslizamientos de la cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Threat zoning due to landslides in the Arroyo Sabinal basin, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Ana Judith De Coss Pérez¹

Horacio Morales Iglesias²

Resumen

Los deslizamientos de laderas se consideran una amenaza natural en el territorio mexicano, debido a que representan un riesgo para la sociedad, las actividades económicas y la infraestructura. El objetivo del presente estudio es realizar un análisis de zonificación de amenaza a movimientos de laderas de los paisajes físico-geográficos de la cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a escala 1: 50000. Para ello, se realizó un cruce de información con la cartografía de susceptibilidad y los datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI (2020). Los resultados arrojaron que el 39.59% de la población total (35,475 personas) y el 39.10% de las viviendas (9,441 casas) expuestas a un grado de amenaza alta y muy alta a deslizamientos, se ubican en paisajes de lomeríos y piedemonte tectónico-kársticos y fluvio-torrenciales en clima cálido subhúmedo. Por tanto, son quienes sufrirían las afectaciones directas en caso de que ocurra un movimiento de laderas. La información obtenida puede ser de utilidad para las autoridades encargadas de la prevención de desastres ante este tipo de eventos, debido a que los resultados indican de manera precisa las áreas con niveles altos de amenaza.

Palabras clave: amenaza; deslizamientos; paisajes, arroyo Sabinal

Abstract

¹ Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
E-mail: anajudith.decos@gmail.com
² Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
Email: horacio.morales@unicach.mx

Hillside landslides are considered a natural threat in Mexican territory, because they represent a risk to society, economic activities and infrastructure. The objective of the present study is to carry out a zoning analysis of the threat to slope movements of the physical-geographic landscapes of the Arroyo Sabinal basin, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, at a scale of 1: 250,000. For this, a cross-referencing of information was carried out with susceptibility mapping and data from the INEGI Population and Housing Census (2020). The results showed that 39.59% of the total population (35,475 people) and 39.10% of the homes (9,441 houses) that are exposed to a high and very high degree of threat to landslides, are located in landscapes of hills and tectonic foothills. -karst and fluvio-torrential in warm subhumid climate. Therefore, they are the ones who would suffer the direct effects if a slope movement occurs. The information obtained can be useful for the authorities in charge of disaster prevention in the event of this type of event, because the results accurately indicate the areas with high threat levels.

Keywords: threat; landslide; landscapes; arroyo Sabinal

1. Introducción

El aumento acelerado de las ciudades a nivel mundial ha alterado de manera negativa el entorno físico, por la expansión de las zonas urbanas que se dirigen a áreas donde el terreno es inestable, por tanto, no es apto para obras de construcción, sino que propicia la presencia de deslizamientos (Oliva-González et al., 2019 & Azarafza et al., 2021). El cual se considera uno de los peligros catastróficos que más ocasionan daños a la población y sus bienes materiales (Muñoz et al., 2014). Debido a que provoca pérdidas de vidas humanas y económicas por las afectaciones a la infraestructura (Mujica & Pacheco, 2013 & Segoni et al., 2018).

México está conformado por relieves montañosos que contribuyen a la ocurrencia de deslizamientos (Borja-Baeza & Alcántara-Ayala, 2004). Además de las intensas lluvias e incontroladas actividades antrópicas como la deforestación y el cambio de uso de suelo especialmente, lo que ocasiona afectaciones a la población e infraestructura expuestos a una amenaza de movimientos de laderas (Domínguez-Morales & De León-Escobedo, 2021). Es por ello, la importancia de tener un conocimiento previo sobre los posibles daños que podrían provocar este tipo de fenómenos (Cardona-Arboleda et al., 2020).

En las últimas décadas, los estudios sobre zonificación de deslizamientos se han realizado con el método de álgebra de mapas, lo que han permitido identificar las áreas propensas a este tipo de eventos. Sin embargo, muy pocas veces consideran a la población expuesta a algún grado de amenaza a movimientos de laderas (Esquivel et al., 2019). Por ello, este estudio proporciona una evaluación detallada de amenaza de deslizamientos en la CAS, al ofrecer una zonificación con perspectiva geoecológica, donde se considera a la población y viviendas en paisajes con niveles altos de amenaza. Para el caso específico del Cerro Mactumatzá ubicado en el extremo noreste de la cuenca se tiene registro de tres eventos de remoción en masa, además presenta niveles de susceptibilidad de media a muy alta (Paz-Tenorio, et al., 2017).

La poca planeación y ordenamiento territorial que se tiene en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, aunado a la autorización de asentamientos humanos y obras civiles en áreas inestables tienen consecuencias directamente a la población. Esto se puede observar en los daños parciales o totales en la infraestructura de: vías de comunicación, muros, techos, pisos, parques, estacionamientos, sistema de agua potable, drenaje, entre otros (Paz-Tenorio, et al., 2011). Por lo que, es importante que los habitantes que se encuentren en zonas peligrosas a movimientos de laderas tengan conocimiento del riesgo que corren ante la ocurrencia de este tipo de eventos (Cardona-Arboleda, 2008).

Debido al incremento demográfico que se lleva a cabo actualmente en Tuxtla Gutiérrez, es necesario que se cuenten con normas adecuadas para las construcciones (Paz-Tenorio, et al., 2017), con la finalidad de prevenir y reducir desastres futuros por deslizamientos (Montoya-Montes, et al., 2012). En este sentido, es importante tener una zonificación de amenaza por deslizamientos de la cuenca Arroyo Sabinal (CAS), en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, debido a que es constituida por relieves montañosos, donde actualmente se expande la zona urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y se establecen las comunidades rurales.

Con base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación es conocer cuanta población e infraestructura de viviendas se encuentran en algún grado de amenaza a deslizamientos en los paisajes físico-geográficos de la cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas donde actualmente se expande la zona urbana de la ciudad. Con la finalidad de contribuir a la toma de

decisiones en el ordenamiento territorial y la gestión de riesgos, de tal forma que se puedan prevenir desastres por movimientos de laderas.

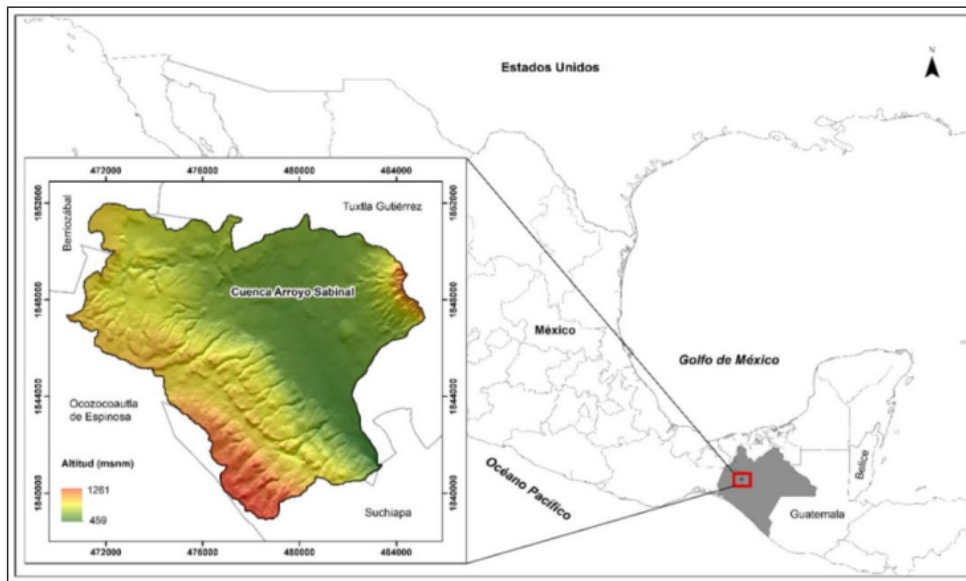
Los resultados permitieron identificar ⁴ que 35,475 habitantes que representa el 39,59 % de la población total y 9441 viviendas que corresponde al 39,10 % de la misma, se sitúan en paisajes de lomeríos y piedemonte tectónico-kársticos y fluvio-torrenciales en clima cálido subhúmedo con altos grados de amenaza a deslizamientos. Por tanto, en caso de que se presente este evento, los daños serían principalmente para los que residen en la ⁹⁸ cuenca.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La Cuenca del Arroyo Sabinal se ubica al sureste de México en el estado de Chiapas y cubre un área de aproximadamente 109,14 km². Abarca los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Ocozocoautla de Espinosa, Suchiapa y Berriozábal. ⁴ Limita al norte, con la zona urbana de Tuxtla Gutiérrez; al este, con la Meseta de Copoya; al sur, con Suchiapa; al oeste, con Ocozocoautla de Espinosa; y al noroeste, con Berriozábal. Sus coordenadas geográficas extremas son: 16° 37' 57,7" y 16° 45' 2,1" de latitud norte y 93° 8' 20,92" y 93° 16' 40,1" de longitud oeste (Figura 1). En la cuenca reside una población de 48843 habitantes, distribuidas en la zona urbana y en 46 localidades rurales (INEGI, 2020).

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019. Elaboración propia.

El clima es cálido subhúmedo con temperatura media anual mayor a 22 °C, precipitaciones que oscilan entre 0 a 60 mm con lluvias en verano. Está formada por calizas bioclásticas, lutitas-areniscas, calizas-areniscas y lutitas, calizas arrecifales, derrubios y calizas-areniscas (INEGI, 1985; Ruíz, 2014); los suelos corresponden a Vertisoles, Regosoles, Litosoles y Rendzinas (INEGI, 1985); sobre los cuales se desarrollan selvas bajas caducifolias, áreas agrícolas, zona urbana, pastizales y áreas desprovistas de vegetación.

2.2 Zonificación de amenaza

En la presente investigación, para hacer el análisis de zonificación de amenaza a deslizamientos, se utilizó como base la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos de la cuenca Arroyo Sabinal a escala 1:50 000 (De Coss-Pérez, 2024), el cual fue elaborado a partir del análisis de unidades de paisajes físico-geográficos de la CAS, con el método de Mora-Vahrson (1994) modificada. Para la cuenca se obtuvo cinco grados de susceptibilidad (Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy alta).

Para conocer la cantidad de población e infraestructura de viviendas que residen dentro en los paisajes de la cuenca, se realizó la compilación, sistematización y análisis de las bases de datos del Censo de Población y Vivienda del INEGI (2020).

Para la cuantificación de la población e infraestructura expuestas en un grado de amenaza a deslizamientos de los paisajes de la CAS, que son quienes están propensos a sufrir afectaciones por este tipo de evento, se hizo una superposición cartográfica de la susceptibilidad a movimientos de laderas con información de población e infraestructura de viviendas del INEGI (2020) a través del software ArcMap 10.1. Para esto, se asignó a cada localidad y a cada manzana un nivel predominante de susceptibilidad y se verificó el número de viviendas y habitantes. Cabe señalar que los límites de susceptibilidad a deslizamientos u otro fenómeno natural no siempre coinciden con los límites de las áreas urbanas, como las manzanas (Ordaz Hernández et al., 2019).

Se realizó trabajo de campo para verificar la hipótesis cartográfica de amenaza a deslizamientos y la información de población y viviendas del INEGI. Se visitaron 11 sitios estratégicos dentro de la cuenca, donde se recabó una serie de datos (coordenadas, altitud, características físicas y presencia de establecimientos humanos).

3. Resultados

Los resultados arrojaron que la cuenca presenta cinco grados de amenaza a deslizamientos que son: muy baja, baja, media, alta y muy alta, donde actualmente habitan 48843 personas en 13276 hogares. Con la información obtenida del Censo de Población y Vivienda del INEGI (2020) y la cartografía de susceptibilidad a deslizamientos, se conoció la cantidad de habitantes y el número de viviendas totales que se encuentran establecidas en los paisajes con algún nivel de amenaza a deslizamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Zonificación de amenaza a deslizamientos en la cuenca. Tabla 1.

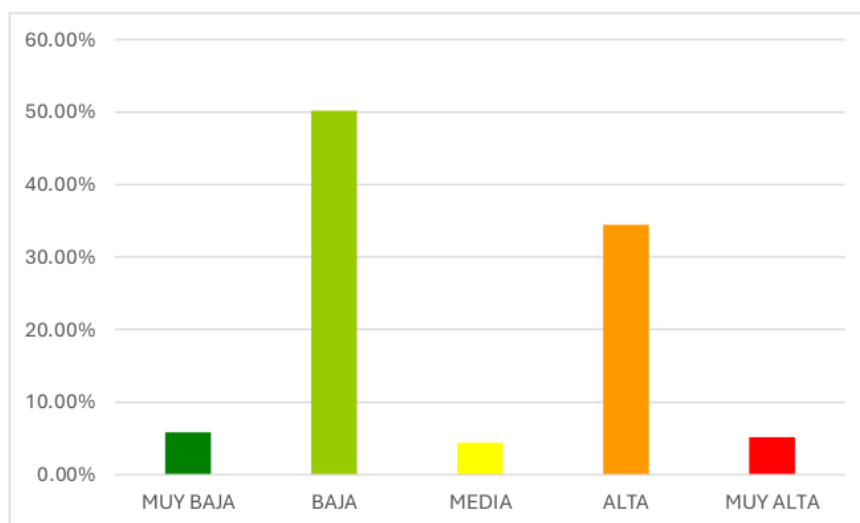
GRADO DE AMENAZA	NÚMERO DE HABITANTES	Número de viviendas
Muy Baja	2846	845

Baja	24508	6684
Media	2144	572
Alta	16824	4521
Muy Alta	2521	654
Total	48843	13276

Fuente: INEGI (2020). Elaboración propia.

Con respecto al análisis de zonificación de amenaza a deslizamientos, se obtuvo que la mayor parte de la población que habita en la cuenca correspondiente al 50,18 %, se encuentran en paisajes con un grado de amenaza baja; el 34,45 % de los habitantes totales están en geocomplejos con una categoría alta; mientras que el menor porcentaje de las personas de la cuenca se sitúan en geosistemas con una clase muy alta, muy baja y media con 5,16 %, 5,83 % y 4,39 % respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Población expuesta a amenaza por deslizamientos.

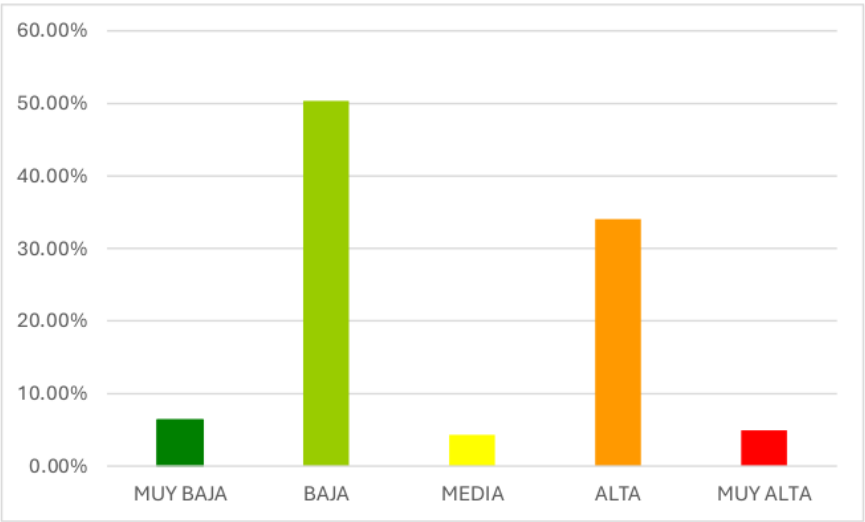


Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los datos de infraestructura de viviendas, se tiene que el 50,35 % del total se encuentran en paisajes con un grado de amenaza a deslizamientos baja; el 34,05 % en geosistemas con una

clase alta; en menor porcentaje con 6,36 %, 4,93 % y 4,31 % se ubican en geocomplejos con una clase de amenaza muy baja, muy alta y media respectivamente (Figura 3).

Figura 3. Viviendas expuestas a amenaza por deslizamientos.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos disponibles de población y vivienda se obtuvo información específica a nivel de manzana para la zona urbana (Tabla 2) y a nivel de localidades rurales (Tabla 3). Para ambos casos, la mayor parte de personas y hogares en la cuenca se encuentran en paisajes con una categoría de amenaza a deslizamientos baja y alta; mientras que la menor parte de los habitantes y sus viviendas están en paisajes con una clase de amenaza muy alta, media y muy baja.

4
Tabla 2. Zonificación de la cuenca a nivel de manzanas. Fuente: INEGI (2020).

GRADO DE AMENAZA	NÚMERO DE HABITANTES	NÚMERO DE VIVIENDAS
Muy Baja	2814	835
Baja	23106	6291
Media	1946	508
Alta	15444	4185

Muy Alta	2515	653
Total	45825	12472

Fuente: INEGI (2020). Elaboración propia.

4
Tabla 3. Zonificación de la cuenca a nivel de localidades. Fuente: INEGI (2020).

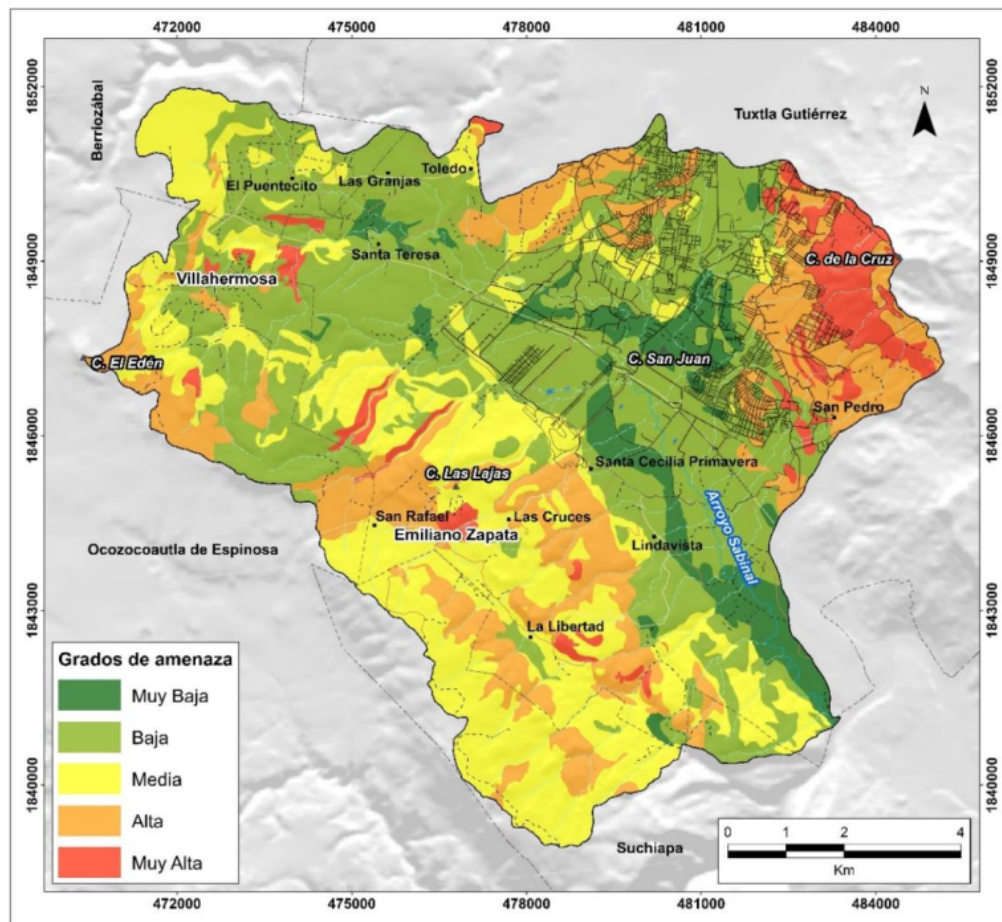
GRADO DE AMENAZA	LOCALIDADES	NÚMERO DE HABITANTES	NÚMERO DE VIVIENDAS
Muy Baja	Las Ciriás	32	10
Baja	El Potrillo, El Puentecito, El Vergel de Jazmín, Esquipulas, La Florida, Las Flores, Las Granjas, Lindavista, Los Girasoles, Pedregal Santa Cruz, Quinta Florecita, San Rafael la Ciriá, Santa Cecilia Primavera, Santa Teresa, Santo Domingo Huexa, Villahermosa	1402	393
Media	Chulavista, Colinas de Getsemaní, El Brasil, El Limón, Florita, La Esperanza, La Libertad, Las Arboledas, Las Cruces, Rizo de Oro, Sagrado Corazón de Jesús, San Juan, San Rafael, Toledo, Unión Familiar	198	64
Alta	Chulavista, El Coyolito, El Gran Chaparral, El Paraíso, El Peñasco II, El Señor de Tila, Emiliano Zapata, Las Murallas, Peñasco Zapata, San José, San Juan de las Pozas, San Pedro	1380	336
Muy Alta	Santa Julia	6	1

Total	3018	804
-------	------	-----

Fuente: INEGI (2020). Elaboración propia.

Los resultados muestran que la población que se encuentra expuesta en un grado de amenaza alta y muy alta a deslizamientos se ubican principalmente en paisajes de lomeríos y piedemonte tectónico-kársticos y fluvio-torrenciales en clima cálido subhúmedo; mientras que los habitantes expuestos a una categoría de amenaza de media a muy baja se encuentran en planicies y lomeríos tectónico-acumulativas y tectónico-kársticos en clima cálido-subhúmedo (Figura 4).

Figura 4. Zonificación de amenaza a deslizamientos.

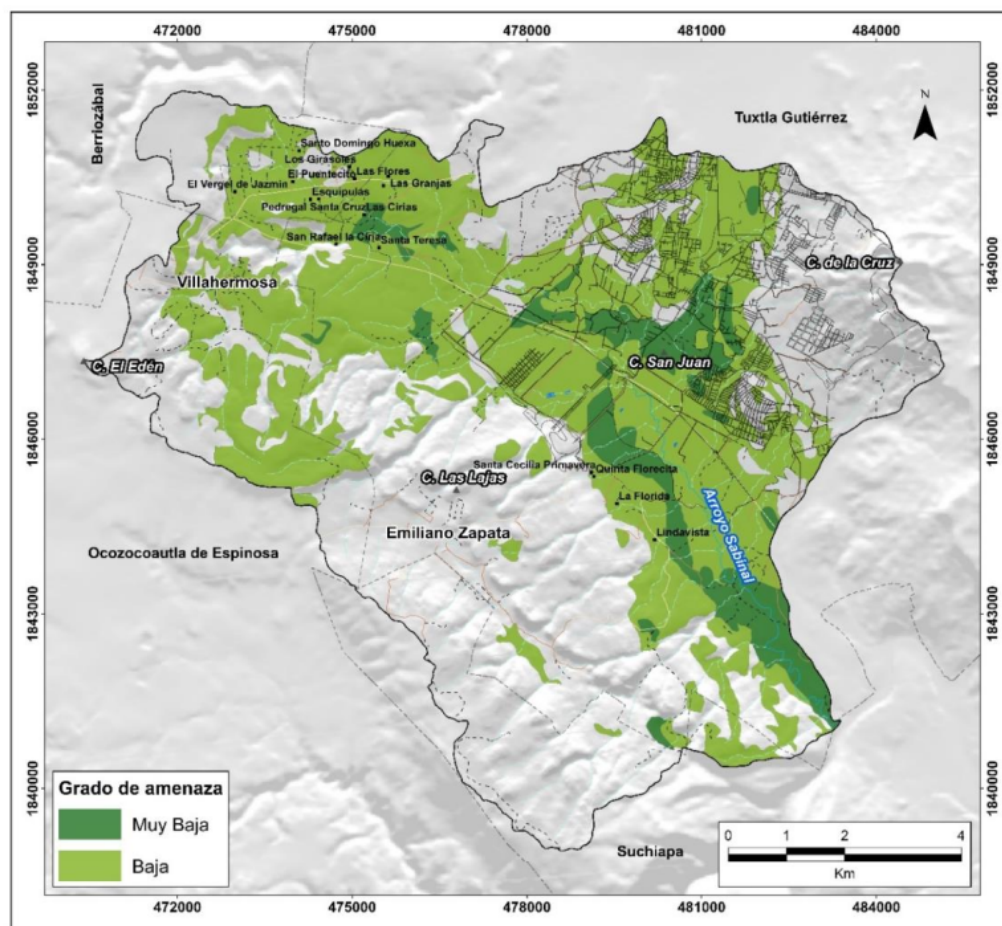


Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que en un grado de amenaza muy baja se encuentran establecidos 2846 (5.83 %) habitantes y 845 (6.36 %) viviendas. De estas, 2814 personas y 835 casas habitación corresponden a la zona urbana y 32 habitantes en 10 viviendas a la localidad Las Ciria (Figura 5). Estos se sitúan en paisajes de planicies, piedemonte y lomeríos tectónico-acumulativas, tectónico-kársticos y fluvio-torrenciales en clima cálido subhúmedo; debido a sus peculiaridades de poca inclinación, tipo de roca, tipo de suelo y uso del suelo, no presentan un peligro a deslizamientos para los habitantes y sus bienes materiales.

En la clase de amenaza baja, se encuentra la mitad de la población con 24508 (50,18 %) personas y 6684 (50,35 %) viviendas. Donde 23106 personas y 6291 casas habitación se encuentran en la zona urbana, y 1402 habitantes en 393 viviendas en las localidades: El Potrillo, El Puentequito, El Vergel de Jazmín, Esquipulas, La Florida, Las Flores, Las Granjas, Lindavista, Los Girasoles, Pedregal Santa Cruz, Quinta Florecita, San Rafael la Ciria, Santa Cecilia Primavera, Santa Teresa, Santo Domingo Huexa, Villahermosa. Mismas que se encuentran en geocomplejos de planicies, lomeríos y piedemonte tectónico-kársticos, tectónico-acumulativas y fluvio torrenciales, en clima cálido subhúmedo. Estos paisajes no representan una amenaza para la población y viviendas, debido a sus características de pendiente poco pronunciada, la litología, el tipo de suelo y el uso de suelo que presentan (Figura 5).

Figura 5. Grado de amenaza Muy Baja y Baja.

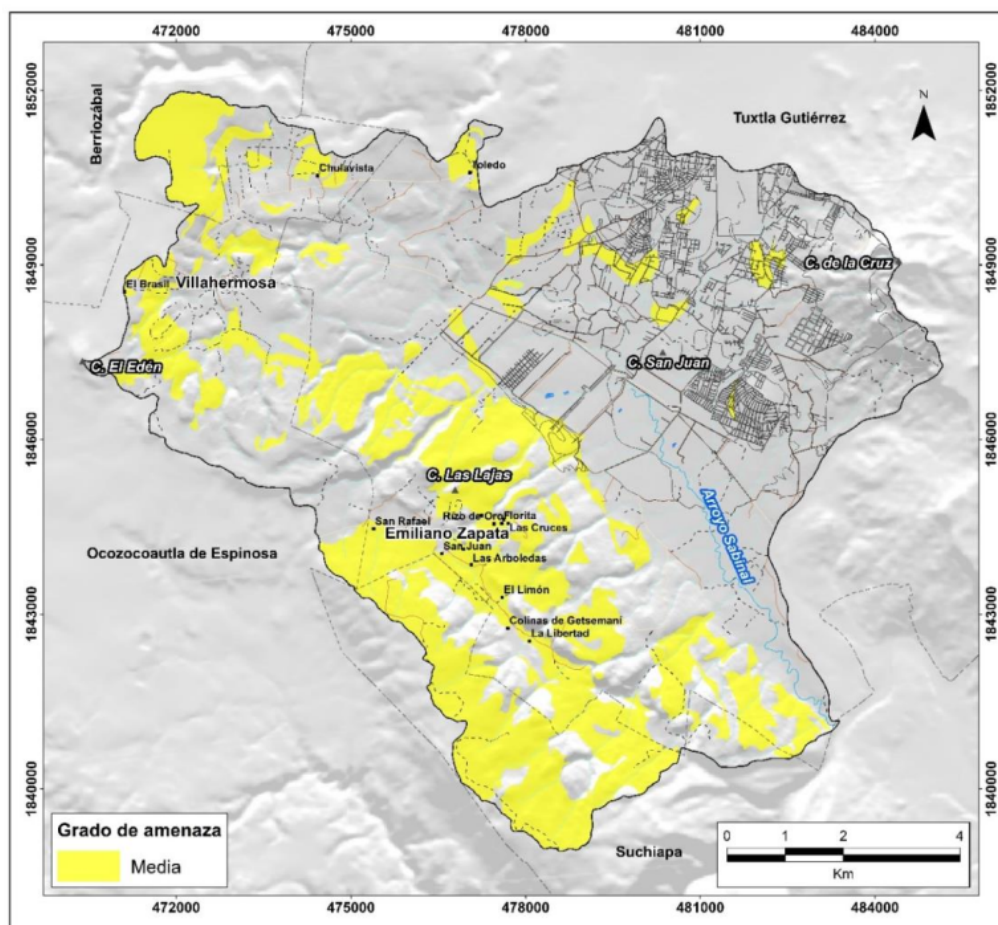


Fuente: Elaboración propia.

En la categoría de amenaza media se encuentra un total de 2144 (4,39 %) habitantes en 572 (4,31 %) viviendas. De estas 1946 personas y 508 casas se encuentran en la zona urbana, y 198 habitantes en 64 viviendas en las localidades: Chulavista, Colinas de Getsemaní, El Brasil, El Limón, Florita, La Esperanza, La Libertad, Las Arboledas, Las Cruces, Rizo de Oro, Sagrado Corazón de Jesús, San Juan, San Rafael, Toledo, Unión Familiar. Los cuales están situados en paisajes de lomeríos, planicies, montañas, valles y piedemonte tectónico-kársticos, tectónico-acumulativos y fluvio-torrenciales en clima cálido subhúmedo.

Las condiciones naturales de estos paisajes como la inclinación del terreno, la litología, el tipo de suelo y uso de suelo aumentan la probabilidad de ocurrencia a deslizamientos, lo que representa una amenaza para la población e infraestructura de viviendas establecidas en estos geocomplejos (Figura 6).

Figura 6. Grado de amenaza Media



Fuente: Elaboración propia.

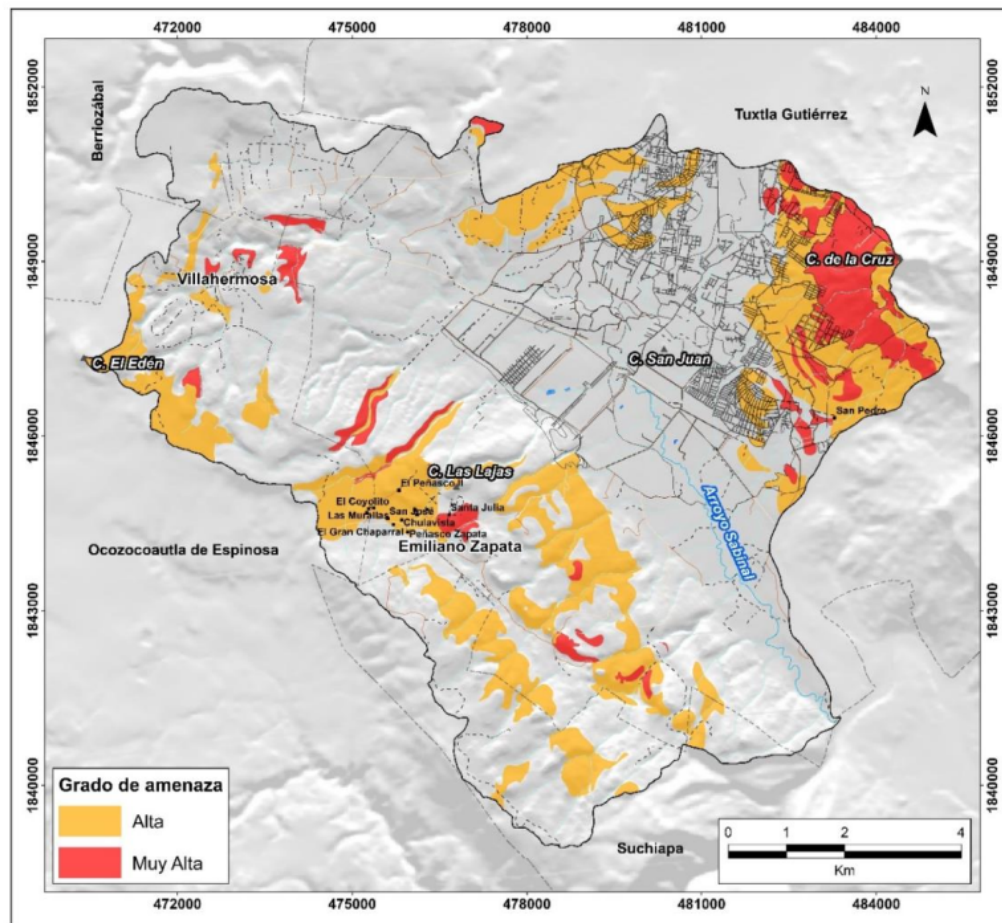
En un grado de amenaza alta habita una población total de 16824 personas (34,45 %) en 4521 viviendas (34,05 %). De las cuales, 15444 habitantes en 4185 casas habitación corresponden a la zona urbana; mientras que 1380 habitantes y 336 viviendas en las localidades: Chulavista, El

Coyolito, El Gran Chaparral, El Paraíso, El Peñasco II, El Señor de Tila, Emiliano Zapata, Las Murallas, Peñasco Zapata, San José, San Juan de las Pozas, San Pedro (Figura 7).

Esta población y viviendas se encuentran en los geocomplejos de piedemonte, ⁴planicies, montañas y valles fluvio-torrenciales, tectónico-kársticos y tectónico-acumulativos en clima cálido-subhúmedo; los cuales cumplen con las condiciones naturales como la pendiente pronunciada, la litología, el tipo de suelo y el uso de suelo que propician la presencia de movimientos de laderas. Por lo que, representa una amenaza para la sociedad y sus bienes materiales y en caso de que ocurra un deslizamiento, quienes sufrirían las afectaciones directas son las 16824 personas y sus 4521 viviendas. Lo que puede provocar pérdidas económicas y posibles víctimas, así como gastos para el gobierno ante una emergencia.

En una clase de amenaza muy alta se encuentran establecidos 2521 personas (5,16 %) y 654 casas habitación (4,93 %). Donde 2515 habitantes y sus 653 viviendas pertenecen a ⁴la zona urbana y seis habitantes en una vivienda a la localidad de Santa Julia (Figura 7). Mismas que están en paisajes de piedemonte, lomeríos y montañas fluvio-torrenciales y tectónico-kársticos en clima en clima cálido subhúmedo. Estos geocomplejos representan un peligro para la población y sus bienes materiales, debido a sus características tales como: la inclinación del terreno, la litología, el tipo de suelo y el uso de suelo, que son factores representativos para que pueda potencializarse un movimiento de laderas. Por tanto, los afectados serían las 2521 personas y 654 viviendas. Lo que representaría gastos económicos por parte de las autoridades encargadas en caso de que se presente un deslizamiento.

Figura 7. Grado de amenaza Alta y Muy Alta.



Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

El análisis de la presente investigación permitió conocer de manera general cuanta población y vivienda se encuentra expuesta en un grado de amenaza a deslizamientos; sin embargo, se debe tener cuidado con el uso de la información obtenida, debido a que el mapa base de amenaza se encuentra a escala 1:50000, que, a pesar de ser una escala a detalle, se puede hacer un análisis más fino a escalas mayores.

Según los resultados, se considera que el uso del territorio sigue una lógica, en cuanto a los paisajes con un grado de amenaza baja que tienen fácil accesibilidad, baja energía del relieve, poca

pendiente, así como condiciones litológicas y edáficas, que permiten el uso de suelo agrícola y urbano, donde se encuentra la mitad de la población total de la cuenca y una de las principales vías de comunicación que es el libramiento sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Al igual que los geocomplejos mencionados anteriormente, los que se encuentran en una categoría de amenaza muy baja tiene las peculiaridades de accesibilidad, pendiente, tipo de roca y de suelo para los asentamientos humanos y el desarrollo de sus actividades; en estos se encuentran un porcentaje bajo de habitantes en la cuenca. Por lo que, se podrían hacer los estudios pertinentes y considerarlos para el uso de suelo urbano.

De igual forma, los paisajes con categoría de amenaza muy alta guardan una relación con el uso del suelo, que, debido a las condiciones de difícil accesibilidad, relieve con alta energía y mayor inclinación del terreno permiten la presencia de selvas y no favorecen el desarrollo urbano, sin embargo, en estos geocomplejos ya existe la presencia de un porcentaje bajo de habitantes en la cuenca. Por tanto, es de vital importancia poder considerar estos resultados obtenidos en la planeación del uso del suelo para evitar los asentamientos humanos en estos geocomplejos y evitar futuros desastres.

Algo relevante a mencionar en este estudio es que los geocomplejos con niveles de amenaza alta, que son de menor accesibilidad, alta energía de relieve y con inclinación pronunciada es donde se asienta la tercera parte de la población total de la cuenca. A pesar de que las condiciones no son óptimas para el desarrollo urbano o establecimiento de las localidades rurales, ya son ocupados por estos mismos. Además, la expansión de la zona urbana se dirige a estos geosistemas con categoría alta de amenaza, lo que implica la deforestación de las selvas y propicia la inestabilidad del terreno. Por lo que, las autoridades encargadas del ordenamiento territorial deben tomar en cuenta esta situación, para prevenir futuros desastres por deslizamientos.

Los geosistemas con una categoría de amenaza media juegan un papel importante desde el punto de vista de riesgos, debido a que la accesibilidad es moderada y a pesar de que la pendiente es un poco más elevada, se encuentra un bajo porcentaje de personas habitando en estos paisajes. Por tanto, es importante tomar en cuenta estos datos en el ordenamiento del territorio, para evitar el aumento de los asentamientos humanos en estos paisajes.

Finalmente, estos resultados guardan relación con el trabajo elaborado por Ordaz-Hernández, et al. (2019), sin embargo, es importante recalcar que en ese estudio a cada manzana se le asignó el grado de susceptibilidad predominante en su perímetro, por lo que pierden pequeños píxeles de otras categorías de susceptibilidad a su interior. En cambio, la presente investigación, considera la cantidad de población y vivienda en cada paisaje, respetando su límite de manera natural y no pierde información en cuando al grado de amenaza en el que se encuentran.

5. Conclusiones

El análisis realizado permitió conocer que 19345 habitantes que corresponde al 39,61 % del total de la población y 5175 viviendas que representa el 38,98 % están establecidos en paisajes de piedemonte y lomeríos fluvio-torrenciales y tectónico-kársticos en clima cálido subhúmedo; los cuales presentan un grado de amenaza a deslizamientos alta y muy alta. Estos geocomplejos son los que requieren de principal atención, debido a que alberga una cantidad considerable de personas y de viviendas principalmente en la zona urbana, quienes serían los afectados en caso de que ocurra un movimiento de laderas.

El 64,4 % de la población total de la cuenca y el 61,02 % de las viviendas totales, se encuentran en un grado de amenaza muy baja a media; los cuáles se establecen principalmente en los geocomplejos de planicies y en menor proporción en lomeríos tectónico-acumulativas y tectónico-kársticos en clima cálida subhúmedo. En estos paisajes se pueden llevar a cabo acciones de prevención y/o mitigación ante la ocurrencia de deslizamientos, así como en la elaboración de rutas de evacuación e identificación de centros de emergencia en caso de que en los geosistemas aledaños se llegara a presentarse un movimiento de laderas.

El análisis realizado en la presente investigación puede ser de utilidad para las instituciones y autoridades encargadas de la planeación y ordenamiento territorial, para salvaguardar a la población ante desastres de deslizamientos, debido a que proporciona información relevante acerca del impacto actual y futuro de los deslizamientos en la calidad de vida de las personas que habitan en la cuenca, además como brinda las bases para la propuesta de estrategias de prevención y/o mitigación ante este tipo de eventos. Esto es de suma importancia, porque actualmente la zona urbana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez se extiende hacia los paisajes con altos grados de amenaza a deslizamientos, principalmente en los piedemontes del Cerro Mactumatzá.

Es de suma importancia difundir este tipo de estudios a nivel local, principalmente a la población que se encuentre en paisajes con altos grados de amenaza a deslizamientos, para que tengan conocimiento de que están en una zona de riesgo y son quienes sufrirían las consecuencias ante la ocurrencia de un movimiento de laderas. De esta forma las autoridades puedan realizar rutas de evacuación, así como la identificación de los puntos de reunión en casa de una emergencia.

Bibliografía

- Azarafza, M., Akgun, H., Atkinson, P.M. & Derakhshani, R. (2021). Deep learning-based landslide susceptibility mapping. *Scientific reports. Nature portfolio*. doi:10.1038/s41598-021-03585-1
- Borja Baeza, R. C. & Alcántara Ayala, I. (2004). Procesos de remoción en masa y riesgos asociados en Zacapoaxtla, Puebla. *Investigaciones Geográficas*. Pp. 7-26. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905302>
- Cardona Arboleda, O.D., M.L. Carreno Tibaduiza, K.C. Mendes Arraiol, I. Alcantara-Ayala & S.M. Saito. (2020). Inestabilidad de laderas - deslizamientos. En: *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT*. pp. Recuperado de 419-458, ISBN: 9788448621643.
- Cardona Arboleda, O. D. (2008). Medición de la gestión del riesgo en América Latina. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*.
- De Coss-Pérez, A. J. (2024). *Paisajes físico-geográficos de la cuenca Arroyo Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas* (Tesis de maestría). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Domínguez Morales, L. & De León Escobedo, D. (2021). Comunidades amenazadas por deslizamiento de laderas. *Ciencia*. Volumen 72. Número 4.
- Montoya-Montes, I., Rodríguez-Santalla, I., Sánchez-García, M. J., Alcantara Carrio, J., Gómez-Ortiz, D. & Martín Crespo, T. (2012). Mapping of landslide susceptibility of coastal cliffs: the Mont-Roig del Camp case study. *Geologica Acta*. Pp- 439.455. 10.1344/105.000001776.
- Mujica, S. & Pacheco, H. (2013). Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río Camurí Grande, estado

- Vargas, Venezuela. *Revista de Investigación*, vol. 37, núm. 80. Pp. 215-243.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140395009>
- Muñoz, E., Martínez-Carvajal, H., Arévalo, J., & Alvira, D. (2014). Quantification of the effect of precipitation as a triggering factor for landslides on the surroundings of Medellín. pp. 115-121.
- Oliva González, A.O., Ruiz-Pozo, A. F., Gallardo-Amaya, R. J. & Jaramillo. H. Y. (2019). Landslide risk assessment in slopes and hillsides. Methodology and application in a real case. *DYNA*. Pp. 143-152. doi:10.15446/dyna.v86n208.72341
- Ordaz Hernández, A., Esquivel Arzate, R. K., Hernández Santana, J. R. & Cabadas Báez, H. V. (2019). Susceptibilidad a desprendimientos de rocas en la urbanización La Teresona-Zopilocalco Norte, Toluca: premisas para el desarrollo comunitario. *Investigaciones Geográficas*. Recuperado de www.investigacionesgeograficas.unam.mx
- Paz Tenorio, J. A., González Herrera, R., Gómez Ramírez, M. & Velasco Herrera, J. A. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*. Núm. 92. Pp. 1-16. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56950566011>
- Paz Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M. González Herrera, R. & Domínguez Salazar, F. F. (2011). Los procesos de remoción en masa; génesis, limitaciones y efectos en el crecimiento urbano de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*. Pp 1-18. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820602>
- Segoni, S., Piciullo L. & Luigi Gariano, S. (2018). A review of the recent literature on rainfall thresholds for landslide occurrence. *Review paper*. doi: 10.1007/s10346-018-0966-4

ANÁLISIS ESPACIAL: APLICACIONES Y RETOS PARA EL FUTURO

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.iaen.edu.ec Internet	4229 palabras — 7%
2	c2c289d6-ddc5-4b0f-90aa-cac9db49d347.filesusr.com Internet	886 palabras — 1%
3	www.gesig-proeg.com.ar Internet	827 palabras — 1%
4	repositorio.unicach.mx Internet	569 palabras — 1%
5	revistaderechoeconomico.uchile.cl Internet	569 palabras — 1%
6	José Antonio Vieyra Medrano, Mónica Mariscal González, Rodolfo Montaña Salazar, Bernd Pfannenstein et al. "Expansión del periurbano y conformación de territorios desiguales", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2020 Crossref	467 palabras — 1%
7	www.redsocialesunlu.net Internet	367 palabras — 1%
8	repositorio.puce.edu.ec	

306 palabras — < 1%

9 repositoriodigital.uns.edu.ar
Internet

262 palabras — < 1%

10 fronteranorte.colef.mx
Internet

247 palabras — < 1%

11 docplayer.es
Internet

191 palabras — < 1%

12 hdl.handle.net
Internet

189 palabras — < 1%

13 ouci.dntb.gov.ua
Internet

187 palabras — < 1%

14 docs.wixstatic.com
Internet

182 palabras — < 1%

15 ri.uaemex.mx
Internet

172 palabras — < 1%

16 www.researchgate.net
Internet

166 palabras — < 1%

17 revistas.unal.edu.co
Internet

142 palabras — < 1%

18 gesig-proeg.com.ar
Internet

139 palabras — < 1%

19 revistavivienda.cuaad.udg.mx
Internet

136 palabras — < 1%

20 core.ac.uk

99 palabras — < 1%

21 www.scielo.org.mx
Internet

91 palabras — < 1%

22 50.uazuay.edu.ec
Internet

88 palabras — < 1%

23 www.madrid.org
Internet

74 palabras — < 1%

24 orga.enesmerida.unam.mx
Internet

73 palabras — < 1%

25 ru.iiec.unam.mx
Internet

72 palabras — < 1%

26 www.dii.uchile.cl
Internet

68 palabras — < 1%

27 www.conanp.gob.mx
Internet

66 palabras — < 1%

28 revistaseug.ugr.es
Internet

65 palabras — < 1%

29 ceape.edomex.gob.mx
Internet

60 palabras — < 1%

30 facgeografia.uaemex.mx
Internet

60 palabras — < 1%

31 semadet.jalisco.gob.mx
Internet

52 palabras — < 1%

32 eprints.uanl.mx

50 palabras — < 1%

33 www.fao.org

Internet

47 palabras — < 1%

34 dspace.esPOCH.edu.ec

Internet

43 palabras — < 1%

35 revistamedica.imss.gob.mx

Internet

43 palabras — < 1%

36 repositorio.unal.edu.co

Internet

42 palabras — < 1%

37 www.scielo.org.ar

Internet

42 palabras — < 1%

38 www.scielo.br

Internet

39 palabras — < 1%

39 www.congresoecologia.org

Internet

37 palabras — < 1%

40 ciencia.lasalle.edu.co

Internet

35 palabras — < 1%

41 www.publicaciones.igg.unam.mx

Internet

35 palabras — < 1%

42 María Andrea Dzendoletas. "Determinación y análisis de áreas de potencial conflicto en el uso del suelo en el ejido municipal de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Patagonia, Argentina, utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)", Ciencias Espaciales, 2015

Crossref

34 palabras — < 1%

43	comunicacion-cientifica.com Internet	34 palabras — < 1 %
44	repositorio.umsa.bo Internet	34 palabras — < 1 %
45	www.cig.org.ar Internet	34 palabras — < 1 %
46	www.colibri.udelar.edu.uy Internet	34 palabras — < 1 %
47	María Concepción Gavira Márquez. "Población y producción de plata en el real de minas de Talpujahua a mediados del siglo XVIII", Estudios de Historia Novohispana, 2009 Crossref	33 palabras — < 1 %
48	www.coursehero.com Internet	30 palabras — < 1 %
49	www.redalyc.org Internet	30 palabras — < 1 %
50	www.scielo.org.co Internet	28 palabras — < 1 %
51	scholar.sun.ac.za Internet	27 palabras — < 1 %
52	ciencialatina.org Internet	26 palabras — < 1 %
53	pt.scribd.com Internet	26 palabras — < 1 %
54	www.revistas.una.ac.cr	

Internet

26 palabras — < 1%

55 repositorio.cepal.org

Internet

24 palabras — < 1%

56 www.pucv.cl

Internet

24 palabras — < 1%

57 tabasco.gob.mx

Internet

23 palabras — < 1%

58 iconos.flacsoandes.edu.ec

Internet

22 palabras — < 1%

59 ref.uabc.mx

Internet

21 palabras — < 1%

60 www.ungs.edu.ar

Internet

21 palabras — < 1%

61 dgsa.uaeh.edu.mx:8080

Internet

20 palabras — < 1%

62 geolupita.blogspot.com

Internet

20 palabras — < 1%

63 nulan.mdp.edu.ar

Internet

20 palabras — < 1%

64 vlex.com.mx

Internet

20 palabras — < 1%

65 www.di.ugto.mx

Internet

19 palabras — < 1%

66 cedoc.inmujeres.gob.mx

18 palabras — < 1%

67 bdigital.unal.edu.co
Internet

17 palabras — < 1%

68 indico.fch.unicen.edu.ar
Internet

17 palabras — < 1%

69 redargentinadegeografiafisica.files.wordpress.com
Internet

17 palabras — < 1%

70 doczz.net
Internet

16 palabras — < 1%

71 M. A. Casermeiro, I. Pantojo, S. Moreno, M. Mayo. "Environmental criteria for the selection of a Geographic Information System in the environmental impact assessment of linear infrastructures", Informes de la Construcción, 2008
Crossref

15 palabras — < 1%

72 www.ub.es
Internet

15 palabras — < 1%

73 zonegis.es
Internet

15 palabras — < 1%

74 I.D. Ávila-Pérez, E. Ortiz-Malavassi, C. Soto-Montoya, Y. Vargas-Solano, H. Aguilar-Arias, C. Miller-Granados. "Evaluación de cuatro algoritmos de clasificación de imágenes satelitales Landsat-8 y Sentinel-2 para la identificación de cobertura boscosa en paisajes altamente fragmentados en Costa Rica", Revista de Teledetección, 2020

14 palabras — < 1%

-
- 75 Palacios Moreno, Anabel. "Edificacion y valor de la red vial de la ciudad de Mexico", El Colegio de Mexico, 2022
ProQuest 14 palabras — < 1%
-
- 76 docshare.tips
Internet 14 palabras — < 1%
-
- 77 risisbi.uqroo.mx
Internet 14 palabras — < 1%
-
- 78 unermbtomadedecisiones.blogspot.com
Internet 14 palabras — < 1%
-
- 79 Aranely Wendolyne Estrada Porcayo, Luis Giovanni Ramírez Sánchez, Rosalía Chávez Alvarado. "Clasificación de los paisajes físico-geográficos de la Unidad de Gestión Ambiental 33, Quintana Roo, México a escala 1:50000", Estudios Geográficos, 2023
Crossref 13 palabras — < 1%
-
- 80 Sarah Eva Martínez Pellegrini. "Ordenamiento territorial. Teorías y políticas con inclusión, innovación social y sostenibilidad", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2023
Crossref 13 palabras — < 1%
-
- 81 digibug.ugr.es
Internet 13 palabras — < 1%
-
- 82 fts.uas.edu.mx
Internet 13 palabras — < 1%
-
- 83 negociosybienestarsite.wordpress.com
Internet 13 palabras — < 1%

84	rainforest-alliance.com Internet	13 palabras — < 1%
85	repositorio.una.ac.cr Internet	13 palabras — < 1%
86	ssf.gov.co Internet	13 palabras — < 1%
87	www.scribd.com Internet	13 palabras — < 1%
88	"Estudios de género, geopolítica y dinámicas regionales con inclusión social", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2023 Crossref	12 palabras — < 1%
89	"Nuevas territorialidades. Gestión de los territorios y recursos naturales con sustentabilidad ambiental", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2023 Crossref	12 palabras — < 1%
90	Guadalupe Núñez-Martínez, Cecilia Aparicio-Roque, Nelly Villalobos, Alfredo Figueroa-Delgado et al. "Prevalence and distribution of transmissible venereal tumor in dogs from a rural community of Mexico", Revista MVZ Córdoba, 2024 Crossref	12 palabras — < 1%
91	Gutierrez Vazquez, Edith Yolanda. "El espacio como eje de analisis de la desigualdad educativa en el Mexico del siglo XXI", El Colegio de México, 2022 ProQuest	12 palabras — < 1%
92	archive.org	

12 palabras — < 1%

93 bibliometria.ucm.es
Internet

12 palabras — < 1%

94 es.unionpedia.org
Internet

12 palabras — < 1%

95 idoc.pub
Internet

12 palabras — < 1%

96 luj-bue-datos.paidsdigital.innovacion.gob.ar
Internet

12 palabras — < 1%

97 mafiadoc.com
Internet

12 palabras — < 1%

98 proceedings.science
Internet

12 palabras — < 1%

99 publicaciones.uazuay.edu.ec
Internet

12 palabras — < 1%

100 ri.agro.uba.ar
Internet

12 palabras — < 1%

101 vbook.pub
Internet

12 palabras — < 1%

102 www.comecso.com
Internet

12 palabras — < 1%

103 www.yucatan.com.mx
Internet

12 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS	ACTIVADO	EXCLUIR FUENTES	DESACTIVADO
EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA	ACTIVADO	EXCLUIR COINCIDENCIAS	< 12 PALABRAS