

ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD URBANA EN LA RED VIAL DE XALAPA, VERACRUZ: RETOS Y PROSPECTIVAS

ANALYSIS OF URBAN PERMEABILITY IN THE ROAD NETWORK OF XALAPA, VERACRUZ: CHALLENGES AND PROSPECTS

Daniel Rolando Martí Capitanachi¹

SUMARIO: I. Introducción, II. Contextualización del tema, III. Conceptos clave, IV. El papel de las calles completas, V. Instrumentación legal, VI. Investigación actual o tendencias relevantes, VII. Resultados, VIII. Densidad vial, IX. Discusión, X. Conclusiones, XI. Referencias

RESUMEN

Este texto se centra en el análisis de la movilidad urbana y la accesibilidad en Xalapa, Veracruz, México, destacando la importancia de la infraestructura vial y su impacto en la calidad de vida de los ciudadanos. Se examinan conceptos clave como accesibilidad, conectividad y permeabilidad, así como el papel crucial de las "calles completas" en la creación de entornos urbanos inclusivos y sostenibles. La investigación revela un aumento significativo en la infraestructura vial de Xalapa entre 1999 y 2021, pero también identifica desafíos como la concentración desigual de intersecciones y la presencia de barreras físicas que dificultan la movilidad. Se propone un enfoque holístico en la planificación urbana que considere tanto la movilidad sostenible como la equidad en el acceso a los recursos de transporte, y se destaca la necesidad de instrumentos legales para garantizar una movilidad urbana segura y eficiente. Además, se evalúa cuantitativamente la infraestructura vial de Xalapa mediante el análisis de intersecciones viales y densidad vial, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar el grado de permeabilidad en diferentes zonas de la ciudad. Se comparan dos propuestas metodológicas y se consideran los bordes urbanos como barreras que pueden dificultar el acceso. Se establecen indicadores y métricas para evaluar el éxito de futuras intervenciones en términos de mejora de la accesibilidad, la movilidad y la permeabilidad urbana en Xalapa.

PALABRAS CLAVE: movilidad urbana, accesibilidad, infraestructura vial, permeabilidad urbana, calles completas.

¹ Urbanista e investigador en cuestiones relacionadas con la ciudad, el derecho y la sociedad. Profesor de tiempo completo, adscrito a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Veracruzana, México. Línea de investigación: Normativa jurídica urbana.

ABSTRACT

This text focuses on the analysis of urban mobility and accessibility in Xalapa, Veracruz, Mexico, highlighting the importance of road infrastructure and its impact on citizens' quality of life. It examines key concepts such as accessibility, connectivity, and permeability, as well as the crucial role of "complete streets" in creating inclusive and sustainable urban environments. The research reveals a significant increase in Xalapa's road infrastructure between 1999 and 2021, but also identifies challenges such as the uneven concentration of intersections and the presence of physical barriers that hinder mobility. A holistic approach to urban planning is proposed, considering both sustainable mobility and equity in access to transportation resources. The need for legal instruments to guarantee safe and efficient urban mobility is also emphasized. Furthermore, Xalapa's road infrastructure is quantitatively evaluated by analyzing road intersections and road density, using Geographic Information Systems (GIS) to identify the degree of permeability in different city areas. Two methodological proposals are compared, and urban edges are considered as barriers that can hinder access. Indicators and metrics are established to assess the success of future interventions in terms of improving accessibility, mobility, and urban permeability in Xalapa.

KEYWORDS: urban mobility, accessibility, road infrastructure, urban permeability, complete streets.

I. INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana y la accesibilidad son aspectos críticos en el desarrollo y bienestar de las ciudades en crecimiento como Xalapa, Veracruz, México. El aumento constante de la población, la concentración en determinadas áreas geográficas y la falta de infraestructura adecuada plantean desafíos significativos en términos de conectividad vial y acceso a servicios básicos. Este capítulo se enfoca en analizar la permeabilidad urbana en la red vial de Xalapa, con el objetivo de identificar los retos y perspectivas para mejorar la movilidad y accesibilidad en la región. Se examinarán diferentes enfoques metodológicos para evaluar la infraestructura vial existente y se propondrán estrategias para abordar las necesidades de transporte de la población. Además, se explorarán conceptos clave como la accesibilidad, la conectividad y la permeabilidad, así como el papel crucial de las calles completas en la creación de entornos urbanos inclusivos y sostenibles. Por último, se destacará la importancia de la instrumentación legal en la planificación y regulación de la infraestructura vial para garantizar una movilidad urbana segura y eficiente. La investigación actual sobre la infraestructura vial y la movilidad urbana en la ciudad de Xalapa destaca la importancia del análisis de redes de comunicación utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permite comprender la distribución y densidad de intersecciones viales, así como la calidad de la infraestructura vial, con el objetivo de mejorar la accesibilidad y la permeabilidad urbana.

Los resultados de los análisis realizados muestran un crecimiento significativo en la infraestructura vial de Xalapa entre 1999 y 2021, con un aumento en el número promedio de intersecciones por kilómetro cuadrado y en la densidad vial en general. Sin embargo, también se identifican desafíos, como la concentración desigual de intersecciones en ciertas áreas y la falta de cumplimiento de normativas para la densidad de intersecciones.

La presencia de barreras físicas -como el transcurso urbano de la carretera federal 140 o Avenida Lázaro Cárdenas-, dificulta la accesibilidad y la movilidad tanto para peatones como para vehículos, por representar un borde infranqueable entre los sectores oriente y poniente de la ciudad, debido a las velocidades y aforos vehiculares ininterrumpidos, lo que destaca la importancia de implementar conceptos de "calles completas" que prioricen la inclusión y la seguridad de todos los usuarios de la vía. La calle completa incluye en su diseño el uso de peatones, de vehículos unipersonales, de transporte colectivo y de carga, y en menor proporción, el uso del vehículo particular.

En suma, la investigación resalta la necesidad de un enfoque holístico en la planificación urbana, que considere tanto la movilidad sostenible como la equidad en el acceso a los recursos de transporte. Los hallazgos obtenidos en Xalapa pueden ser aplicables a otras ciudades que enfrentan desafíos similares, ofreciendo lecciones valiosas para el desarrollo sostenible a nivel urbano.

II. CONTEXTUALIZACIÓN DEL TEMA

El crecimiento constante de la población y su concentración en determinados puntos geográficos genera retos significativos para las colonias y comunidades menos favorecidas. La accesibilidad a servicios básicos y oportunidades laborales se convierte en una necesidad esencial en entornos urbanos en rápida expansión. En este contexto, la infraestructura de transporte urbano efectiva y accesible juega un papel fundamental para garantizar desplazamientos dignos, puntuales, confiables y económicos para la población y los bienes. El análisis de la movilidad urbana en la zona metropolitana de Xalapa (ZMX) revela múltiples retos, especialmente en el municipio de Xalapa. Su topografía, la falta de infraestructura adecuada y la presencia de zonas incomunicadas son algunos de los obstáculos que dificultan la conectividad vial. Además, la dependencia del transporte privado, la antigüedad y el mantenimiento irregular de camiones, taxis y colectivos del transporte público, y la carencia de facilidades para la accesibilidad son aspectos específicos de estos retos.

Los datos demográficos muestran un aumento poblacional constante en Xalapa, con proyecciones que indican un crecimiento continuo en los próximos años. Este aumento de la población plantea demandas crecientes sobre la infraestructura de transporte y movilidad urbana. Los viajes laborales predominan en la región, destacando la necesidad de mejorar la conectividad entre las zonas urbanas dispersas incluidas en la zona metropolitana.

La falta de infraestructura de movilidad es evidente en la distribución desigual de modos de transporte y en la deficiencia logística en el transporte de mercancías, las personas de menores ingresos que viven en la periferia de la ciudad tienen que invertir más tiempo y recursos para trasladarse a sus lugares de trabajo, debido a la menor cobertura de transporte público e infraestructura (Peón & Villareal, 2023). La congestión vehicular, el estado del transporte público y la limitada cobertura del servicio son problemas destacados que afectan la movilidad y la calidad de vida en Xalapa.

Para abordar estos desafíos, es fundamental invertir en infraestructura de transporte, fomentar el transporte público eficiente y desarrollar opciones sostenibles de movilidad. La interconexión de ubicaciones geográficas a través de redes de transporte es crucial, y se deben considerar nodos que faciliten intercambios múltiples para garantizar una accesibilidad equitativa en el espacio urbano. Por otra parte, es importante reconocer que el aumento de la infraestructura vial no garantiza una mejora automática en la accesibilidad, por lo que se deben considerar estrategias integrales que aborden tanto la infraestructura como las necesidades de movilidad de la población.

Estos retos de movilidad y acceso urbano en la ciudad de Xalapa reflejan problemas comunes en entornos urbanos en crecimiento. La inversión en infraestructura, el fomento del transporte público eficiente y el desarrollo de opciones sostenibles son fundamentales para mejorar la calidad de vida y la accesibilidad en la región. Además, se debe adoptar una perspectiva integral que considere tanto la infraestructura física como las necesidades y comportamientos de movilidad de la población.

El objetivo de este capítulo es evaluar de forma cuantitativa la infraestructura vial de la ciudad de Xalapa, para identificar el grado de permeabilidad en las diferentes zonas de la ciudad, esto se realizará atendiendo a dos propuestas metodológicas y culminará en una comparación entre ellas, por un lado se examinará la distribución de intersecciones viales y en un segundo intento se analizará la densidad vial, lo que conducirá a determinar cómo la infraestructura vial existente afecta la movilidad y accesibilidad de los residentes.

Finalmente, se establecerán indicadores y métricas para evaluar el éxito de las intervenciones propuestas en términos de mejora de la accesibilidad, la movilidad y la permeabilidad urbana en Xalapa, permitiendo realizar un seguimiento continuo y ajuste de las políticas y programas implementados para garantizar su eficacia a largo plazo.

III. CONCEPTOS CLAVE

La accesibilidad es un principio fundamental en la planificación urbana contemporánea, buscando garantizar que todos los individuos, independientemente de sus habilidades físicas o cognitivas, puedan acceder y utilizar los espacios urbanos de manera efectiva y equitativa. Este enfoque implica la eliminación de barreras físicas y sociales que podrían obstaculizar la participación plena de las personas en la vida urbana. Desde el diseño de aceras accesibles hasta la implementación de tecnologías asistidas, la accesibilidad busca promover la inclusión social y garantizar que todos los ciudadanos puedan disfrutar de los servicios y oportunidades que ofrece la ciudad (Santos Pérez, et al, 2021; Bosque, 1992).

La conectividad, a su vez, es esencial para comprender la forma en que los diferentes elementos de la ciudad están interconectados y cómo influyen en la movilidad urbana. La conectividad vial, por ejemplo, se puede analizar mediante técnicas como la sintaxis espacial, que evalúan la configuración de las calles y su impacto en los movimientos y las interacciones en la ciudad.

Una alta conectividad vial puede mejorar la accesibilidad al permitir trayectos más directos y eficientes entre diferentes puntos de la ciudad, mientras que una baja conectividad puede crear barreras físicas y dificultar los desplazamientos (Ramírez Uribe, et al, 2023).

La permeabilidad, por otro lado, se refiere a la capacidad de un entorno urbano para permitir el flujo fluido de personas, vehículos e ideas. En un entorno urbano permeable, las barreras físicas y sociales son mínimas, lo que facilita los desplazamientos y las interacciones entre los diversos elementos de la ciudad.

Murray (Gómez, 2020) define la permeabilidad como “Sólo los lugares que son accesibles al público pueden proporcionar alternativas, un lugar se puede medir a través de su capacidad de ser penetrado, o de que a través del él o dentro de él se pueda circular de un sitio a otro”, esta permeabilidad es tan importante en el espacio, debido a que crea escenarios de accesibilidad.

La permeabilidad no sólo se relaciona con la accesibilidad física, sino también con la accesibilidad cognitiva y sensorial, asegurando que todos los individuos puedan navegar y participar plenamente en el espacio urbano (Argueta, 2017).

Este concepto de permeabilidad también está ligado a otros más, como: la absorbencia, penetrabilidad, flexibilidad, disponibilidad, intercambio, circularidad y convergencia. Un espacio permeable sería aquel que es enriquecido por otras actividades y donde es posible circular fácilmente a través de él, también puede ser considerado como un filtro urbano que puede conectar lo privado de lo público.

En conjunto, la accesibilidad, la conectividad y la permeabilidad son conceptos interrelacionados que son fundamentales para garantizar una movilidad urbana inclusiva y eficiente. En tanto que la permeabilidad en una ciudad logra que los espacios sean receptivos y no sólo aborda una escala puntual sino también en escala barrial, vinculando la existencia de la ciudad con los peatones, adaptando las calles vehiculares hacia la diversidad de usuarios, transformándola en calles con inclusión social, priorizando al transeúnte, mejorando de esta manera su funcionalidad.

IV. EL PAPEL DE LAS CALLES COMPLETAS

Las calles completas son vías diseñadas para promover la movilidad sostenible y el tránsito seguro de todas las personas, sin importar su modo de transporte. Este tipo de vías trae consigo un sin número de externalidades positivas, como, por ejemplo: trae un beneficio a la salud pública, la equidad social y el desarrollo económico y cultural de las comunidades (Peón & Villareal, 2023).

Las calles, banquetas y centros de transferencia del transporte público son espacio público por excelencia, y constituyen la base de cualquier ciudad, debido a que son lugares donde la gente se reúne para establecer relaciones recíprocas y solidarias. No simplemente son líneas conectoras de un punto a otro, como siempre se ha visto, más bien son redes complejas que estructuran el sistema urbano y la convivencia y mantienen un equilibrio entre movilidad y habitabilidad (Peón & Villareal, 2023).

De acuerdo con tales teóricos, cuando una calle está dirigida a la movilidad, se priorizan aspectos como la velocidad de circulación y la capacidad vial, sin embargo, cuando se orienta a la habitabilidad, se antepone el acceso a servicio y a la realización de actividades de esparcimiento, ocio y disfrute (Peón & Villareal (2023).

Pero, debido al crecimiento urbano, se ha dado una mayor importancia a las calles orientadas a la movilidad basada de forma preferente en el uso de vehículos motores, quedando en segundo plano otros medios de transporte, lo que genera largos tiempos de traslado, y ha incrementado el número de accidentes y la cantidad de emisiones de gas.

Es por ello por lo que las calles completas son una alternativa viable para llevar a cabo un balance entre la movilidad y la habitabilidad de las vías públicas, dando lugar a otros medios de transporte distintos al automóvil particular, generando ciudades incluyentes, seguras y sostenibles. Mejorar la convivencia entre los distintos modos de transporte -peatonal, patinetas, ciclista, motociclista y el transporte público-, promoverá un menor uso en el automóvil privado, además de incidir en el incremento de la seguridad vial y la accesibilidad universal.

Esta noción de calles completas se alinea con el concepto de permeabilidad vial, ya que promueve un enfoque holístico hacia el diseño urbano que prioriza tanto la movilidad como la habitabilidad. Las calles completas, al ofrecer un espacio público inclusivo y seguro para todos los usuarios, contribuyen a mejorar la permeabilidad urbana al fomentar una mayor interacción y flujo entre diferentes modos de transporte y actividades. Al priorizar el acceso a servicios, el esparcimiento y el disfrute en lugar de simplemente la velocidad y la capacidad vial, las calles completas permiten una mejor integración de la comunidad y una mayor conectividad entre diferentes áreas de la ciudad. Esto ayuda a reducir la dependencia del automóvil privado, lo que a su vez disminuye la congestión vial, los accidentes y las emisiones de gases, mejorando así la calidad del aire y la seguridad vial. En última instancia, la promoción de calles completas no sólo contribuye a una movilidad más sostenible, sino que también mejora la habitabilidad urbana y la calidad de vida de los ciudadanos al crear entornos más seguros, inclusivos y amigables para todos.



Figura 1. Proceso de planeación de calles completas

Nota: Tomado de Peón & Villareal, 2023

V. INSTRUMENTACIÓN LEGAL

El Diario Oficial del martes 19 de septiembre de 2023 publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, que establece los requisitos generales para la señalización y dispositivos viales en calles y carreteras. El objetivo es delinear las características geométricas y de operación de las vías, prevenir peligros potenciales, regular el tránsito y guiar a los usuarios de manera uniforme en todo el territorio nacional. La Norma abarca diferentes clasificaciones y colores de marcas para la señalización horizontal, así como señales preventivas, restrictivas, informativas y turísticas para la señalización vertical. Además, se incluyen disposiciones sobre dispositivos para sistemas de orientación peatonal y ciclista, así como para sistemas inteligentes de transporte. La norma es aplicable a todas las calles y carreteras de jurisdicción federal, estatal y municipal en México.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021 establece los lineamientos para la homologación de la terminología y características de los espacios públicos en los asentamientos humanos. El objetivo de esta norma es promover el desarrollo sostenible de los espacios públicos y mejorar el bienestar de sus habitantes. Se clasifican los espacios públicos según su función, administración y escala de servicio. Además, se establecen elementos mínimos de diseño y se brindan herramientas de autoevaluación para que los municipios y entidades puedan promover y proteger sus espacios públicos.

VI. INVESTIGACIÓN ACTUAL O TENDENCIAS RELEVANTES

La relevancia del análisis de redes de comunicación utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) es subrayada por Bosque (1997, citado en Loyola Gómez, C., & Albornoz Del Valle, E., 2009). En esta perspectiva, una red se define como un "sistema interconectado de elementos lineales que configuran una estructura espacial a través de la cual pueden fluir diversos tipos de elementos". Por otro lado, tomando como base a Comas y Ruíz (2003), Ramírez describe una red como un "sistema interconectado de líneas por las cuales se desplazan diversos elementos como personas, bienes, recursos u otros, que se enlazan con nodos ubicados en las intersecciones de segmentos".

Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos, donde se define a las vías de comunicación como un espacio público que, por su diseño y característica constructiva, proporciona una función de conexión y traslado en el espacio, se realizó un análisis del número de intersecciones que existen en la vialidad de la ciudad de Xalapa, con la finalidad de

atender al supuesto que indica en la misma NOM, que por cada kilómetro cuadrado debería existir un total de 80 a 120 intersecciones para tener un espacio público permeable y seguro.

La norma aludida define:

4.4.1.2 Espacios públicos con función de infraestructura

Son aquellos espacios públicos que, por su diseño y características constructivas, proporcionan funciones imprescindibles de conexión y traslado para el desarrollo de actividades y el aprovechamiento del espacio en el que están insertos...:

i). Vías urbanas. - Se componen de cuatro elementos:

a). Vías peatonales.

b). Vías terciarias.

c). Vías secundarias.

d). Vías primarias.

De igual manera, la misma norma oficial mexicana mencionada señala que las vías urbanas deberían ser las integradoras del espacio público y que su diseño habría de atender a normas oficiales propias, además de a leyes y reglamentos. No obstante, para fines del análisis urbano relativo al uso y ubicación del espacio público, las vialidades son analizadas en su función de su posibilidad de caminabilidad.

8.3 Elementos mínimos para vías urbanas y peatonales

Las vías urbanas son reguladas por sus propias normas oficiales, así como por reglamentos y leyes de distintos órdenes. Para fines de esta norma se regulan únicamente sus funciones e influencias relativas al sendero peatonal.

El porcentaje de espacio público de un asentamiento humano debe ser como mínimo el 20% del espacio total del asentamiento o mancha urbana (sin contar vías urbanas), con un total de 80 a 120 intersecciones viales por kilómetro cuadrado.

Para abordar el estudio de la ciudad de Xalapa, se toman como premisas las establecidas por la norma relacionada con el espacio público en lo que respecta al número de intersecciones deseables para asegurar la adecuada permeabilidad y disfrute del espacio público local, así como la clasificación de vías urbanas en peatonales, terciarias. Secundarias y primarias. El análisis que aquí se presenta se focaliza en las vías primarias.

Este análisis se realiza mediante el sistema de información geográfica (SIG) y se consideró un periodo de 20 años en el cual, primero se realizó la identificación de las intersecciones en la estructura vial que fue retomada de dos fuentes de información: la carta topográfica E14B27 (1: 50,000) de 1999 y el SCINCE 2020 (información recuperada de INEGI) que fue actualizado al año 2021, por lo que los años analizados fueron 1999 y 2021, cabe señalar que esta cartografía vial para ambos años fue revisada antes de realizar el procedimiento ya que nos percatamos de una serie de traspiés que tuvieron que ser corregidos, los cuales consistieron en verificar que la vialidad fuera realmente una vialidad y no contornos de edificaciones.

Ya verificada y corregida la información, se procedió a identificar el número de intersecciones a través del SIG; para, posteriormente, mediante el cruce de las intersecciones identificadas con una malla con cuadrantes de 1 kilómetro por un kilómetro, determinar el número de intersecciones en cada cuadrante, obteniendo de esta manera un mapa de índice de intersecciones (intersección /kilómetros cuadrados). Así, se obtuvieron valores máximos y mínimos de frecuencia de intersecciones que sirvieron para realizar un rango de “permeabilidad” y de esta manera, visualizar las áreas de la ciudad con mayor o menor permeabilidad, en función del número de intersecciones.

En un segundo esfuerzo, se empleó la metodología de densidad horizontal, para las corrientes de agua y determinar la densidad de drenaje cuyo objetivo es obtener la capacidad de un área para evacuar el exceso de agua, lo que puede ser especialmente relevante en el contexto de la hidrología y la gestión de inundaciones. Un área con una alta densidad de drenaje podría ser más efectiva en el drenaje del agua de lluvia, reduciendo así el riesgo de inundaciones. Por otro lado, en un área con baja densidad de drenaje, el agua de lluvia podría acumularse más fácilmente, aumentando el riesgo de inundaciones.

Analógicamente se puede interpretar de la siguiente manera. En hidrología, la densidad de drenaje se refiere a la cantidad de canales, arroyos o ríos en una determinada área geográfica. Un área con una alta densidad de drenaje tiene gran cantidad de canales que permiten que el agua fluya eficazmente, reduciendo el riesgo de inundaciones, ya que el agua de lluvia puede ser evacuada rápidamente (Vidríales Chan, *et al.* 2012; Landa Guerrero, Y., & Travieso Bello, A. 2019).

En planificación urbana, la densidad vial se refiere a la cantidad de carreteras, calles e intersecciones en una determinada área urbana. Una alta densidad vial significa que hay muchas carreteras e intersecciones, lo que mejora la conectividad y la movilidad en la ciudad, similar a cómo una alta densidad de drenaje permite que el agua fluya eficazmente.

La relación entre la densidad de drenaje y la densidad vial radica en su influencia en la permeabilidad de un área. En ambas situaciones, una mayor densidad significa una mayor capacidad de evacuar (ya sea agua de lluvia o tráfico vehicular) y, por lo tanto, una mayor permeabilidad en el sentido de que el flujo (ya sea de agua o tráfico) es más eficiente y menos propenso a la congestión.

Por otro lado, en un área con baja densidad de drenaje (menos canales) o baja densidad vial (menos carreteras e intersecciones), el flujo de agua o tráfico puede acumularse más fácilmente, lo que aumenta el

riesgo de problemas como inundaciones (en el caso del drenaje) o congestión vehicular (en el caso de las carreteras).

Considerando esto, se podría decir que una densidad vial alta en una determinada superficie proporciona mejor conexión y mayor permeabilidad, al contrario, una menor densidad significaría que la conectividad es menor por lo tanto su permeabilidad sería menor.

Este índice se calcula mediante la siguiente expresión matemática: $DH = \text{Longitud (m)} / Ha$

Su elaboración es similar a la determinación del número de intersecciones mencionado anteriormente. El resultado final de ambos procedimientos arrojó dos mapas por cada índice, es decir un total de cuatro para realizar las inferencias y análisis de gabinete.

Además, se consideraron los bordes urbanos, ya sean naturales o contruidos, debido a su importancia en la definición de áreas específicas de la ciudad y en la división del espacio urbano. Estos bordes no sólo delimitan geográficamente distintas zonas de la ciudad, sino que también pueden actuar como barreras que dificultan el acceso de un lado al otro. En este sentido, se llevó a cabo una identificación de barreras físicas y los cruces disponibles, con el objetivo de determinar los puntos de acceso y evaluar la permeabilidad del área estudiada. Esta tarea permitió identificar los cruces que facilitan el movimiento de personas y vehículos de un lado a otro, así como aquellos puntos donde la movilidad se ve obstaculizada, proporcionando información para mejorar la accesibilidad y la conectividad en el sitio.

VII. RESULTADOS

VII. 1 Densidad de intersecciones

En el primer análisis, de 1999, los resultados fueron los siguientes:

La cifra máxima de intersecciones existentes en un cuadrante de 1 kilómetro cuadrado fue de 166, mientras que el número mínimo, correspondiente a una intersección, se mostró en un total de 13 cuadrantes. La moda, “es decir el número de intersecciones que se presenta más frecuentemente”, fue de 3 intersecciones por kilómetro cuadrado y se manifestó en 16 cuadrantes. En promedio se obtuvo que existen 35 intersecciones por kilómetro cuadrado.

Cabe mencionar que se estudió un total de 135 cuadrantes que cubren por completo el sistema vial del municipio de Xalapa.

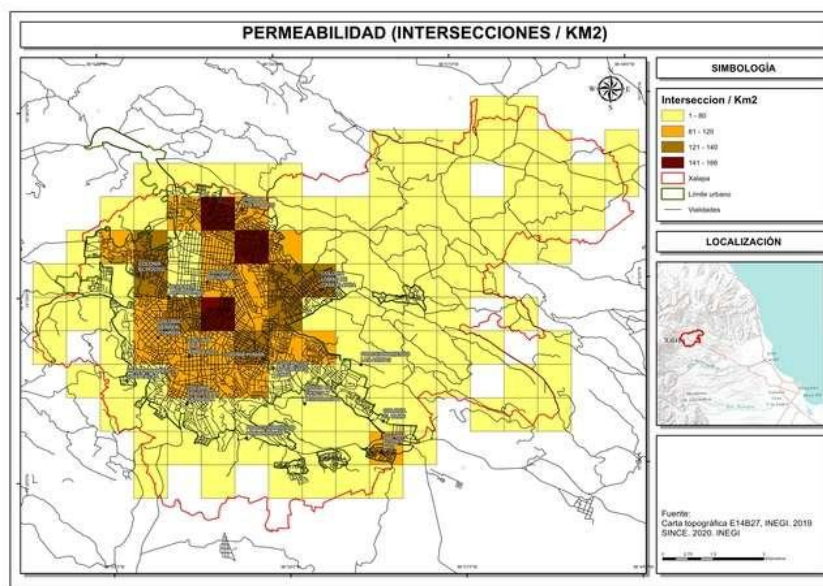
Tabla 1. Análisis estadístico, 1999

	Intersecciones	Cuadrantes (kilómetro cuadrado)
<i>Máximo</i>	166	1
<i>Mínimo</i>	1	13
<i>Moda</i>	3	16
<i>Promedio</i>	35	Por cuadrante
<i>NOM_001</i>	80 - 120 intersecciones	19

Fuente: Elaboración propia

En el caso del rango que se menciona en la NOM-001 SEDATU, que indica como ideal un número de 80 a 120 intersecciones por kilómetro cuadrado, se encontró que sólo se presenta en un total de 19 cuadrantes y se encuentran distribuidos en toda de la ciudad.

Figura 2. Permeabilidad en el año 1999 (por intersecciones)



Para el año 2021, la situación tuvo un cambio, observándose lo siguiente: el número máximo de intersecciones presentes en un cuadrante de 1 kilómetro cuadrado fue de 406, mientras que el mínimo de una intersección se presentó en un total de 12 cuadrantes, la moda, es decir el número de intersecciones que se presenta más, es de 1 intersección en 1 kilómetro cuadrado y se presentó en 12 cuadrantes; por

último, en promedio se obtuvo que hay 102 intersecciones por kilómetro cuadrado. Cabe mencionar que se determinó un total de 125 cuadrantes que cubren las vialidades del municipio de Xalapa.

Dentro del rango que se menciona en la NOM-001 de espacio público -de 80 a 120 intersecciones por kilómetros cuadrado-, se encontró que sólo se presenta en un total de 16 cuadrantes, esto es, cifra inferior a la de 1999, y se encuentran distribuidos en las zonas centro y suroeste de la ciudad.

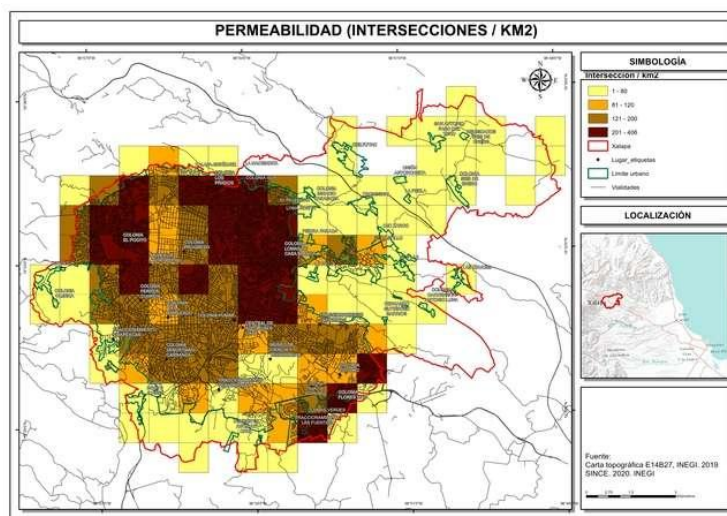
Tabla 2. Análisis estadístico, 2021

	Intersecciones	Cuadrantes (kilómetro cuadrado)
Máximo	406	1
Mínimo	1	12
Moda	1	12
Promedio	102	por cuadrante
NOM_001	80 - 120 intersecciones	16

Fuente: Elaboración propia

Este primer análisis identificó que entre 1999 y 2021, hubo un aumento significativo en el número promedio de intersecciones por kilómetro cuadrado, pasando de 35 a 102 intersecciones. Esto indica un aumento en la densidad de intersecciones en la ciudad. En 1999, las intersecciones se distribuyeron más ampliamente en toda la ciudad, con 19 cuadrantes dentro del rango NOM-001.

Figura 2. Permeabilidad en el año 2021 (por intersecciones)



Sin embargo, en 2021, este número disminuyó a 16 cuadrantes, lo que sugiere que la densidad de intersecciones se ha concentrado más en áreas específicas de crecimiento urbano, especialmente en el centro y el suroeste de la ciudad.

La variabilidad en el número de intersecciones también aumentó en 2021, con un máximo de 406 intersecciones en un solo cuadrante, en comparación con 166 en 1999. Esto indica una mayor variación en la densidad de intersecciones en diferentes áreas de la ciudad.

Respecto al cumplimiento de la NOM-001, a pesar del aumento en la densidad de intersecciones, la mayoría de los cuadrantes en 2021 no cumplieron con el rango establecido por la NOM-001 de 80 a 120 intersecciones por kilómetro cuadrado.

En general, los datos sugieren que la densidad de intersecciones en Xalapa ha aumentado significativamente en las últimas décadas debido a la modificación de la estructura urbana y por ende en la red vial, al lado del fenómeno de expansión de la mancha urbana hacia las periferias, el cual es muy evidente hacia las orientaciones noreste, este y sureste. Tal crecimiento propició la creación de nuevas vialidades hacia las zonas de crecimiento, aunque es necesario mencionar que la mayor densidad de intersecciones viales también muestra una alta concentración en áreas específicas de la ciudad donde el tamaño de la manzana es pequeño dado el tipo de lote que aloja, usualmente relacionado con los estratos socioeconómicos popular y de interés social.

En tal sentido, se menciona que la mayoría de los cuadrantes aún no cumplen con las pautas establecidas en la NOM-001 en cuanto a la densidad de intersecciones. Esta información puede ser útil para la planificación urbana y el diseño de infraestructura vial en el municipio.

VIII. DENSIDAD VIAL

En el segundo planteamiento para el año 1999, se categorizó la densidad vial en cuatro grados atendiendo al indicador longitud de vialidad por unidad de superficie, con unidades metros lineales sobre hectárea, obteniendo lo siguiente:

- I. Cuadrantes con menos de 100 metros de vialidad, considerados como de Densidad Vial Baja. Ella se presenta en un total de 18.33 kilómetros cuadrados, siendo tal densidad vial la que obtendría un menor flujo vehicular.

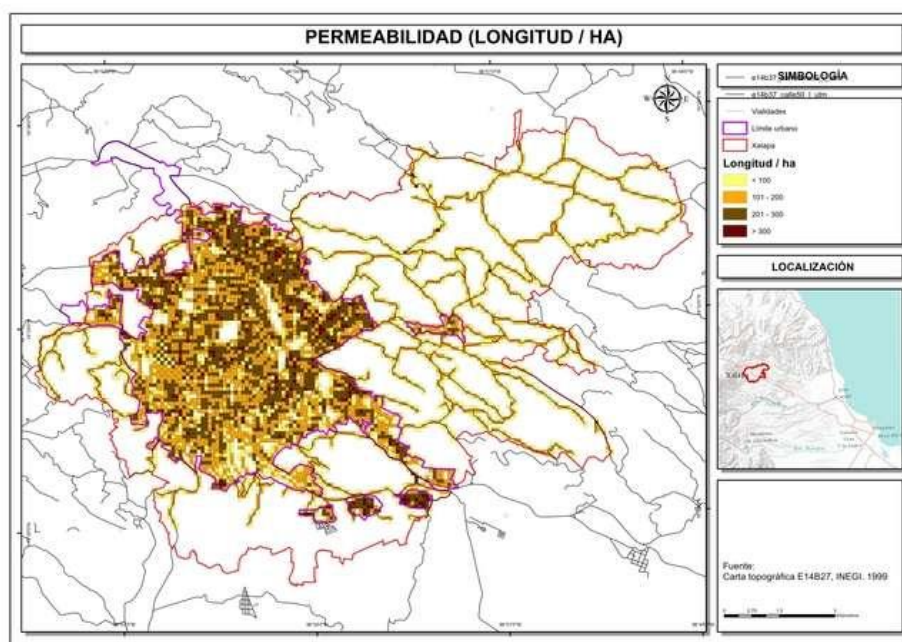
- II. Cuadrantes de entre 101 y 200 metros de vialidad por hectárea, se calificarían con una Densidad Vial Media, presentándose este indicador en un total de 23.37 Kilómetros cuadrados.
- III. Cuadrantes de 201 a 300 metros de vialidad por hectárea arrojarían una Densidad Vial Alta, cubriendo un total de 12.42 kilómetros cuadrados de superficie, con un buen flujo de vehículos al haber más alternativas de movimiento y buena conectividad.
- IV. Cuadrantes con valores mayores a 300 metros de vialidad por hectárea, -2.22 Kilómetros cuadrados- alojan una Densidad Vial Muy Alta que podría ser la de mejor flujo vehicular debido a la gran cantidad de conexiones. Además, se considera la que mayor cantidad de opciones de recorridos provee.

Tabla 1. Densidad vial 1999

<i>Long (m) / Ha</i>	Superficie (Hectárea)	Superficie (kilómetros cuadrados)
>100	18,330,000.00	18.33
101 – 200	23,370,000.00	23.37
201 – 300	12,420,000.00	12.42
>300	2,220,000.00	2.22
		56.34

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Permeabilidad en 1999 (densidad vial)



Para el año 2021 la situación fue diferente, utilizando la misma categorización de 1999 se observó que:

- I. Cuadrantes con menos de 100 metros de vialidad -Densidad Vial Baja- se presentaron en un total de 15.12 kilómetros cuadrados, siendo ella la densidad que obtendría el menor flujo vehicular.
- II. Cuadrantes de entre 101 y 200 metros por hectárea, -Densidad Vial Media-, se presentaron en un total de 20.36 Kilómetros cuadrados.
- III. Cuadrantes de 201 a 300 metros por hectárea -Densidad Vial Alta- cubrieron un total de 20.33 kilómetros cuadrados de superficie, con un buen flujo de vehículos, al haber más alternativas de movimiento y buena conectividad.
- IV. Cuadrantes con valores mayores a 300 metros -Densidad Vial Muy alta- que podría ser la de mejor flujo debido a la gran cantidad de conexiones, abarcaron un total de 14.02 Kilómetros cuadrados.

Este análisis de la densidad vial en 1999 y 2021 proporciona información valiosa sobre la evolución de la infraestructura vial en una determinada área. En términos generales, se observa que la densidad vial aumentó de 1999 a 2021 en todas las categorías. En 1999, se registraron áreas con una densidad vial baja, media, alta y muy alta, mientras que, en 2021 con estas mismas categorías, han experimentado cambios significativos en cada una.

En cuanto a las áreas con densidad vial baja -menos de 100 metros de vialidad por hectárea- en el año 2021, se observa una reducción en comparación con 1999. Esto indica que hubo un mayor desarrollo de carreteras o una mayor conectividad en estas áreas durante ese período.

Por otro lado, las áreas con densidad vial alta -entre 201 y 300 metros de vialidad por hectárea-, aumentaron significativamente en 2021 en comparación con 1999. Esto sugiere un aumento en la infraestructura vial y una mayor conectividad en estas áreas.

Las áreas con una densidad vial muy alta -más de 300 metros de vialidad por hectárea- también aumentaron en 2021. Esto indica una concentración significativa de carreteras e intersecciones en estas áreas, lo que podría mejorar la fluidez del tráfico y la conectividad.

Estos cambios en la densidad vial tienen implicaciones importantes para la movilidad en la región. Un aumento en la densidad vial, especialmente en las categorías de alta y muy alta densidad, sugiere una mayor accesibilidad y opciones de movimiento para los residentes y los usuarios de la carretera. Sin embargo, es esencial una adecuada gestión del tráfico para evitar la congestión y garantizar la seguridad vial.

El aumento de la densidad vial también puede tener un impacto en la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental, por lo que es importante considerar estrategias de movilidad sostenible. Estos datos resaltan la importancia de una planificación urbana efectiva que tenga en cuenta el crecimiento de la infraestructura vial y su impacto en la calidad de vida de los residentes.

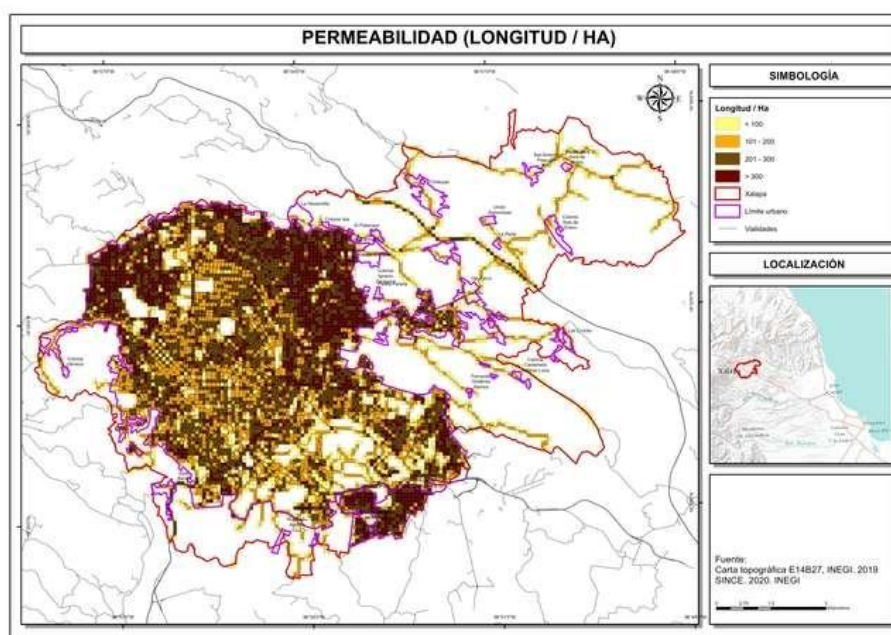
Esta comparativa de densidad vial de 1999 y 2021 distingue y constata un crecimiento de la mancha urbana como se había mencionado anteriormente, lo que indica que hubo un aumento en la construcción de vías para acceder hacia donde se presenta el crecimiento urbano, se percibe que este crecimiento se ha dado sin una planificación debido a la estructura de la red vial.

Tabla 2. Densidad vial 2021

<i>Long (m) / Ha</i>	Superficie (Hectárea)	Superficie (kilómetros cuadrados)
>100	15,120,000.00	15.12
101 – 200	20,360,000.00	20.36
201 – 300	20,330,000.00	20.33
>300	14,020,000.00	14.02
		69.83

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Permeabilidad en 2021 (densidad vial)



Análisis de barreras y calles completas

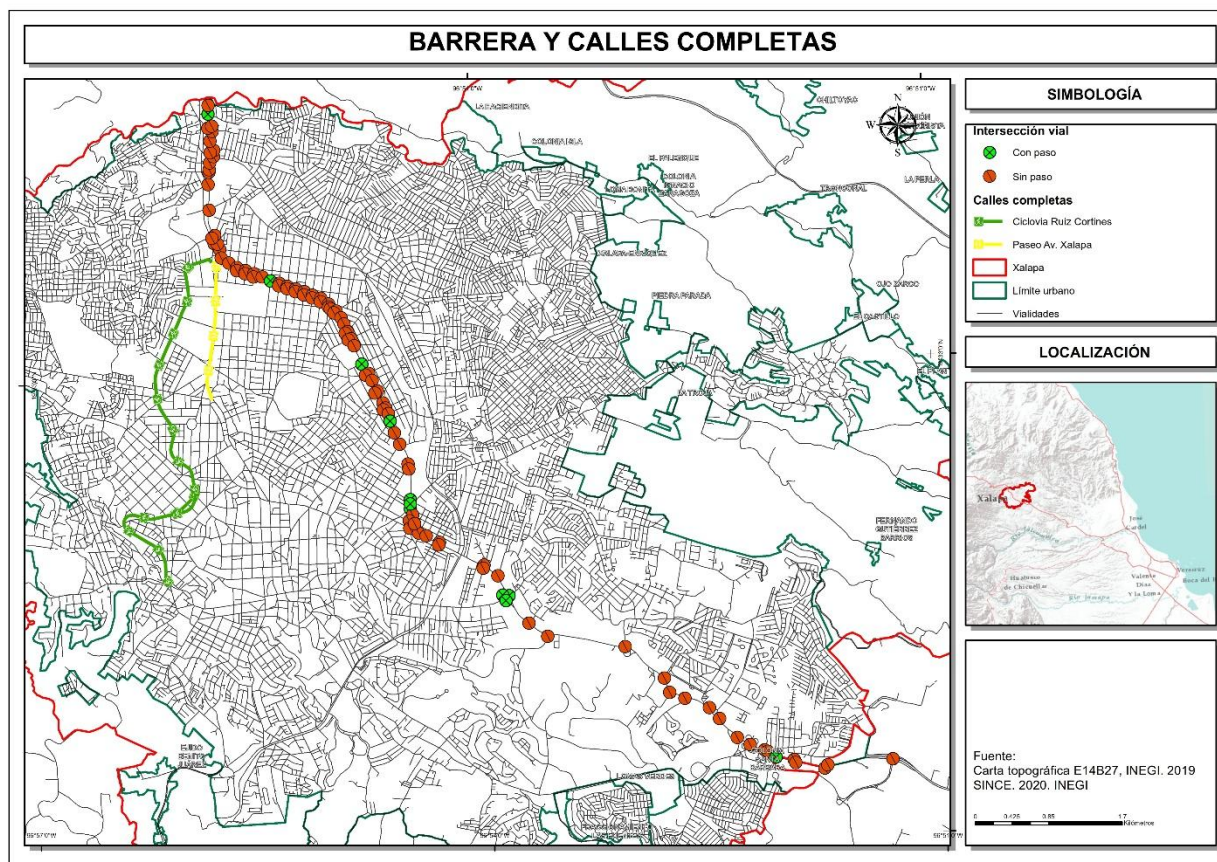
En la ciudad de Xalapa, se ha identificado que la carretera Lázaro Cárdenas constituye la principal barrera que obstaculiza la accesibilidad tanto para peatones como para vehículos, dificultando el cruce de un lado de la ciudad al otro. De un total de 103 intersecciones a lo largo de esta vía, sólo siete permiten el acceso para cruzar al otro lado, mientras que las 96 intersecciones restantes no posibilitan el paso. Esto evidencia que la avenida Lázaro Cárdenas divide efectivamente la ciudad en dos zonas, afectando la movilidad tanto de peatones como de vehículos.

Además de en la avenida Lázaro Cárdenas, la acción de obstaculizar por falta de permeabilidad vial se repite en otras vialidades importantes que también actúan como barreras a la movilidad en la ciudad de Xalapa. Estas arterias urbanas son las Avenidas Ruiz Cortines y Murillo Vidal, las cuales contribuyen a fragmentar el espacio urbano y dificultan el cruce, tanto para peatones como para vehículos, debido a las velocidades que allí se suscitan y al tránsito ininterrumpido de vehículos.

Sin embargo, es importante destacar que, en el caso de la Avenida Adolfo Ruiz Cortines, se cuenta con una ciclovía a lo largo de su recorrido y tal infraestructura proporciona una mejoría significativa en la movilidad de las personas que utilizan vehículos unipersonales no motorizados, tales como bicicletas, motocicletas y patines, o, en su caso, para quienes tienen la necesidad de apoyarse usando una silla de ruedas.

Otra arteria importante de mencionar, con una carga significativa positiva, es la Avenida Xalapa, la cual dispone de un paseo peatonal, brindando a la población la posibilidad de caminar y desplazarse de manera segura. Esta característica de seguridad al caminar percibida localmente apoya la importancia de implementar como acción pública vialidades con conceptos de "calle completa" que prioricen la accesibilidad y seguridad de todos los usuarios, promoviendo un entorno urbano inclusivo y amigable para peatones, ciclistas y usuarios de otros medios de transporte no motorizados.

Figura 5. Barreras y calles completas



IX. DISCUSIÓN

Ahora que se han revisado los resultados de los análisis de densidad de intersecciones y densidad vial en Xalapa, podemos profundizar en la discusión sobre cómo estos hallazgos afectan la accesibilidad y la permeabilidad urbana en la ciudad.

En primer lugar, es evidente que Xalapa ha experimentado un crecimiento significativo en su infraestructura vial a lo largo de los años. El aumento en el número promedio de intersecciones por kilómetro cuadrado, así como en la densidad vial, indica una expansión en la red de carreteras y una mayor conectividad entre diferentes áreas de la ciudad. Este crecimiento puede tener varios efectos positivos, como facilitar el acceso a servicios y oportunidades laborales, mejorar la movilidad y reducir los tiempos de viaje para los residentes.

Sin embargo, también es importante considerar cómo este crecimiento afecta de manera diferenciada a distintas áreas de la ciudad. Por ejemplo, aunque algunas zonas pueden experimentar una mayor

conectividad y accesibilidad gracias a una mayor densidad vial, otras áreas pueden quedarse rezagadas, enfrentando problemas de congestión vehicular y falta de acceso a servicios básicos. Esto puede contribuir a la fragmentación urbana y a la desigualdad socioeconómica, ya que las comunidades menos favorecidas pueden quedar marginadas de los beneficios del desarrollo de la infraestructura vial.

El análisis de la permeabilidad urbana es fundamental para comprender cómo la infraestructura vial afecta la movilidad y la accesibilidad en la ciudad. Si bien un aumento en la densidad de intersecciones y la densidad vial puede mejorar la conectividad, también es importante considerar cómo se distribuyen estas intersecciones en el espacio urbano. Una alta concentración de intersecciones en ciertas áreas puede mejorar la permeabilidad y facilitar los desplazamientos, pero también puede generar congestión y dificultades de circulación en ciertos puntos de la ciudad.

Otro aspecto a tener en cuenta es la calidad del diseño de la infraestructura vial. Las calles completas que promueven la movilidad sostenible y el tránsito seguro para todos los usuarios son fundamentales para mejorar la accesibilidad y la habitabilidad urbana. Sin embargo, es importante asegurar que estas calles estén diseñadas de manera inclusiva y consideren las necesidades de todos los usuarios, incluidos peatones, ciclistas y usuarios de transporte público. Un enfoque holístico hacia el diseño urbano, que priorice tanto la movilidad como la habitabilidad, es esencial para crear entornos urbanos más inclusivos y sostenibles.

Además, hay que mencionar que la posición de los espacios atractores de población -equipamiento, comercio y servicios, áreas verdes y espacios abiertos-, guardan una desigual proporción en su dosificación por barrios. El centro urbano alberga a la mayoría de los inmuebles con uso gubernamental y educativo, en tanto que los subcentros norte y sur de la ciudad concentran las actividades comerciales. En oposición, la periferia habitacional, y particularmente la ocupada por asentamientos populares y precarios, muestran a la fecha escasa presencia de espacios convocantes de población por motivo de los servicios brindados. Así, además de las características del soporte vial local, la estructura de usos de suelo y distribución de espacios públicos dificulta no sólo la movilidad local sino la satisfacción de servicios urbanos básicos y especializados.

X. CONCLUSIONES

En el análisis de la infraestructura vial y la movilidad urbana en la ciudad de Xalapa, se destacaron varios aspectos clave. Se examinaron dos enfoques metodológicos para evaluar la permeabilidad urbana: la distribución de intersecciones viales y la densidad vial. Estos métodos proporcionaron una visión integral

de la red vial y su capacidad para facilitar el movimiento de personas y bienes en la ciudad. Sin embargo, también se identificaron desafíos persistentes, como la concentración desigual de intersecciones en áreas específicas y la falta de cumplimiento de normativas para la densidad de intersecciones. Adicionalmente, se identificaron barreras que dificultan la accesibilidad de peatones y vehículos, así como la ubicación de vialidades similares a las calles completas para observar su interacción.

Se puede afirmar que, a pesar de los avances en la infraestructura vial, todavía existen desafíos significativos en cuanto a accesibilidad y seguridad vial en Xalapa. Sin embargo, se identificaron oportunidades para mejorar esa situación, como la implementación efectiva de políticas y programas de transporte y la adopción de enfoques más holísticos hacia el diseño urbano. Estos hallazgos apuntan hacia la necesidad de un cambio de paradigma en la planificación urbana, priorizando la movilidad sostenible y la equidad en el acceso a los recursos de transporte.

La relevancia del tema va más allá de Xalapa y tiene implicaciones significativas para el desarrollo sostenible de las ciudades en todo el mundo. Mejorar la infraestructura vial y promover una movilidad más sostenible no sólo puede beneficiar a los residentes locales en términos de calidad de vida y acceso a oportunidades, sino que también puede tener un impacto positivo en la economía y el medio ambiente. La experiencia de Xalapa ofrece lecciones valiosas que pueden aplicarse en otras ciudades que enfrentan desafíos similares en términos de movilidad urbana.

Para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas, se sugieren varias direcciones prometedoras. Por ejemplo, estudios adicionales podrían enfocarse en el impacto a largo plazo de la implementación de políticas específicas de movilidad urbana en Xalapa, así como en la efectividad de diferentes estrategias para abordar los desafíos identificados.

Los cambios en la densidad de intersecciones y densidad vial tienen un impacto directo en la permeabilidad y la movilidad en una región urbana. Un aumento en estas densidades puede mejorar la accesibilidad y la conectividad, pero debe ir acompañado de una planificación urbana efectiva para garantizar un desarrollo coordinado y sostenible de la infraestructura vial.

XI. REFERENCIAS

- Argueta Mayorga, J. L., (2017). La permeabilidad y movilidad peatonal en los fraccionamientos cerrados de interés social. Villas de la Hacienda, Municipio Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México. Revista Transporte y Territorio, (17),145-171 [fecha de Consulta 29 de Agosto de 2023]. ISSN:1852-7175 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333053372008>
- Delgadillo Macías. J. (2015). Por una geografía humanista, Ángel Bassols Batalla. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-02-7219-6.
- Gómez-Rodríguez, P. A. (2020). La permeabilidad desde la continuidad del espacio público. Trabajo de Grado Universidad Católica de Colombia. Facultad de Diseño. Programa de Arquitectura. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/25130>
- ITDP México, A.C. (2023). Mejores Calles Para México. Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo, México. Recuperado en: <https://mexico.itdp.org/2023/08/23/mejores-calles-para-mexico/>
- Loyola Gómez, C., & Albornoz Del Valle, E. (2009). FLUJO, MOVILIDAD Y NIVELES DE ACCESIBILIDAD EN EL CENTRO DE CHILLAN AÑO 2007. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO MEDIANTE SIG. Urbano, 12(19), 17-27.
- Landa Guerrero, Y., & Travieso Bello, A. (2019). Factores asociados a la disponibilidad del agua: el caso del municipio de Teocelo, Veracruz, México. Revista e-RUA, 11(21). doi:<https://doi.org/10.25009/rua.v11i21.63>
- Landa Guerrero, Y. 2014. Diagnóstico de los factores que afectan la disponibilidad de agua en la ciudad de Teocelo, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Geografía.
- NOM-001-SEDATU-2021, Norma Oficial Mexicana, Espacio públicos en los asentamientos humanos. Diario Oficial de la Federación. Recuperado en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643417&fecha=22/02/2022#gsc.tab=0
- NORMA Oficial Mexicana NOM-034-SCT2/SEDATU-2022, Señalización y dispositivos viales para calles y carreteras. Publicado en el Diario Oficial el 19 de septiembre de 2023.
- POTZMX. (2022). Programa de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Xalapa, Veracruz. (2022). SEDATU. Recuperado en: http://www.veracruz.gob.mx/desarrollosocial/wp-content/uploads/sites/12/2022/02/PRESENTACI%C3%93N_ZMX_FEB-FINAL.pdf
- Ramírez Uribe, G., Garcia Arvizu, J. F., Ojeda de la Cruz, A., Quintana Pacheco, J., & Miranda Pasos, I. (2023). Análisis de la conectividad urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora. EPISTEMUS, 16(33), 16–25. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.247>
- Santos Pérez, O., Sangroni Laguardia, N., Alba Cruz, R., Pérez Castañeira, J. A., & Peña Mijenes, C. (2021). Análisis integral de accesibilidad y movilidad en centros históricos cubanos. Métodos de diagnóstico

y procesamiento de información. Revista de Arquitectura e Ingeniería, 15(2),1-14. [fecha de Consulta 29 de Agosto de 2023]. ISSN:.1190-8830 Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193968640001>

Vidriales Chan, G; García Coll,I; Avelino Martínez; Gerez, P; Muñiz Castro, M. A. Características del medio natural. En: Paré, L., y Gerez, P. (2012). Al filo del agua: congestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México DF. 344 p.