

Explorando la **PERMEABILIDAD URBANA** *en la red vial* **DEL MUNICIPIO DE XALAPA,** **VERACRUZ, MÉXICO**

*Exploring urban permeability in the road network
of Xalapa, Veracruz, Mexico*

DANIEL ROLANDO MARTÍ-CAPITANACHI*, YAIR LANDA-GUERRERO**

Fecha de recibido:
1 Noviembre 2023
Fecha de aceptado:
12 Abril 2024

*Universidad
Veracruzana, México
damarti@uv.mx

**GCDURBA S.A. de C.V.,
México
yairlandag@gmail.com

RESUMEN. El crecimiento poblacional ha ocasionado, en el municipio de Xalapa, una expansión urbana que rebasa lo previsto por la planificación urbana y, desde lo cotidiano, es causa frecuente que explica el problema de movilidad contemporánea, calificado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como uno de los más graves a nivel nacional. Garantizar una red vial efectiva y accesible es crucial para alcanzar el desplazamiento digno, puntual, confiable y económico de personas y bienes. De ahí que el objetivo de esta investigación es visualizar cómo la permeabilidad y la conectividad urbanas, medidas en densidades de intersecciones y longitud viales por unidad de superficie, influyen en la movilidad, probablemente de manera directa. Se aplica una metodología cuantitativa basada en índices que miden rasgos viales y se asocian al territorio para conocer su forma de distribución y crecimiento, en un periodo similar a 20 años, sólo en el municipio de Xalapa, por considerarse centro de la zona metropolitana originada a su alrededor. Los mapas de datos resultantes se contrastan entre sí y son objeto de interpretación como posibles agentes causales, participantes directos del estado actual de la movilidad local. Incrementar estas densidades podría mejorar la movilidad a través de una mejoría en la accesibilidad y la conectividad vial, pero tal medida debe ir acompañada de una visión integral de planificación urbana para garantizar un desarrollo ordenado del espacio urbano y de los flujos de movilidad, de tal suerte que se repercuta en una mayor eficiencia.

Palabras clave: conectividad urbana, densidad de intersecciones, densidad vial, movilidad, permeabilidad urbana.

ABSTRACT. Population growth has caused, in the municipality of Xalapa, an urban expansion that exceeds what was foreseen by urban planning and, from the everyday point of view, is a frequent cause that explains the problem of contemporary mobility, described by the Inter-American Development Bank as one of the most serious at the national level.

Ensuring an effective and accessible road network is crucial to achieving the dignified, punctual, reliable and economical movement of people and goods. Hence, the objective of this research is to visualize how urban permeability and connectivity measured in intersection densities and road lengths per unit area, influence mobility, probably directly. A quantitative methodology is applied based on indices that measure road features and are associated with the territory to know their form of distribution and growth, in a period similar to 20 years, only in the municipality of Xalapa, as it is considered the center of the metropolitan area originated around it. The resulting data maps are contrasted with each other and are interpreted as possible causal agents, direct participants in the current state of local mobility. Increasing these densities could improve mobility through an improvement in accessibility and road connectivity, but such a measure must be accompanied by a comprehensive vision of urban planning to guarantee an orderly development of urban space and mobility flows, in such a way that it has an impact on greater efficiency.

Key words: urban connectivity, intersection density, road density, mobility, urban permeability.

El crecimiento demográfico en el municipio de Xalapa, el tamaño físico del asentamiento, así como la distribución irregular de la población en el territorio que ocupa su mancha urbana, ha traído como consecuencia que el sistema de movilidad local manifieste severas deficiencias, motivadas algunas por los rasgos físicos de la estructura urbana, pero también por cuestiones relacionadas con la gestión del transporte y la normativa local aplicable, aún no alineada a la federal en materia de movilidad, entre otras causas.

De acuerdo con Bassols (Delgadillo, 2015), uno de los problemas del desarrollo que demanda atención está enfocado en la red vial, que en ocasiones es insuficiente y mal trazada,

así como en la presencia de zonas incomunicadas. El enfoque contemporáneo se aparta de la mera infraestructura física y se aproxima a la cuestión como un sistema, enfatizando la atención en la accesibilidad y la movilidad, como atributos urbanos. Tal postura busca identificar las condiciones necesarias para que las poblaciones aprovechen las oportunidades espaciales a través de sistemas de transporte (red vial de comunicación) eficientes (Santos Pérez *et al.*, 2021).

Considerando los datos presentados en los censos y conteos de población del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) aplicables al municipio, entre los años 1990 y 2020 se ha incrementado el tamaño poblacional en poco más de 200 mil habitantes, y se espera que hacia el año 2025 la población absoluta alcance una cifra de 524 629 habitantes (POTZMX, 2022).

TABLA 1. DATOS POBLACIONALES Y TAMAÑO MANCHA URBANA DEL MUNICIPIO DE XALAPA, VERACRUZ, MX

Año	Población absoluta Municipio Xalapa (Habitantes)	Incremento poblacional Municipio Xalapa (Habitantes)	Superficie mancha urbana ZMX (Hectáreas)
1990	288 454	102 136	4 000
2000	390 590	67 338	5 500
2010	457 928	30 603	6329
2020	488 531		7 000
	Total	200.077	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS OFICIALES DEL INEGI.

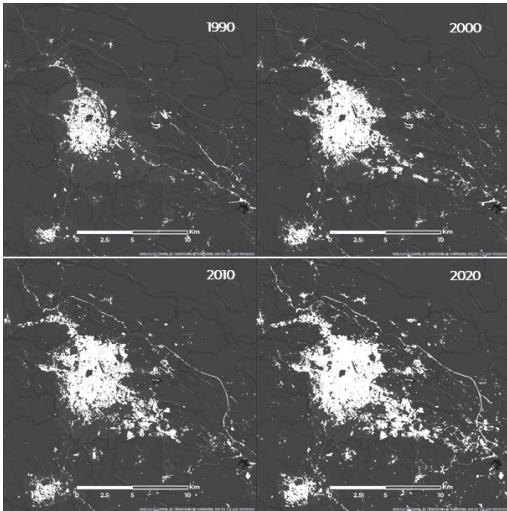


FIGURA 1. CRECIMIENTO URBANO DE LA ZMX EN EL PERIODO 1990-2020.

FUENTE: POTZMX 2022.

En el contexto regional de la Zona Metropolitana de Xalapa (ZMX), el análisis de movilidad resalta múltiples desafíos que afectan la eficiencia de la movilidad urbana, especialmente en el municipio de Xalapa. Entre ellos, la topografía accidentada, que influye en la disposición de su mancha urbana, generando discontinuidades que obstaculizan la conectividad vial; la concentración de equipamiento, comercio y servicios en forma puntual o a manera de corredores; el desarrollo de la carretera federal 140 –actual Avenida Lázaro Cárdenas– parte a la mancha urbana en dos porciones y actúa como un eje que mezcla tráfico regional y local, pese a la existencia de un libramiento; así como la presencia del ferrocarril y la barrera infranqueable que representa en algunos sectores urbanos. Además, el tamaño del parque vehicular particular local, el estado de organización del sistema de transporte público, la obsolescencia de las leyes locales en materia de movilidad y de manera destacada, la escasa permeabilidad urbana.

Por ello, la movilidad local es compleja y en ocasiones crítica. En términos de desplazamientos, los viajes laborales son los que predominan, representando el 44% del total en la ZMX, aportando el municipio de Xalapa el 22.41% de los desplazamientos internos.

Los modos como se desarrollan los viajes se distribuyen en una mayoría que los realiza a pie (38.8%), seguido de quienes utilizan el transporte colectivo (33.2%) y sólo un 18.2% que viajan en vehículo particular. No obstante, tales participaciones relativas, las calles manifiestan saturación de vehículos en horas pico y aún existen avenidas principales donde no se han construido aceras para uso peatonal.

El parque vehicular total en la ZMX es de 284 557 unidades, siendo el 76% correspondiente al aporte del municipio de Xalapa, lo que contribuye a la congestión vehicular mencionada. El transporte público, compuesto por 1 475 autobuses y 7 842 taxis, enfrenta problemas –revisión ambiental– por su antigüedad y mantenimiento irregular. La cobertura del servicio es deficiente en las zonas periféricas debido a la falta de infraestructura.

El transporte de mercancías enfrenta deficiencias logísticas con flujos que provienen

del norte (CDMX, Puebla); sureste (Veracruz) y región central (Coatepec). Aunque existe un libramiento para evitar mezclas de tráfico regional, la falta de conexión de este respecto de la mancha urbana y la ubicación de central de abasto y mercados, obligan al uso de la Avenida Lázaro Cárdenas como principal vía de introducción o paso de bienes.

En el sentido opuesto y como consecuencia de acciones de planificación derivadas de la iniciativa de impulso a ciudades emergentes implementada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), actualmente se identifican calles con enfoque de movilidad que prioriza al peatón, disponiéndose a la fecha actual de calles intervenidas y ciclovías emergentes, que suman una longitud de 10 740.46 m, aproximadamente.

En síntesis, los desafíos de movilidad en la ZMX, especialmente en Xalapa, se relacionan directamente con la deficiente permeabilidad urbana; la falta de infraestructura adecuada, el exceso de vehículos y la limitada cobertura del transporte público, causas todas que afectan la fluidez y facilidad de movimiento. La inversión en infraestructura, el fomento del transporte público eficiente y el desarrollo de opciones sostenibles son acciones ineludibles y fundamentales para mejorar la permeabilidad y la calidad de vida en la región.

MARCO TEÓRICO

Satisfacer las necesidades de los ciudadanos requiere la interconexión de ubicaciones geográficas, a través de redes de transporte y los nodos cumplen un papel crucial al facilitar intercambios múltiples. Si la distribución de estos nodos no es uniforme, surge la discontinuidad como una característica adicional que, junto con el rendimiento del transporte y la estructura en sí, se convierte en uno de los principales factores explicativos de las disparidades de accesibilidad en el espacio (Loyola & Alborno, 2009).

A pesar de los esfuerzos destinados a fomentar la movilidad mediante alternativas como el transporte público, caminar o el uso de bicicletas, se observa una marcada dependencia

del vehículo privado. Esto ha resultado en una constante expansión del parque vehicular, aumentando su relevancia en la movilidad diaria. Es crucial destacar, sin embargo, que un aumento en la infraestructura vial no necesariamente se traduce en una mejora en la accesibilidad. Esto se debe a que las propuestas de reestructuración de la red vial en áreas céntricas pueden ocasionar cambios que influyen en la relación entre infraestructura y accesibilidad (Loyola & Albornoz, 2009).

Accesibilidad urbana

La accesibilidad se refiere a la cualidad de un entorno, producto, servicio o información que permite que todas las personas, independientemente de sus capacidades físicas, cognitivas o sensoriales, puedan acceder, interactuar y utilizarlos de manera efectiva y equitativa. Implica la eliminación de barreras y obstáculos que podrían dificultar la participación plena de personas con discapacidades, brindando igualdad de oportunidades y promoviendo la inclusión social. La accesibilidad abarca diversos aspectos como el diseño universal, la adaptación de tecnologías asistidas y la consideración de las necesidades de una amplia gama de usuarios.

Un análisis completo de la accesibilidad y la movilidad constituye la base fundamental para abordar las necesidades de desplazamiento de los usuarios, en el sistema vial urbano de centros históricos cubanos. El análisis realizado en Cuba busca atender tanto la cantidad de viajes como la distancia y el tiempo de recorrido, independientemente del uso de vehículos motorizados. La implementación de medidas que aseguren la movilidad de los usuarios se convierte en una manera efectiva de elevar la calidad de vida de la población, permitiendo que todos los ciudadanos accedan y disfruten del espacio urbano, así como de los servicios disponibles (Santos Pérez *et al.*, 2021).

En la actualidad, los términos "accesibilidad" y "movilidad" han cobrado una importancia crucial en el ámbito de la vialidad urbana, siendo considerados como un punto central a abordar debido a los desafíos que presentan. El sistema vial en áreas urbanas, especialmente en zonas patrimoniales, requiere una gestión

integral debido a las complejas relaciones entre sus componentes y las categorías de accesibilidad y movilidad que caracterizan su funcionamiento. Según Santos Pérez *et al.* (2020), los componentes del sistema vial urbano incluyen flujos vehiculares, flujos peatonales, infraestructura vial, infraestructura peatonal, estacionamientos y dispositivos de control de tráfico, siendo objeto de estudio en el campo de la Ingeniería de Tránsito (Santos Pérez *et al.*, 2021).

Bosque (1992) propone que la accesibilidad se define como "la mayor o menor cantidad de aristas y nodos que es necesario atravesar para llegar al nodo de referencia o algunos de los restantes, permitiendo explicar las posibilidades de interacción entre los distintos puntos de un territorio".

En resumen, la accesibilidad se refiere a la propiedad del entorno físico, compuesto por infraestructuras viales y peatonales que facilita el acercamiento, acceso y desplazamiento de los usuarios del sistema vial urbano. Su gestión adecuada resuelve las necesidades de desplazamiento en términos de cantidad de viajes, distancia y tiempo, independientemente de los medios de transporte utilizados. Por otro lado, la movilidad se refiere a la capacidad de los usuarios para realizar diversos desplazamientos en un área determinada, una vez que han accedido a ella por diversos motivos. La mejora de la movilidad, a través de medidas adecuadas, contribuye a elevar la calidad de vida permitiendo que todos los ciudadanos disfruten del espacio urbano y accedan a los servicios. El análisis conjunto de la accesibilidad y la movilidad se convierte en un enfoque esencial para abordar los desafíos de la vialidad urbana y garantizar un entorno inclusivo y eficiente para la comunidad.

Permeabilidad urbana

De acuerdo con la investigación documental, existe poca información acerca de la permeabilidad vial, es decir, el concepto más utilizado a la hora de realizar una evaluación de las redes viales de una ciudad son movilidad y accesibilidad.

La permeabilidad, *grosso modo*, se refiere a la capacidad de un material, sustancia

o estructura para permitir el paso de otras sustancias a través de estos. En un contexto más amplio, la permeabilidad también puede referirse a la facilidad con la que las personas o las afluencias atraviesan ciertas barreras o límites. En el análisis de la accesibilidad, la permeabilidad puede ser considerada como el grado en que las restricciones o barreras impuestas en un entorno o sistema permiten o dificultan el acceso y la interacción de diferentes individuos o elementos.

El concepto de permeabilidad se aborda de diversas maneras según el contexto y el enfoque de análisis. De acuerdo con Ghonimi (2010, como se citó en Argueta, 2017), la permeabilidad se refiere a la facilidad con la que una persona puede desplazarse en un entorno, lo cual está influenciado en gran medida por las rutas y elementos presentes en el espacio urbano. Esta perspectiva considera que, al eliminar obstáculos y barreras, la permeabilidad mejora la calidad del entorno urbano. Por otro lado, Morgan (2005, como se citó en Argueta, 2017) describe la permeabilidad como la facilidad con la que una persona atraviesa un área utilizando algún medio de transporte. Por su parte, la Norma Técnica de Accesibilidad de Dublín, (2015, como se citó en Argueta, 2017), la permeabilidad se define como el grado en que un área urbana permite el desplazamiento de peatones y ciclistas. Estas definiciones enfatizan diferentes aspectos de la movilidad, incluyendo la caminata como modo de transporte no motorizado en contextos urbanos (Argueta, 2017).

Sin embargo, estas definiciones se centran mayormente en unidades habitacionales, en donde la dependencia del automóvil privado es alta y la perspectiva se limite a comunidades de clase media y alta. En investigaciones más recientes, la permeabilidad ha sido explorada desde diversas perspectivas en relación con modelos urbanos. Estos enfoques incluyen la influencia de la permeabilidad en el capital social, el crimen, la cohesión social y la actividad física. Algunos autores proponen modelos de seguridad que varían entre la participación comunitaria y la restricción de la permeabilidad. Sin embargo, estas investigaciones han omitido –en su mayoría– la permeabilidad

en comunidades de bajos ingresos donde la caminata es el principal medio de transporte, así como la producción del espacio social por parte de diferentes actores a lo largo del tiempo (Argueta, 2017).

La interacción constante de los habitantes con su entorno, permeable o no, juega un papel esencial en la concepción de la permeabilidad. Este enfoque, planteado por Santos (1986, 1990), considera tanto los elementos físicos como las acciones dentro de un espacio. En resumen, el concepto de permeabilidad abarca diversas interpretaciones según el contexto, y su análisis ha evolucionado desde enfoques de movilidad hasta consideraciones más amplias sobre la producción del espacio social y la interacción humana (Argueta, 2017).

Por lo tanto, la permeabilidad, en sus diversas interpretaciones, alude a la facilidad con la que una persona puede atravesar un espacio determinado, ya sea a pie o mediante algún medio de transporte, dependiendo de las rutas, obstáculos y elementos presentes en dicho entorno urbano. Esta noción de permeabilidad busca eliminar barreras y mejorar la movilidad, contribuyendo así a la calidad y accesibilidad del entorno urbano en cuestión.

La vinculación entre permeabilidad y accesibilidad

Los conceptos de accesibilidad y permeabilidad están estrechamente interrelacionados en el contexto urbano, como se menciona en la siguiente analogía. La permeabilidad se refiere a la capacidad de un entorno para permitir el paso de personas, ideas o influencias, lo cual puede relacionarse directamente con la accesibilidad por su parte, ésta se refiere a la posibilidad de que todas las personas, independientemente de sus capacidades, puedan acceder y utilizar entornos, productos o servicios de manera efectiva y equitativa.

En el análisis de la accesibilidad, la permeabilidad cobra relevancia al considerar cómo las restricciones o barreras presentes en un entorno pueden facilitar u obstaculizar el acceso y la interacción de diferentes individuos o elementos. Si un entorno es permeable, es decir, permite un flujo fluido y sin obstáculos, se facilita la accesibilidad para todas las per-

sonas, incluidas aquellas con discapacidades. La permeabilidad contribuye a eliminar las barreras físicas y cognitivas que pueden dificultar la participación plena de individuos con capacidades diversas.

La eliminación de obstáculos y la mejora de la permeabilidad pueden resultar en un aumento de la accesibilidad, lo que a su vez promueve la inclusión social y garantiza la igualdad de oportunidades para todos. En este sentido, la relación entre accesibilidad y permeabilidad se vuelve evidente en cómo la capacidad de atravesar un entorno sin dificultades afecta directamente la accesibilidad de las personas a los servicios, espacios y oportunidades que ofrece el entorno urbano.

Finalmente, la permeabilidad y la accesibilidad están interconectadas en el sentido de que una permeabilidad adecuada contribuye a una mayor accesibilidad para todos. La eliminación de barreras y la promoción de la permeabilidad en los entornos urbanos son esenciales para lograr una sociedad inclusiva, donde todas las personas puedan participar plenamente en la vida urbana y disfrutar de sus beneficios sin restricciones. Al analizar la accesibilidad desde la perspectiva de la permeabilidad, es posible examinar cómo las barreras o limitaciones en un entorno específico pueden influir en la capacidad de las personas para acceder y participar plenamente en él. Esta interacción entre accesibilidad y permeabilidad arroja luz sobre cómo los obstáculos pueden impactar la inclusión y la participación, y cómo la apertura de caminos puede fomentar un entorno más equitativo y accesible para todos.

Ampliando la perspectiva de permeabilidad: conectividad

La conectividad es otro concepto con el que se relaciona la permeabilidad, según se desprende de un estudio elaborado por Ben Hillier, en 1970, en el que se analizó la conectividad vial mediante una metodología de la sintaxis espacial.

En palabras llanas, la sintaxis espacial es un simulador que utiliza un conjunto de técnicas, que se pueden aplicar individualmente y en diferentes combinaciones, y que construyen índices sobre una red compuesta de nodos y

conectores —ejes viales— que, evalúan su conectividad, integración, profundidad y elección.

La conectividad se calcula tomando en cuenta la configuración espacial de las líneas axiales, es decir, los ejes viales, para así, determinar las interacciones que ocurren en el espacio, donde la cantidad de interacciones indicará el valor de conectividad. Por su parte, la integración se determina por el uso del espacio, así como por las fortalezas y debilidades de las relaciones sociales, a través de la evaluación del uso de una determinada configuración espacial. En la profundidad se contabiliza el espacio existente entre la salida de un edificio hasta el espacio público más cercano, y, por último, la elección determina la cantidad de movimiento que pasa a través de cada elemento espacial de la red expresado en viajes, es decir, calcula rutas de un punto de origen a un punto de destino, tratando de minimizar el esfuerzo de traslado (Ramírez Uribe *et al.*, 2023).

Como se expresa, las aproximaciones al estudio de la accesibilidad, la permeabilidad y la conectividad se ha realizado a partir de la experiencia en el comportamiento de las redes. Al tratarse de cuestiones urbanas, el análisis ha incorporado el uso de los sistemas de información geográfica, para, tratándose del sistema vial urbano, equiparar los elementos urbanos a los nodos y conectores de una red. 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”. En el mismo sentido, 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” (Comas y Ruíz, 2003).

METODOLOGÍA

El referente empírico lo constituyó la red vial del municipio de Xalapa, tomando como referencia su tamaño físico y disposición en dos fechas, 1999 y 2021. Las carreteras regionales fueron discriminadas del análisis.

Para hacer operativo el concepto de permeabilidad se tomó en consideración dos indicadores: 1) La densidad de intersecciones viales por kilómetro cuadrado y 2) La densidad vial expresada en longitud de red por hectárea.

La estructura vial 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, como ya se dijo, 1999 y 2021. Cabe señalar que la cartografía vial para ambos años fue revisada antes de realizar el procedimiento a fin de verificar que la vialidad fuera realmente existente y no sólo una anotación cartográfica.

A) Densidad de intersecciones viales por kilómetro cuadrado

Para establecer un punto de comparativa en el primer indicador, se tomó en consideración lo establecido por la Norma Oficial Mexicana *NOM-001-SEDATU-2021, Espacios públicos en los asentamientos humanos*, que indica que debe existir un rango de 80 a 120 intersecciones por cada kilómetro cuadrado para que el espacio público sea próximo, haciendo referencia a la distancia y modo de acceso –ruta o viaje– que deben realizar sus beneficiarios. “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”.

El concepto de permeabilidad se asocia al rango de intersecciones viales señalados por la norma en función de la mayor porosidad que implica una red con mayor cantidad de nodos y la mayor posibilidad de cambio de rutas para alcanzar los atractores en el espacio, en función de las posibilidades que ofrece la misma red. La propia norma particulariza la definición de espacio público al referirse a las vías urbanas, al

señalarlas como 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 y se dividen en dos:

- Vías urbanas
- Vías regionales.

Una vez verificada y corregida la información, se procedió a identificar el número de intersecciones mediante el SIG. Posteriormente, se realizó un cruce de las intersecciones identificadas con una malla con cuadrantes de 1 kilómetro cuadrado y se determinó el número de intersecciones en cada cuadrante, obteniendo de esta manera un mapa de índice de intersecciones (Intersección/km²), obteniendo valores máximos y mínimos que sirvieron para establecer un rango de “permeabilidad”, en el que se identificó además, la moda y el promedio de intersecciones en red, es decir, la mayor frecuencia de número de cuadrantes con similar cantidad de intersecciones y el resultante de intersecciones divididas entre el total de cuadrantes. De esta manera, se generó un mapa para visualizar las áreas de la ciudad con mayor permeabilidad o menor permeabilidad, en función del número de intersecciones.

B) Densidad por longitud vial

En un segundo tiempo y con apoyo de la metodología de densidad horizontal –utilizada para determinar la densidad de drenaje en corrientes de agua–, se analizó la red vial en función de su longitud por hectárea, equiparándola a una red de vasos comunicantes, cuyo objetivo es evacuar el exceso de agua, lo que puede ser especialmente relevante en el contexto de la hidrología y la gestión 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; una extensión con una alta densidad de drenaje tiene muchos canales que permiten que el agua fluya eficazmente, reduciendo el riesgo de inundaciones, ya que el agua de lluvia puede ser evacuada rápidamente.

En planificación urbana, la densidad vial se refiere a la cantidad de carreteras, calles e intersecciones en una determinada superficie urbana. Una alta densidad vial significa que hay una alta concentración de conectores –longitud vial–, lo que incide sobre la conectividad y, por ende, sobre 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 conectividad 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 que se conduce es más eficiente y menos propenso a la congestión. El índice se calcula mediante la expresión matemática:

$$DV = \text{Longitud (m)} / \text{Superficie (Ha)}$$

Su elaboración es similar a la determinación del número de intersecciones mencionado anteriormente, separando el territorio en cuadrantes, en esta ocasión de una hectárea, y midiendo a su interior la longitud en metros de la red vial contenida.

RESULTADOS

Como resultado de cada procedimiento se obtuvieron cuatro mapas, dos por cada indicador, según las fechas de observación seleccionadas. Con los mapas fue posible desprender algunos resultados y someterlos a interpretación entre sí, sin considerar agentes externos, resultados similares en otras redes viales.

Densidad de intersecciones

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

- El número máximo de intersecciones presentes en un cuadrante de 1 km² fue de 166, mientras que el mínimo de una intersección se presentó en un total de 13 cuadrantes.
- La moda, “es decir, el número de intersecciones que se presenta más” es de 3 intersecciones en un km² y se presentó en 16 cuadrantes,
- El promedio de intersecciones por kilómetro cuadrado fue de 35.

Cabe mencionar que tales resultados se determinaron del análisis de un total de 135 cuadrantes de 1 kilómetro cuadrado que cubren el territorio sobre el que se ubican las vialidades de Xalapa. En el caso del rango, que se menciona en la NOM-001, indica que en el rango de 80 a 120 intersecciones por km² se encontró que sólo se presenta en un total de 19 cuadrantes y se encuentran distribuidos en toda de la ciudad.

TABLA 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, 1999

	Intersecciones	Cuadrantes (km²)
Máximo	166	1
Mínimo	1	13
Moda	3	16
Promedio	35	Por cuadrante
NOM_001	80 - 120 intersecciones	19

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

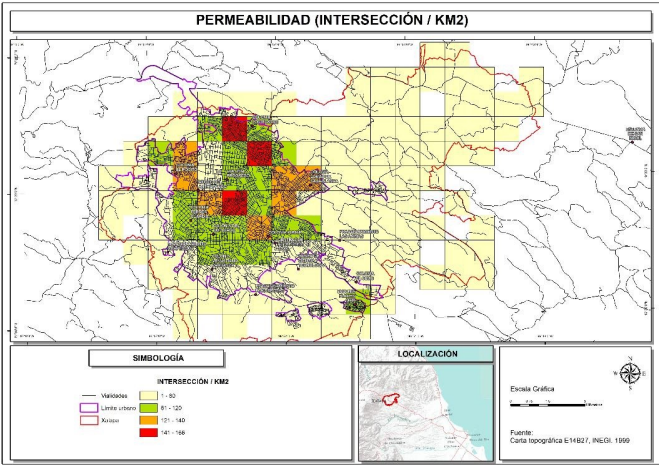


FIGURA 2. PERMEABILIDAD EN EL AÑO 1999 (POR INTERSECCIONES).
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el 2021, la situación tuvo un cambio, observándose lo siguiente:

- El número máximo de intersecciones presentes en un cuadrante de 1 km² fue de 406, mientras que el mínimo de una intersección se presentó en un total de 12 cuadrantes.
- La moda resultó de 1 intersección en un km² y se presentó en 12 cuadrantes.

- En promedio se obtuvo que existían para esa fecha, 102 intersecciones por kilómetro cuadrado.

Dentro del rango, que se menciona en la NOM-001 de 80 a 120 intersecciones por kilómetro cuadrado, se encontró que sólo se presenta en un total de 16 cuadrantes, menos que en 1999, y se encuentran distribuidos en la zona centro y suroeste de la ciudad.

TABLA 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, 2021

	Intersecciones	Cuadrantes (km ²)
Máximo	406	1
Mínimo	1	12
Moda	1	12
Promedio	102	Por cuadrante
NOM_001	80 - 120 intersecciones	16

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

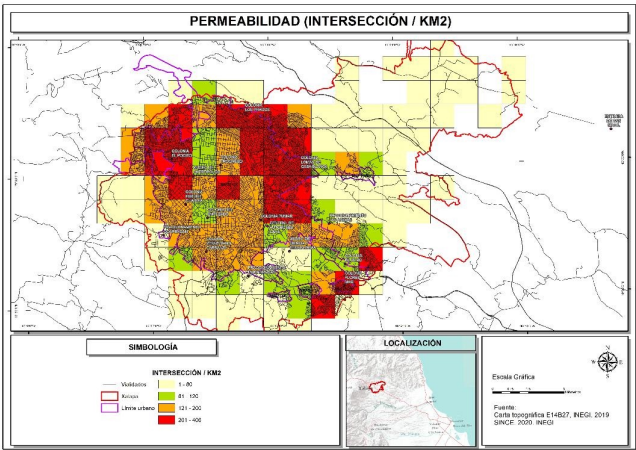


FIGURA 3. PERMEABILIDAD EN EL AÑO 2021 (POR INTERSECCIONES).
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Este primer análisis identificó que entre 1999 y 2021, hubo un aumento significativo en el número promedio de intersecciones por km², pasando de 35 a 102 intersecciones. Esto indica una mayor consolidación y complejidad en la red vial de la ciudad.

La variabilidad en el número de intersecciones también aumentó en 2021, con un máximo de 406 intersecciones en un sólo cuadrante, en comparación con 166 en 1999. Esto indica un acrecentamiento en la partición de manzanas por vialidades, generando mayor variación en la densidad de intersecciones en diferentes áreas de la ciudad y, en consecuencia, mayor permeabilidad en esas áreas.

Con respecto al cumplimiento de la norma oficial, 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 km².

En general, estos datos sugieren que la densidad de intersecciones en Xalapa ha aumentado significativamente hacia las periferias de la zona urbana de Xalapa, y está muy marcado el noreste, este y sureste del municipio. En oposición, las porciones oeste y sur se encuentran en rangos mínimos, lo que dificulta el acceso ágil hacia esas vertientes. El mapa comprueba lo que de facto se conoce en cuanto a que la movilidad es mucho más ágil en sentido norte sur que de oriente a poniente, tanto por los bordes existentes como por la escasez de interconexiones viales.

Además, se observa que una gran cantidad de cuadrantes aún no cumplen con las pautas establecidas en la NOM-001 en cuanto a la densidad de intersecciones.

Densidad vial

En el segundo planteamiento, relacionado con la longitud de la red vial, se encontraron los siguientes resultados.

Para el año 1999, en función de la longitud total y la disposición de la red vial, se construyó un rango que categorizó en cuatro escalones al indicador de densidad de longitud vial, obteniendo lo siguiente:

- Cuadrantes con menos de 100 metros de vialidad –considerados como Densidad vial baja– se contabilizan en un total de 1 833, siendo tal grupo el que presenta la menor capacidad de flujo vehicular;
- Cuadrantes con longitud vial entre 101 y 200 metros por hectárea, –Densidad vial media–, se presenta en un total de 2 337;
- Cuadrantes con longitud de 201 a 300 metros –Densidad Vial Alta– alcanzan un número de 1 242;
- Cuadrantes con valores mayores a 300 metros de longitud vial, se contabilizan en número de 222.

TABLA 4. DENSIDAD VIAL 1999

Long (m)/Ha	Superficie (ha)	Número de cuadrantes (1Hectárea)
>100	18 330 000.00	1 833
101 – 200	23 370 000.00	2 337
201 – 300	12 420 000.00	1 242
>300	2 220 000.00	222
		5 634

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se observa que nuevamente las zonas de la ciudad con mayor densidad de longitud vial corresponden a las zonas oeste y norte, mientras que las occidente y sur manifiestan menor presencia. También se advierte que la

presencia de áreas naturales al interior de la mancha urbana, implican, desde el punto de vista de la red vial, grandes extensiones sin comunicación.

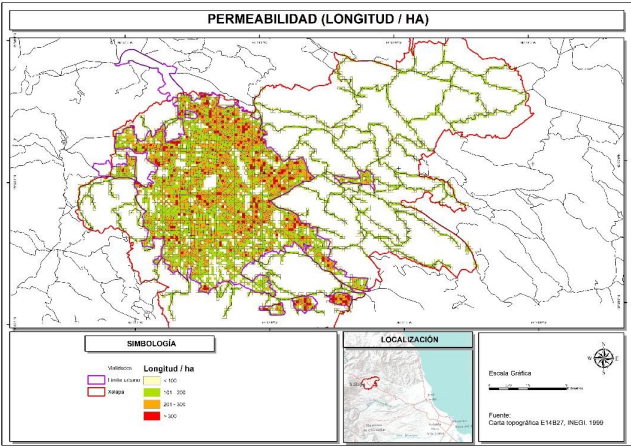


FIGURA 4. PERMEABILIDAD EN 1999 (DENSIDAD VIAL).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el 2021 la situación fue diferente. Utilizando la misma categorización de 1999 se observó que la densidad vial calificada como alta y muy alta se incrementaron notablemente, tal y como se muestra en el cuadro.

TABLA 5. DENSIDAD VIAL 2021

Long (m) / Ha	Superficie (ha)	Número de cuadrantes (1.0 Hectárea)
>100	15 120 000.00	1 512
101 – 200	20 360 000.00	2 036
201 – 300	20 330 000.00	2 033
>300	14 020 000.00	1 402
		6 983

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Mención especial merece la densidad muy alta, la cual muestra concentración en grandes extensiones del norte y sureste de la ciudad, producto de la ocupación de esos territorios con zonas habitacionales de tipo popular e interés social.

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 una mayor apertura de vías urbanas, incorporando nuevo suelo al desarrollo o consolidando que en 1999 ya formaba parte de la zona urbana.

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 conectividad y

más opciones de movimiento para los usuarios de la red vial, aunque también se asocia a una mayor presencia del automóvil en la ciudad, de ahí que resulta esencial una adecuada gestión del tráfico vehicular para evitar la congestión y garantizar la seguridad vial.

El aumento de la polución derivada del uso del vehículo como consecuencia de la mayor 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.

Lo que se busca mostrar es que ambos índices, basados en el estudio de nodos y conectores, permiten conocer las características de la red vial, establecer sus problemáticas y posibles modos de atención a efecto de mejorar la permeabilidad y la conectividad urbana, incidiendo

así sobre una movilidad más accesible. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de la realización de una planificación urbana

efectiva, que tenga en cuenta el crecimiento de la red vial y su impacto en la calidad de vida de los residentes.

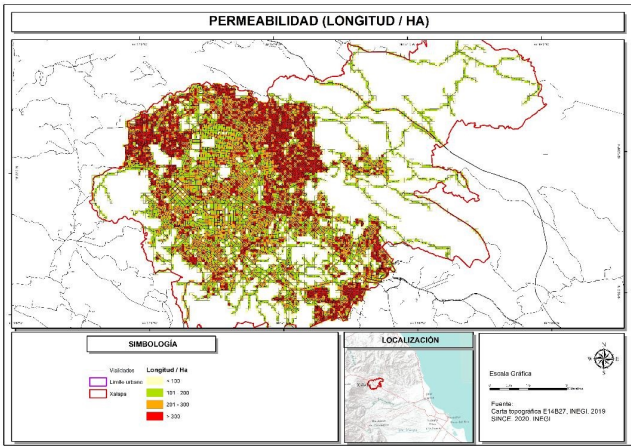


FIGURA 5. PERMEABILIDAD EN 2021 (DENSIDAD VIAL).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

CONCLUSIONES

La densidad de intersecciones en un área urbana está estrechamente relacionada con la permeabilidad de esa área. Un aumento en la densidad de intersecciones generalmente mejora la permeabilidad y la movilidad urbana, mientras que la distribución y la variabilidad en la densidad de intersecciones pueden influir en la accesibilidad en diferentes partes de la ciudad.

El cumplimiento de las normativas también puede desempeñar un papel en la gestión de la permeabilidad urbana. Sin embargo, desde otra perspectiva, es posible visualizar que, de acuerdo con el conocimiento del territorio de la ciudad, cuadrantes que cumplen con la dosificación normativa podrían estar aquejados de insuficiencia de longitud vial, lo que implica que su desempeño no sería el óptimo.

Por su parte, la densidad de longitud vial es posible de asociar con el concepto de conectividad en el entorno urbano. La conectividad se refiere a la facilidad con la que las personas y los vehículos pueden moverse a través de una determinada área o región. En este sentido, el aumento en la densidad vial, especialmente en las categorías de alta y muy alta, sugiere

una mayor conectividad y más opciones para el usuario para optar sobre sus rutas y movimientos en la región.

El análisis conjunto de nodos y conectores de una red vial mediante el auxilio de los índices aquí presentados permite una aproximación cuantitativa al fenómeno de la movilidad urbana, a partir de sus componentes de permeabilidad y conectividad urbana.

Ambos componentes se relacionan y permiten entender las relaciones entre el territorio y el usuario cuando se alude a los conceptos de accesibilidad o proximidad, por ejemplo. Sólo sería accesible aquello que se puede alcanzar y para ello se requiere el uso de la red vial. Lo mismo en cuanto a la proximidad: sólo sería cercano lo que se consigue con el menor recorrido, y nuevamente, los indicadores estudiados arrojan luz al respecto.

Destaca la importancia de una planificación urbana efectiva en el desarrollo de la infraestructura vial. Una planificación adecuada puede garantizar que el crecimiento de la red vial se realice de manera coordinada y sostenible, lo que contribuye a una mayor permeabilidad

al permitir un flujo más eficiente y seguro de personas y vehículos.

Posibles beneficios urbanos a partir del análisis de la red vial local:

- El aumento en la densidad de intersecciones y densidad vial, especialmente en las categorías de alta y muy alta densidad, sugiere una mayor accesibilidad y opciones de movimiento en la región. Esto se traduce en una mayor permeabilidad, lo que facilita el flujo de personas y vehículos.
- El crecimiento de la red vial mejora la conectividad en áreas específicas, lo que reduce los tiempos de viaje y mejora la movilidad.
- Una red vial adecuada puede impulsar el desarrollo económico al mejorar la accesibilidad a áreas comerciales y empresariales.
- El crecimiento de la red vial crea oportunidades para un desarrollo urbano más sostenible y ordenado.

Estos resultados destacan la importancia de una planificación urbana efectiva para guiar el desarrollo de la red vial de manera coordinada y sostenible. Una planificación adecuada puede ayudar a maximizar los beneficios de una mayor densidad de intersecciones y densidad vial, al tiempo que aborda los desafíos del crecimiento desordenado y la congestión del tráfico.

En conclusión, los cambios en la densidad de intersecciones y densidad vial tienen un impacto directo en la permeabilidad y la conectividad en una región urbana, lo que incide de manera directa en su sistema de movilidad. Un aumento en estas densidades puede mejorar la accesibilidad y la conectividad, pero debe ir acompañado de una visión planificación urbana que tienda hacia una movilidad accesible y con criterios de proximidad, en beneficio social.

EN CONCLUSIÓN,
los cambios en la
DENSIDAD DE
INTERSECCIONES
y la
DENSIDAD VIAL
tienen un
IMPACTO DIRECTO
en la
PERMEABILIDAD Y
LA CONECTIVIDAD
en la región urbana,
LO QUE INCIDE
DE MANERA DIRECTA
en un
SISTEMA DE
MOVILIDAD.

FUENTES DE CONSULTA

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*, núm. 17, pp. 145-171. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333053372008>, consultado el 29 de agosto de 2023.

Delgadillo Macías, J. (2015), *Por una geografía humanista*, Ángel Bassols Batalla, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

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”, *Movilidad Urbana*, vol. 12, núm. 19, pp. 17-27.

NOM-001-SEDATU-2021, Norma Oficial Mexicana, Espacio públicos en los asentamientos humanos. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5643417&fecha=22/02/2022#gsc.tab=0, consultado el 20 de octubre de 2023.

POTZMX (Programa de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Xalapa) (2022), Programa de Ordenamiento Territorial de la Zona Metropolitana de Xalapa, Veracruz. SEDATU. Disponible en: http://www.veracruz.gob.mx/desarrollosocial/wp-content/uploads/sites/12/2022/02/PRESENTACI%C3%93N_ZMX_FEB-FINAL.pdf, consultado el 28 de octubre de 2023.

Ramírez Uribe, G., García 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*, vol. 16, núm. 33, pp. 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*, vol. 15, núm. 2, pp.1-14. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193968640001>, consultado el 29 de agosto de 2023.