

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Enfoques y herramientas para analizar la estructura urbana
en relación con la infraestructura de transporte”

T E S I S

que para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS presenta:

LEONOR GONZALEZ AGUILAR

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ MANUEL GUTIÉRREZ MORENO

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. ALEJANDRO SÁNCHEZ ATONDO

Mexicali, B. C. a 28 de abril de 2025

Dedicatoria

A Dios

A mis padres

A mi familia

Agradecimientos

Gracias a mi director Dr. José Manuel Gutiérrez Moreno y Codirector Dr. Alejandro Sánchez Atondo, sin su guía y apoyo no hubiera concluido este proyecto, seguiré preparándome y esforzándome para ser mejor cada día.

Contenido

Introducción	6
Planteamiento del problema	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Capítulo 1. Revisión Rápida de Literatura	8
Metodología particular para RRL	9
Resultados RRL	15
Conclusión particular de la RRL	21
Capítulo 2. Contexto	22
La congestión; tipos y causas	22
La ciudad	25
Diferencias entre ciudades del Norte y Sur Global	26
Modalidad de transporte predominante para los viajes	35
Capítulo 3. Discusión	38
Enfoque Modelos de transporte	39
Modelos de simulación de tráfico	39
Modelos de asignación de tráfico	41
Enfoque Superposición de capas de información de elementos urbanos	42
Teoría de la forma urbana	44
Teoría de la jerarquía de transporte	45
Análisis de patrones de viaje	46
Análisis de clúster de transporte	47
Análisis de la relación entre la estructura urbana y la movilidad	48
Análisis de redes de transporte	50
Análisis de accesibilidad	52
Enfoque Sustentabilidad	54
Movilidad urbana	54
Plan de movilidad urbana sostenible	56
Desarrollo Orientado al Transporte	57
Ciudades inteligentes	59
Enfoque Indicadores	62
Índice de Movilidad Urbana (UMI) e Índice de preparación para la movilidad urbana (UMRI)	63

Índice de Movilidad Urbana (IMU)	69
Indicadores de movilidad sostenible (ITDP)	72
Índice de resiliencia de la ciudad (CRI)	75
Índice de resiliencia del transporte, derivado del CRI	76
Conclusiones y recomendaciones	83
Anexos	86
Anexo 1.	87

Indicé de figuras

<i>Figura 1. Diagrama de la metodología general de la investigación</i>	6
<i>Figura 2. Proceso de selección de artículos utilizando metodología Prisma ScR</i>	11
<i>Figura 3. Ficha de investigación o cuestionario utilizado para extracción de datos</i>	14
<i>Figura 4. Distribución temporal de publicaciones.</i>	15
<i>Figura 5. Información complementaria del apartado A.</i>	17
<i>Figura 6. Aparado B - Principales problemas asociados al transporte</i>	17
<i>Figura 7. Mapamundi de países del norte y sur global.</i>	27
<i>Figura 8. Análisis SIG para eficientizar rutas de transporte con ArcGIS Pro.</i>	43
<i>Figura 9. Análisis de cobertura de paraderos de transporte público utilizando SIG.</i>	44
<i>Figura 10. visualización de red vial codificada en TRANUS.</i>	51
<i>Figura 11. Mapa axial resultado del análisis de conectividad, caso Hermosillo, Sonora.</i>	53
<i>Figura 12. Las dimensiones de análisis para la dinámica urbana</i>	54
<i>Figura 13. Esquema de representación del Desarrollo Orientado al Transporte</i>	57
<i>Figura 14. Esquema de supermanzanas en el concepto Smart City</i>	60
<i>Figura 15. Cinturón establecido en Londres para el pago de la tasa por congestión.</i>	61
<i>Figura 16. Ejemplos de evaluación de movilidad a través de sistemas de indicadores</i>	62
<i>Figura 17. Evaluación del Índice de preparación para la movilidad urbana</i>	65
<i>Figura 18. Urban Mobility Index 3.0 – City ranking. Arthur D. Little.</i>	67
<i>Figura 19. Estructura del índice de movilidad urbana del IMCO</i>	70
<i>Figura 20. Diagrama de indicadores de variables de referencia IMU-IMCO</i>	71
<i>Figura 21. Estructura del City Resilience Index (CRI)</i>	76
<i>Figura 22. Propuesta para calcular un índice de resiliencia del transporte público derivado del indicador 9.1 del CRI</i>	82

Indicé de tablas

<i>Tabla 1. Información del apartado A, ciudades.</i>	15
<i>Tabla 2. Información complementaria del apartado A.</i>	16
<i>Tabla 3. Soluciones a problemas de sistemas de transporte en RRL.</i>	18
<i>Tabla 4. Muestra representativa de ciudades del Global South y principales desafíos.</i>	29
<i>Tabla 5. Categorías y enfoques de análisis de transporte.</i>	38
<i>Tabla 6. Modelos y técnicas para realizar asignación del tráfico</i>	41
<i>Tabla 7. Ventajas y desventajas de la implementación del DOT en países del sur global</i>	58
<i>Tabla 8. Recopilación de definiciones de resiliencia de los sistemas de transporte por distintos autores</i>	77
<i>Tabla 9. CRI 9.1.1. Red diversa y adecuada - índice de resiliencia del transporte público derivado.</i>	80
<i>Tabla 10. CRI 9.1.2. Transporte público diverso y asequible - índice de resiliencia del transporte público</i>	80
<i>Tabla 11. CRI 9.1.3. Alternativas de transporte personal - índice de resiliencia del transporte público</i>	81
<i>Tabla 12. CRI 9.1.4. Conexiones de transporte diversas y efectivas - índice de resiliencia del transporte público</i>	81

Introducción

Autores como Costa et al. (2017)¹ señalan que la rapidez con la que incrementa la población, aumenta la dependencia del auto particular y las ciudades se expanden con limitada planeación, surge el desafío: adaptar el territorio a las necesidades de transporte, buscando mecanismos para proteger el medio ambiente y asegurar la inclusión social.

La situación es compleja, y no todas las ciudades cuentan con los mismos recursos, estudios, datos y tiempo para implementar las soluciones que se requieren, sin embargo, es importante buscar soluciones a corto, y largo plazo, que permitan escenarios sostenibles para promover la movilidad urbana. En este sentido, este trabajo se desarrollará siguiendo la metodología presentada en la **Figura 1**, la intención es ofrecer *soluciones contextuales*.

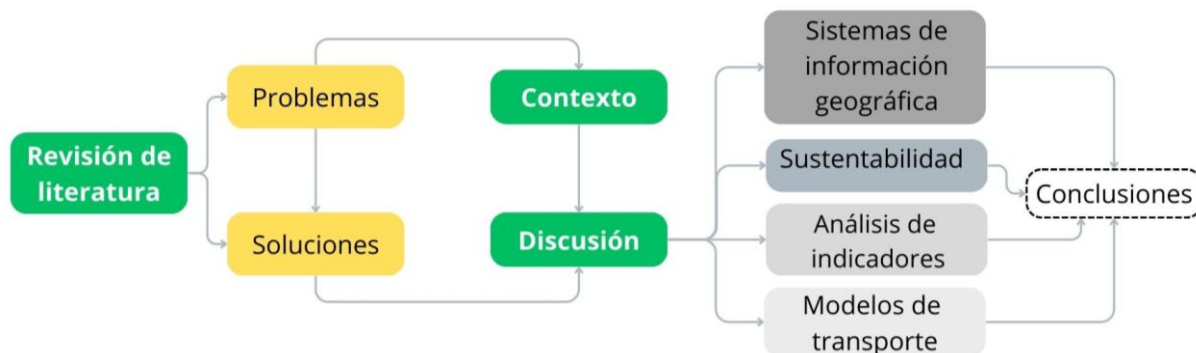


Figura 1. Diagrama de la metodología general de la investigación

La metodología general tiene tres momentos o capítulos (cuadros verdes), el *primer capítulo* es una revisión rápida de literatura; donde se busca determinar utilizando la metodología Prisma ScR, tanto los problemas como soluciones reportadas en la literatura del transporte urbano; el *segundo capítulo* se titula contexto, donde se presentan algunos conceptos clave que servirán para acentuar las variables y diferencias más importantes en este fenómeno; el *tercer capítulo* tiene la intención es generar categorizar y discutir los principales enfoques y herramientas para analizar el transporte urbano, lo anterior no sigue la metodología Prisma ScR. Finalmente, las conclusiones generales sobre que enfoque y herramienta puede tener mayor aplicación/impacto, según el contexto urbano.

¹ Costa, P. B., Neto, G. M., & Bertolde, A. I. (2017). Urban mobility indexes: A brief review of the literature. *Transportation Research Procedia*, 25, 3645-3655.

Planteamiento del problema

Debido a la alta concentración de personas que viven en áreas urbanas, se desarrollan actividades que en conjunto producen emisiones contaminantes a la atmósfera, uno de los mayores desafíos está asociado a la relación planificación del transporte y usos del suelo. Surgiendo preguntas como ¿Tenemos una buena planificación del transporte?, ¿Cómo el crecimiento de la mancha urbana ha generado un problema en la eficiencia de la movilidad?, ¿Esto nos ha llevado a generar desplazamientos más largos (distancia-tiempo)? y por ello, ¿Se generan mayores emisiones?

El principal problema que discutirá este trabajo es la congestión, consecuencia de múltiples variables asociadas, como lo son la estructura urbana y su disposición, los usos de suelo, la capacidad de la oferta de transporte, dependencia al vehículo particular, entre otros.

En última instancia, se espera promover la reflexión tanto de la magnitud del problema, como de diferentes formas de abordarlo para encontrar soluciones al alcance de todos.

Objetivo general

Identificar un conjunto de enfoques y herramientas que permitan mejorar el funcionamiento del transporte urbano para ciudades de diverso contexto y recursos.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión de literatura rápida para establecer los principales problemas del transporte urbano.
- Establecer un conjunto de enfoques y herramientas para analizar la relación estructura urbana – transporte.
- Discutir las ventajas, y establecer recomendaciones de estos enfoques de análisis para su aplicación en distintos contextos urbanos.

Capítulo 1. Revisión Rápida de Literatura

Este capítulo presenta una Revisión Rápida de Literatura (RRL) sobre problemas en la movilidad urbana y soluciones para mejorar los ejercicios de planeación del transporte. Esta RRL consiste en seleccionar, recopilar y clasificar artículos en los cuales se manejen problemáticas y soluciones en el sistema de transporte, considerando las cualidades de cada ciudad donde se presentaron, con el fin de poder adaptarlas y ayudar a otras ciudades con los mismos problemas y mejorar su movilidad urbana. Se utilizó PRISMA ScR para la elaboración de esta revisión rápida de literatura².

Como objetivo general de la RRL de este apartado se pretende:

- *Identificar y clasificar los problemas que se generan en los sistemas de transporte y las posibles soluciones para mejorar la movilidad urbana.*

Como objetivos específicos de la RRL de este apartado se pretende:

- Determinar los problemas más comunes en la planeación del transporte.*
- Identificar posibles soluciones.*
- Clasificar y comparar los problemas y soluciones de movilidad urbana-sistema de transporte de acuerdo con sus características.*

Las preguntas de investigación que guían esta RRL son:

- *¿Cuáles son los problemas en el sistema de transporte que influyen en la movilidad urbana? y ¿Qué soluciones se han propuesto para cada uno de ellos?*

Las palabras clave en inglés usadas en la búsqueda de esta RRL son:

- *urban mobility*
- *transport system*
- *land use*
- *urban mobility index*

² Liberati A., Altman D. G., Tetzlaff J., Mulrow C., Gøtzsche P. C., Ioannidis J. P., ... & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for reporting reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *Bmj*, 339, b2700.

Metodología particular para RRL

Esas son las palabras que conforman la cadena de búsqueda. En los artículos se buscarán los problemas que se presentan en el sistema de transporte debido a la movilidad urbana o el uso de suelos, y las soluciones que se dan a dichos problemas. El índice de movilidad urbana tiene como objetivo identificar los problemas y proponer soluciones en los sistemas de transporte.

Las cuatro cadenas de búsqueda llevadas a cabo son:

1. *“urban mobility” and “transport system”*
2. *“urban mobility” and “land use”*
3. *“transport system” and “land use”*
4. *“urban mobility index”*

El proceso de búsqueda de esta RRL se realizó consultando tres bases de datos (BD):

1) *Dimensions*, 2) *Science Direct* y 3) *Scopus*. Con los pasos a seguir descritos a continuación:

- I. Los estudios se recolectaron de la búsqueda en base de datos y metabuscadores para las 4 cadenas.
- II. Para las cadenas 1 a 3 se aplicó la búsqueda solo en título, resumen y palabras claves. Para la cadena número 4 se aplicó a título, resumen, palabras claves y texto completo.
- III. Se seleccionaron artículos, revistas, libros, conferencias y notas. Para el área de estudio fue en ingenierías y en ciencias. La búsqueda en BD comprende desde el 1 de enero de 2010 hasta el 6 de octubre del 2021.

El proceso de selección consideró los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión:

- Escrito en inglés
- Publicado desde el 2010 al 2021
- Reporte un problema en el sistema de transporte
- Presente una solución al problema en el sistema de transporte

Las publicaciones más importantes sobre el tema son escritas en el idioma inglés. Siempre han existido problemas en los sistemas de transporte, pero en los recientes años se han generado mayores por la facilidad de adquisición de automóviles privados, y antes se creía que solo con ampliar la infraestructura ayudaría a solucionar los problemas que se generaban. Por ello se buscan soluciones a los problemas de transporte para los recientes años. Es importante que los artículos contengan un problema en el sistema de transporte y una solución a dicho problema, estos son los datos importantes para recopilar.

Criterios de exclusión

- Descartar artículos que mencionaran los problemas de movilidad presentados por la pandemia (COVID).

Debido a que el virus provocó un movimiento diferente en los sistemas de transporte, el desempleo o teletrabajo, las dinámicas de movilidad cambiaron. En cuanto las ciudades presentaban sus índices de mejoría, volvían a retomar sus antiguos hábitos respecto a su movilidad en el sistema de transporte. Por esa razón se excluirán del proceso de selección.

El proceso de elección de artículos de esta RRL se realizó de la manera siguiente:

- Se descargará todos los datos de las cadenas en formato *BibTex*, para los 3 buscadores / metabuscadores.
- Se utilizará una aplicación web llamada *Rayyan*, en la cual se agregarán todos los archivos en formato *BibTex*.
- Una vez subidos a *Rayyan*, se procederá a detección de duplicados, para su eliminación.
- Seleccionar los artículos que cumplan con los criterios de selección, leyendo tanto el título como el abstract.
- Teniendo ya los artículos seleccionados que cumplieron, se tendrán que leer a texto completo y se descartarán de nuevo los artículos que no cumplan con los criterios de selección.
- Se procede a extracción de datos.

De manera general en la **Figura 2**, se pueden ver los resultados particulares de los procesos de identificación, screening, elegibilidad e inclusión de la metodología Prisma ScR para esta RRL.

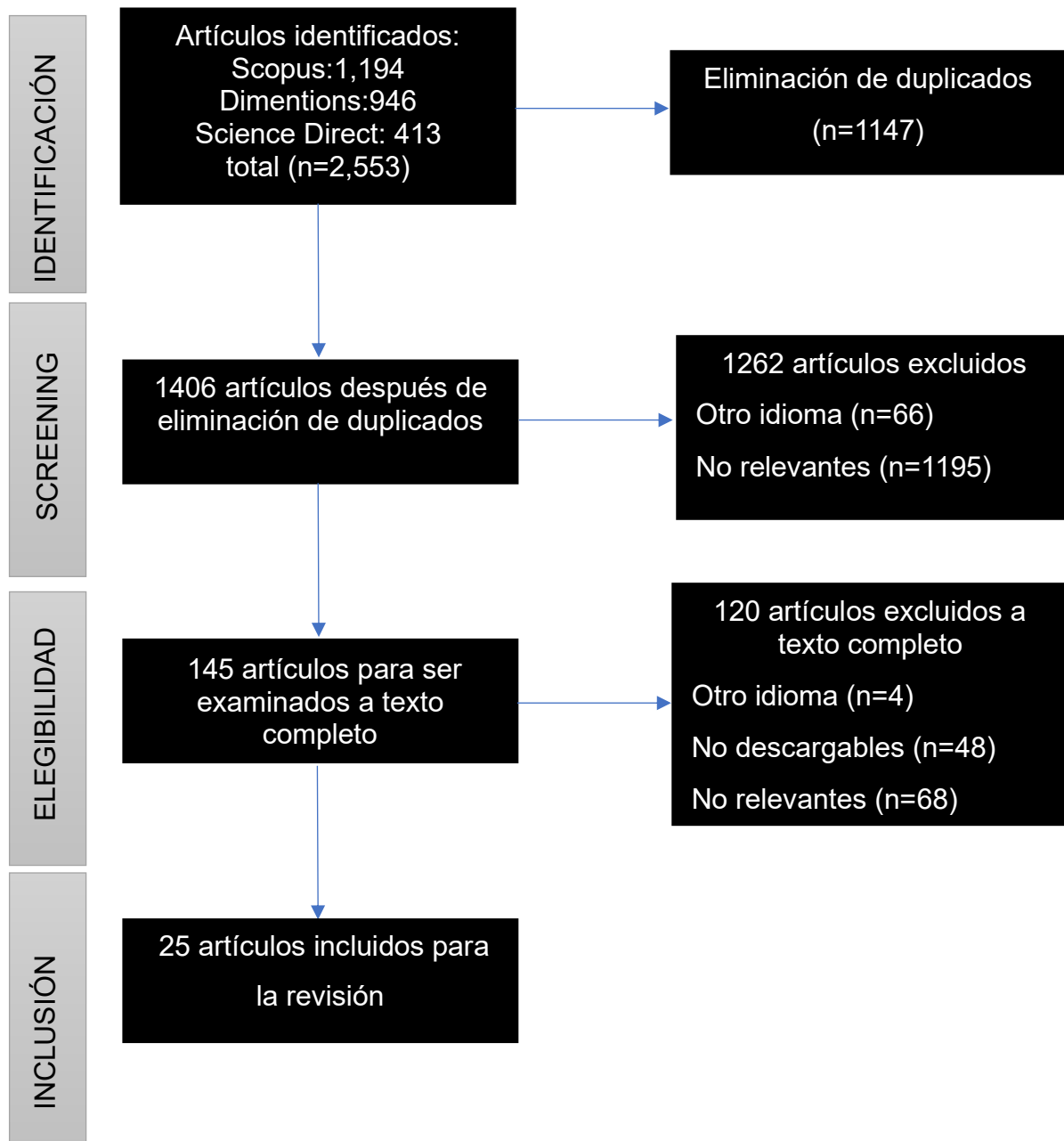


Figura 2. Proceso de selección de artículos utilizando metodología Prisma ScR
Fuente: Elaboración Propia.

El proceso de extracción de datos de esta RRL agrupó la información de cada artículo en los siguientes tres apartados, con la intención de facilitar la clasificación de la información recopilada:

A. Cualidades de la Ciudad

B. Problemas en el sistema de transporte

C. Soluciones en el sistema de transporte

El *apartado A* se refiere a la información que puede ser relevante sobre la ciudad en la que se presenta la problemática en el sistema de transporte. Se tomará el nombre de la ciudad y las características de dicha ciudad:

1. Número de Habitantes, saber cuántos habitantes viven en la ciudad.
2. Tipos de transportes que más se utilizan ³.
 - No motorizados, Nos referimos a vehículos que no necesiten de motor para poder desplazarse, por ejemplo, caminar y andar en bicicleta.
 - Privados, los vehículos privados son el medio de transporte más utilizado ya que permite al usuario viajar y conducir libremente, flexible sin la necesidad de seguir un horario.
 - Públicos, los vehículos públicos permite al usuario viajar por una ruta en un horario establecido y realizando un pago por dicho servicio. Ejemplos de vehículos privados son el camión, taxi, Uber, entre otros.
 - De carga, Son los vehículos que se utilizan principalmente para transportar fletes, por ejemplo, un tráiler.
 - Otros, N/A
3. Distribución de uso de suelos según Rodrigue J. P. (2020)⁴:
 - Residencial, son áreas urbanas en las cuales predominan al uso de viviendas.

³ Besar, S. N. A., Ladin, M. A., Harith, N. S. H., Bolong, N., Saad, I., & Taha, N. (2020). An overview of the transportation issues in Kota Kinabalu, Sabah. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 476, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.

⁴ Rodrigue, J. P. (2020). Urban Land Use and Transportation. the geography of transport systems. New York: Editorial Routledge.

- Comercial, son áreas urbanas dedicadas a compra-venta de productos y servicios.
- Industrial, Son zonas urbanas en las que predominan las instalaciones de transformación de productos.
- Otros, N/A

4. Otras características

Eso ayudara a poder agruparlos de acuerdo con las características que tengan en común y cumplir con el objetivo de clasificar y comparar los problemas y soluciones de movilidad urbana-sistema de transporte de acuerdo con sus características.

Para *el apartado B* se buscará cada uno de los problemas o las deficiencias que el autor encontró en el sistema de transporte. Esos datos ayudaran a cumplir con el objetivo de determinar los problemas más comunes en la planeación del transporte⁵.

1. Polución, nos referimos a la contaminación ambiental que es provocada por los vehículos motorizados.
2. Congestión, es el problema que se genera en el flujo vehicular debido a la saturación en las vías de transporte.
3. Accidentes de tránsito, accidentes que ocurren en los medios de transporte, por ejemplo, el chochar carro contra carro.
4. Ruido, “aumento del nivel de ruido y vibraciones en calles y edificios”.
5. Segregación del entorno, “aumento en la distancia y tiempo de cruce de cauces vehiculares”.
6. Intrusión visual, disminución de la vista del entorno provocada por infraestructura o por vehículos.
7. Otro.

Por último, el *Apartado C*, corresponde a todas las propuestas del autor para dar solución a los problemas en el sistema de transporte. Con este apartado se podrá alcanzar el objetivo de identificar posibles soluciones en el sistema de transporte.

⁵ Thomson, I., & Bull, A. (2001). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. CEPAL.

Para recabar los datos de los apartados anteriormente mencionados, se aplicó de manera particular un cuestionario o “ficha de investigación” a cada uno de los 25 artículos que se leyeron a texto completo, la plantilla de reactivos y sus respuestas posibles pueden verse en la [Figura 3](#). Los resultados se vaciaron en Excel para su posterior procesamiento.

No. del artículo
¿se desarrolla en una ciudad en específico?
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
2. Nombre del lugar donde se propone

3. Número de habitantes

4. ¿Tipos de transporte que más se utilizan?
<input type="checkbox"/> Privados <input type="checkbox"/> No motorizados <input type="checkbox"/> Públicos <input type="checkbox"/> De carga <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/> N/A
5. ¿Tipo de distribución del uso de suelo?
<input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Agrícola <input type="checkbox"/> Otra <input type="checkbox"/> N/A
6. otra característica de la ciudad

7. problema en el sistema de transporte
<input type="checkbox"/> Polución <input type="checkbox"/> Congestión <input type="checkbox"/> Ruido <input type="checkbox"/> Accidentes de tránsito
<input type="checkbox"/> Intrusión visual <input type="checkbox"/> Segregación del entorno <input type="checkbox"/> Otro
Solución propuesta por autor

8. Solución propuesta por autor

Figura 3. Ficha de investigación o cuestionario utilizado para extracción de datos
Fuente: Elaboración Propia.

Resultados RRL

Las características de las publicaciones que se cumplieron con los criterios para esta RRL. En relación con el tipo de publicación, estas se distribuyen en 23 artículos de revistas científicas, 1 capítulo de libro y un artículo de conferencia. La **Figura 4** muestra los años a los que corresponde cada publicación, en el año 2018 se obtuvieron 5 artículos de revista, no se obtuvo ningún artículo del año 2014 y ni del 2021.

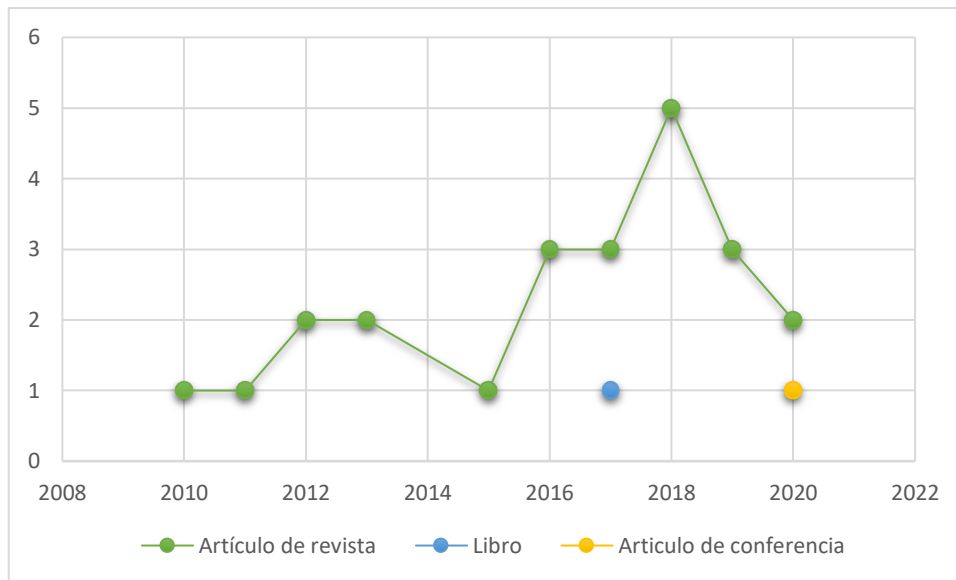


Figura 4. Distribución temporal de publicaciones.
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al apartado A, la **Tabla 1** muestra la información recopilada, cabe señalar que, solo 18 artículos se basaban en una ciudad para hacer su investigación, cinco artículos de los 18, no mencionaban la cantidad de habitantes, siete artículos no se basaban en una o varias ciudades en específico.

Tabla 1. Información del apartado A, ciudades.
Fuente: Elaboración Propia.

Ciudad	Habitantes
Lund en Suecia, Aarhus en Dinamarca y Trondheim en Noruega	100,000-300,000
Ciudad de Zagreb, Croacia	800,000
Ciudad de Sarajevo, Bosnia y Herzegovina	320,000
Ciudad de México, México	8.7 millones
Ciudad Salónica, Grecia	1 millón
Dhaka, Bangladesh	15 millones
Kota Kinabalu, Malasia	400,000

Ciudad Koshi, India	1.3 millones
Yakarta, Indonesia	9.7 millones
ciudad Santander, España	173,957
Barcelona, España	1,604,555
Valencia, España	786,189
Ciudad de Zaragoza, España	664,953
Ahmedabad, India	N/A
Belém, Curitiba, Goiânia, Juazeiro do Norte, Uberlândia e Itajubá	N/A
Ciudad de Vladivostok, Rusia	N/A
Ciudad de Bangalore, India	N/A
Ciudad de Pitesti, Rumania	N/A

Por otro lado, la [Tabla 2](#), resume los principales datos asociado a las preguntas: ¿Tipo de transporte que más se utilizan?, ¿Tipo de distribución de uso suelos? y ¿Cuál es el problema en el sistema de transporte?. Las publicaciones se enumeraron del 1 al 25, mismas que están asociadas al [Anexo 1](#).

Tabla 2. Información complementaria del apartado A.
Fuente: Elaboración Propia.

Transporte que más se utilizan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	total
Privados																										20
No motorizados																										1
Publicos																										5
De carga																										4
otros																										0
N/A																										5
																										0
Distribucion del uso de suelos																										
residencial																										13
comercial																										7
agrícola																										0
industrial																										5
otra																										5
N/A																										8
Problema en el st																										
Polución																										18
Congestión																										23
Ruido																										4
Accidentes de tránsito																										5
Intrusión visual																										2
Segregación del entorno																										2
otro																										4

En la **Figura 5** se observa las respuestas a las otras preguntas del apartado A. La mayoría de las publicaciones mencionaban que utilizaban más de un tipo de transporte, el más utilizado es el automóvil privado y el menos utilizado es el no motorizado, cinco no mencionaban que tipo de transporte se utilizaba más. Por otro lado, cinco artículos tuvieron uso de suelo diferentes a los contemplados (zona universitaria, zona portuaria y turística), ocho artículos no mencionaban su distribución de usos de suelos, y ningún artículo mencionó el uso de suelo agrícola.

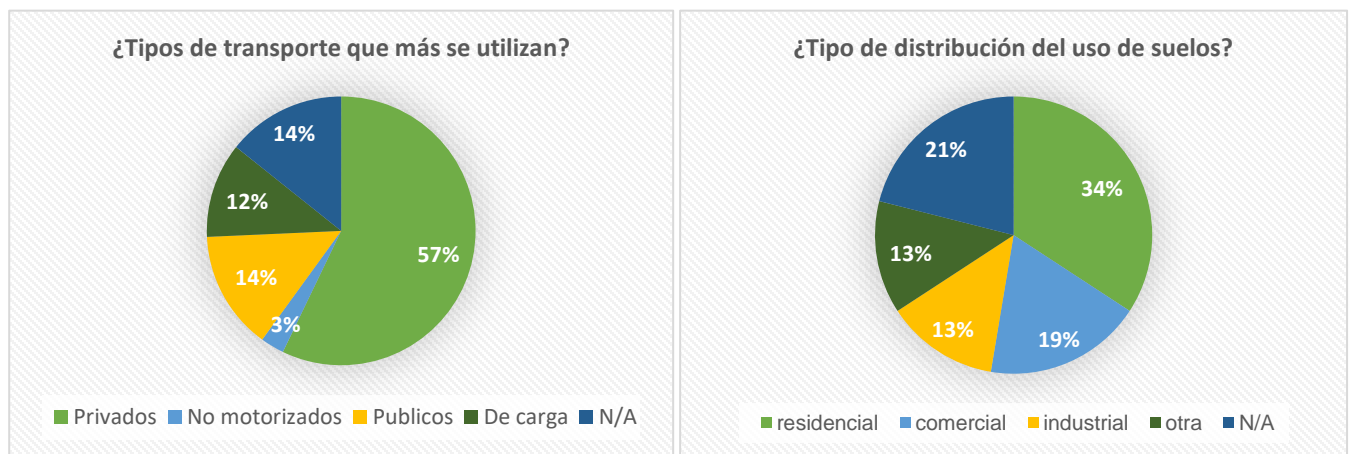


Figura 5. Información complementaria del apartado A.
Fuente: Elaboración Propia.

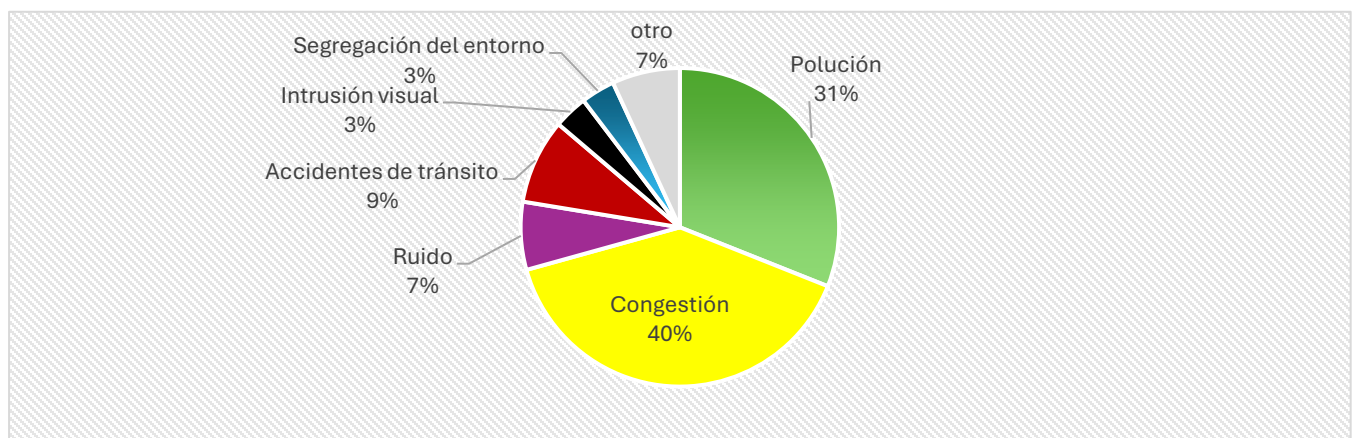


Figura 6. Aparado B - Principales problemas asociados al transporte
Fuente: Elaboración Propia.

La **Figura 6**, correspondiente al *apartado B*, tiene algunas consideraciones, pues todos los artículos se mencionan más de un problema en su sistema d transporte, 23 artículos

mencionaban que la congestión era el problema que más afectaba, segregación en el entorno e intrusión visual fueron los problemas menos comunes, y cuatro artículos presentaron otro tipo de problema: reducir el tráfico, alto volumen de tráfico, falta de infraestructura vial y ausencia de lugares para construir nuevas carreteras.

La **Tabla 3**, correspondiente al *apartado C*, resume las soluciones declaradas por los autores señalados en las 25 publicaciones, no todos presentan soluciones.

Tabla 3. Soluciones a problemas de sistemas de transporte en RRL.
Fuente: Elaboración Propia.

1	“Replantear el problema del transporte desde predecir y proporcionar una planificación coordinada del uso del suelo y del transporte para una reducción volúmenes de tráfico rodado” (Tennøy, A., 2010) ⁶ .
2	La construcción de un LRT (Light Rail Transit) tren ligero (Lah O., Alveano S., Arioli M., Chesterton V., & Sdoukopoulos L., 2019) ⁷
3	“El diseño óptimo de la línea que conecta el norte y el sur de barrios a través de puntos de atracción de movilidad (como el centro de la ciudad, el hospital, universidad, un centro comercial y estadio de fútbol)” (Ortego A., Valero A., & Abadías A., 2017) ⁸
4	<ul style="list-style-type: none"> • La implementación de un sistema de prioridad de tráfico que permita una alta velocidad. • El uso de carriles propios solo está disponible para tranvía. • La reducción de carriles para uso de vehículos privados. (García M., SAMPAIO C. A. C., Gonzalez A. D., Silva L. C. S. & Tilemann R., 2015) ⁹ .
5	“Completar una red completa de bicicletas, reducir el acceso a estacionamiento acceso. Mejorar las frecuencias, la velocidad y la cobertura del sistema de transporte público. Regulaciones de tráfico y reducciones de la capacidad de tráfico en el centro de la ciudad y reintroducción del cordón de peaje” (Tennøy A., Hansson L., Lissandrello E., & Naess P., 2016) ¹⁰ .
6	<ul style="list-style-type: none"> •corredor de movilidad intermodal de alta calidad • Sistema de recuperación de energía para tranvías • Estrategias de transporte público limpio • Limpiar los vehículos de la flota pública • Promoción del sistema de tarifas de transporte público electrónico • Estudio de tarificación por congestión y diálogo sobre precios

⁶ Tennøy, A. (2010). Why we fail to reduce urban road traffic volumes: Does it matter how planners frame the problem?. *Transport policy*, 17(4), 216-223.

⁷ Lah, O., Alveano, S., Arioli, M., Chesterton, V., & Sdoukopoulos, L. (2019). Sustainable urban mobility solutions for Asia, Latin America and the Mediterranean region. In *Sustainable Urban Mobility Pathways* (pp. 23-63). Elsevier.

⁸ Ortego A., Valero A., & Abadías A. (2017). Environmental impacts of promoting new public transport systems in urban mobility: a case study. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 5(3), 377-395.

⁹ García, M., SAMPAIO, C. A. C., Gonzalez, A. D., Silva, L. C. S., & Tilemann, R. (2015). Ecosocioeconomics and logistics of urban delivery: Sustainability indicators. *Revista ESPACIOS* Vol. 36 (Nº 16).

¹⁰ Tennøy, A., Hansson, L., Lissandrello, E., & Næss, P. (2016). How planners' use and non-use of expert knowledge affect the goal achievement potential of plans: Experiences from strategic land-use and transport planning processes in three Scandinavian cities. *Progress in Planning*, 109, 1-32.

	<ul style="list-style-type: none"> • Restricciones de entrega de carga • Prioridad del transporte público e información al viajero • Gestión de la movilidad para grandes instituciones • Mejora de las condiciones de ciclismo” (Baric D., Novacko L., & Pilko H., 2012) ¹¹ .
7	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas orientadas a mejorar la movilidad peatonal y ciclista • Regulación de estacionamiento • Construcción o modificación de instalaciones existentes (Mozos-Blanco M. Á., Pozo-Menéndez E., Arce-Ruiz, R., & Baucells-Aletà N., 2018) ¹² .
8	<ul style="list-style-type: none"> • “Diseñar una red de transporte público compartido que garantice un movimiento compartido de pasajeros y mercancías en el entorno urbano. • Desarrollar centros de consolidación y cross-docks para el movimiento de mercancías • centros para la entrega y recogida de pasajeros y carga”. (Mehanović M., & Palić N., 2018) ¹³ .
9	“Construcción de aparcamientos cerca de las principales calles de entrada del área metropolitana, donde los viajeros tienen fácil acceso al extenso transporte público local para estar motivados a viajar más lejos con transporte público.” (Mihaela I., Alexandru B., Viorel N., & Ionel V., 2017) ¹⁴ .
10	El 75 por ciento de los autobuses serán reemplazados por LRT (Light Rail Transit) (Mittal T., & Singh C., 2015) ¹⁵ .
11	Car sharing (compartir carro) (Zavaglia, C., 2016) ¹⁶ .
12	Construcción de una red de túneles viales (Makarov V. V., 2018) ¹⁷ .
13	Conectar la red de carriles bici y reparar secciones (Valle P. C. M., 2020) ¹⁸ .
14	<ul style="list-style-type: none"> • Se busca la mejora del transporte público a través del modelado • Transporte público por carretera, bus rapid tránsito (BRT) • LRT (Light Rail Transit) (Aldas D., Reyes J., Morales L., Pazmiño P., Núñez J., & Toaza B., 2018) ¹⁹ .
15	<ul style="list-style-type: none"> • Precios bajos de transporte público. • Bajo costo de casas para alquilar en accesibles ubicaciones.

¹¹ Baric, D., Novacko, L., & Pilko, H. (2012). The influence of the European CIVITAS ELAN project on development of a better and sustainable public transport in the City of Zagreb. *Public Mobility Systems*, 3, 41.

¹² Mozos-Blanco, M., Pozo-Menéndez, E., Arce-Ruiz, R., & Baucells-Aletà, N. (2018). The way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain. *Transport policy*, 72, 45-54.

¹³ Mehanović M., & Palić N. (2018). A model of managing the urban mobility planning process/model upravljanja procesom planiranja urbane mobilnosti. *EMC REVIEW-ČASOPIS ZA EKONOMIJU*, 16(2).

¹⁴ Mihaela, I., Alexandru, B., Viorel, N., & Ionel, V. (2017). Solutions to Improve Person Transport System in the Pitesti City by Analyzing Public Transport vs. Private Transport. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 252, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.

¹⁵ Mittal, T., & Singh, C. (2015). Smart Urban mobility: Road less travelled. *IIM Bangalore Research Paper*, (492).

¹⁶ Zavaglia, C. (2016). European Union instruments and strategies for sustainable urban mobility: Exploiting PUMS and ITS to develop an efficient car sharing proposal. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223, 542-548.

¹⁷ Makarov, V. V. (2018). Island Megalopolises: Tunnel Systems as a Critical Alternative in Solving Transport Problems. *Engineering*, 4(1), 138-142.

¹⁸ Valle, P. C. M. (2020). Mexico City: New Collective Approaches to Fix a Broken City. In *Designing Sustainable Cities* (pp. 116-127). Birkhäuser.

¹⁹ Aldas, D., Reyes, J., Morales, L., Pazmiño, P., Núñez, J., & Toaza, B. (2018). Impacts Analysis towards a Sustainable Urban Public Transport System. In *ICORES* (pp. 38-46).

	(Amoroso S., Caruso L., & Castelluccio F., 2011) ²⁰ .
16	Modos de transporte ecológico (Anastasiadou K., & Vougiar S., 2019) ²¹ .
17	Servicio de trenes (Barua S., Alam D., & Roy, A., 2013) ²² .
18	<p>“• Reestructuración del transporte público.</p> <p>•La infraestructura y las instalaciones deben planificarse en detalle para garantizar mejores servicios, y esto debe consisten en el desarrollo de terminales de buses, paradas de buses e instalaciones peatonales integradas que sean estratégicas, propicio y seguro para los usuarios desde su hogar y lugar de trabajo hasta la parada de autobús para mejorar la accesibilidad, facilidad y comodidad de viajar.</p> <p>•LRT”</p> <p>(Besar S. N. A., Ladin M. A., Harith N. S. H., Bolong N., Saad I., & Taha N., 2020).</p>
19	<p>“• Formulación e implementación de políticas no solo de las autoridades locales, sino también de las agencias estatales y federales.</p> <p>• La planificación del uso de la tierra</p> <p>• Planificación y operación del transporte”</p> <p>(Da Silva A. N. R., de Azevedo Filho M. A. N., Macêdo M. H., Serratini J. A., da Silva A. F., Lima J. P., & Pinheiro A. M. G. S., 2015)²³.</p>
20	“una estrategia de diseño para integrar al metro recién propuesto a la estructura de la ciudad existente utilizando el desarrollo orientado al tránsito. El principio identificado de DOT que es aplicable al sitio es compacto, mixto, densidad, tránsito, conexión, ciclo, cambio y caminata” (Ebin, D.S, 2018) ²⁴ .
21	<p>• La integración de soluciones de movilidad compartida con pasarelas automatizadas y los sistemas autónomos de TP</p> <p>•BRT</p> <p>(Hasan U., Whyte A., & Al Jassmi H., 2020)²⁵.</p>
22	Carriles para autobuses, reducción del tráfico en los centros de las ciudades, ubicación de espacios públicos, prioridad de transporte público (Juhász M., 2013) ²⁶ .
23	Un monorraíl como transporte público (Marathe R., 2017) ²⁷
24	<p>•Restringir automóvil en zona centro</p> <p>•Implementación del transporte activo en áreas urbanas y suburbanas</p>

²⁰ Amoroso, S., Caruso, L., & Castelluccio, F. (2011). Indicators for sustainable mobility in the cities. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 148, 253-262.

²¹ Anastasiadou, K., & Vougiar, S. (2019). “Smart” or “sustainably smart” urban road networks? The most important commercial street in Thessaloniki as a case study. *Transport Policy*, 82, 18-25.

²² Barua, S., Alam, D., & Roy, A. (2013). Modal Integration for Improving Urban Mobility in Dhaka. In *Urban Public Transportation Systems 2013* (pp. 179-192).

²³ Da Silva, A. N. R., de Azevedo Filho, M. A. N., Macêdo, M. H., Serratini, J. A., da Silva, A. F., Lima, J. P., & Pinheiro, A. M. G. S. (2015). A comparative evaluation of mobility conditions in selected cities of the five Brazilian regions. *Transport policy*, 37, 147-156.

²⁴ Ebin, D.S.(2018). An integrated approach to restructure the existing city with new transport system using tod principles. A case of Kochi. *Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*, (216379), .2-s2.0-85051727641. Document Type: Conference Paper. Publication Stag.

²⁵ Hasan, U., Whyte, A., & Al Jassmi, H. (2020). A review of the transformation of road transport systems: are we ready for the next step in artificially intelligent sustainable transport?. *Applied System Innovation*, 3(1)1.

²⁶ Juhász, M. (2013). Travel Demand Management–Possibilities of influencing travel behaviour. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 41(1), 45-5.

²⁷ Marathe, R. (2017). A Viability Study for Implementing Monorail as a Transit System for Urban Arterial Road: A Case Study of Ahmedabad. *Kalpa Publications in Civil Engineering*, 1, 7-15.

	(Salleh B. S., Rahmat R. A. O., & Ismail A., 2015) ²⁸ .
25	“Mejorar la infraestructura de transporte. También creemos que la congestión del tráfico también puede reducirse proporcionando una mejor opción en el transporte público infraestructura portuaria” (Yudhistira M. H., Koesrindartono D. P., Harmadi S. H. B., & Pratama A. P., 2016) ²⁹ .

Conclusión particular de la RRL

La urbanización es una cuestión clave en el desarrollo económico de ciudades, regiones e incluso países. Las ciudades cubren sólo alrededor del 2% de la superficie del planeta; sin embargo, representan alrededor del 75% del consumo mundial de recursos. Asociado a este crecimiento, los patrones de movilidad urbana están dominados por los automóviles privados, lo que genera un aumento del tráfico rodado y provoca problemas de movilidad como congestión, contaminación ambiental, ruido y accidentes de tránsito.

De acuerdo con los resultados obtenidos en recopilación de información de la RRL se puede concluir que el problema más común que influye en la movilidad urbana y en el sistema de transporte de una ciudad es la congestión y en segundo lugar la polución.

Se recopilaron las soluciones a los problemas en el sistema de transporte de acuerdo con lo que proponía el autor. La mayoría de las soluciones mencionaban fomentar el uso del transporte público, ya sea implementando uno más eficiente, mejorar sus características, costos y accesibilidad, realizar modificaciones en los carriles para permitir al transporte público desplazarse a mayor velocidad. Por ello se puede decir que la mejor solución a los problemas presentados en los sistemas de transporte es enfocarse en los transportes públicos, ya que gracias a eso se puede mejorar la movilidad urbana de cada ciudad.

²⁸ Salleh, B. S., Rahmat, R. A. O., & Ismail, A. (2015). Expert system on selection of mobility management strategies towards implementing active transport. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2896-2904.

²⁹ Yudhistira, M. H., Koesrindartono, D. P., Harmadi, S. H. B., & Pratama, A. P. (2016). How congested Jakarta is? Perception of Jakarta's citizen on traffic congestion. *Economics and Finance in Indonesia*, 62(3), 141-151.-

Capítulo 2. Contexto

La congestión fue el principal problema identificado en el capítulo anterior, este apartado tiene como propósito señalar las principales variables o condiciones que tienen relación directa con la magnitud del problema de congestión vial urbana, su configuración de las variables da como resultado una complejidad particular, identificarla puede servir como punto de partida para encontrar soluciones que han sido exitosas en otras latitudes con condiciones similares. A título enunciativo, más no limitativo, podemos enlistar las siguientes variables: tipo de ciudad, la estructura y velocidad del crecimiento de la mancha urbana, características socioeconómicas, la distribución de usos de suelo, así como las dinámicas de movilidad urbana o la diversificación de modos de transporte para los viajes diarios.

La congestión; tipos y causas

La congestión del transporte se define como la obstrucción mutua del tráfico de vehículos debido a la interrelación existente entre la velocidad de los vehículos en movimiento y el volumen de flujos en condiciones de agotamiento de la capacidad de la infraestructura. En otras palabras, la congestión está asociada con un nivel de tráfico de vehículos que excede la capacidad de una vía determinada, lo que resulta en una disminución de la velocidad de los vehículos en movimiento o en la imposibilidad total de la libre circulación³⁰³¹.

La congestión se produce cuando el tráfico en la carretera se retrasa debido a la presencia de otros vehículos. Junto con un aumento de la demanda que excede la capacidad de una instalación de infraestructura, los costos para los usuarios crecen y la calidad del uso de la instalación se deteriora (Handy, 2005).³².

³⁰ Thomson, J. M. (1977). Great cities and their traffic. G. Bell and Sons.

³¹ Unchs/Habitat (2001): "The role of urban transport in sustainable human settlements development" en Background paper, núm. 7, New York: Commission on Sustainable Development.

³² Handy, S. (2005). Critical assessment of the literature on the relationships among transportation, land use, and physical activity. Transportation Research Part A: General, 39(2-3), 137-156.

En la red se distinguen diferentes tipos de congestión del transporte en función del grado de su escalada. Una de las categorizaciones de congestión utilizadas con frecuencia es la *diferenciación de Vickrey*, en la que se tienen en cuenta fases sucesivas de perturbaciones crecientes en el tráfico de vehículos³³:

- una única interacción entre dos vehículos, que da lugar a una reducción de la velocidad de uno de ellos en relación con la velocidad a la que podría circular si el otro vehículo no estuviera allí.
- se producen múltiples interacciones entre muchos vehículos con un gran volumen de tráfico, donde, aunque no se alcanza la capacidad, un vehículo adicional causa más obstáculos entre sí y conduce a una reducción de su velocidad y a tiempos de viaje más largos.
- la congestión se produce en tramos de la red de carreteras cuya capacidad es menor que en los tramos adyacentes, y el número de vehículos que intentan cruzar este tramo es mayor que su capacidad.
- la congestión se produce cuando los cuellos de botella empiezan a obstaculizar el tráfico en otras secciones de la red, por ejemplo, aquellos que cruzan una calle congestionada.
- Adicionalmente, la congestión de la red se produce por falta de sincronía en los semáforos y con los volúmenes de tránsito existentes.

El creciente nivel de motorización y el creciente número de vehículos en las calles han dado lugar a la definición de un tipo adicional de congestión llamado embotellamiento, que significa que el tráfico se detiene en toda la red de calles en un área determinada.

Dado al aumento de vehículos los tiempos de traslado incrementan, ya que se satura el espacio de movimiento de dichos vehículos, imposibilitando trasladarse a una velocidad mayor y generando una *congestión*, eso quiere decir que, a mayor volumen vehicular, mayor demora de traslado.

³³ COPLADE (2017). "Programa Sectorial de Infraestructura y Competitividad 2015-2019". Mexicali, B.C.
COPLADE (2018). "Perfil sociodemográfico del municipio de Mexicali 2018". (pp.1-8). Mexicali, B.C.
"Proyecciones De Población Urbana y Rural De Las Localidades De B.C. 2015-2030". (pp.13, 35-37). Tijuana, B.C.

Se presentan algunas de las posibles causas por las cuales se generan escenarios de congestión vehicular:

- Problemas de diseño y conservación en las vialidades; algunos ejemplos podrían ser los baches, topes mal ubicados, deterioro en las vialidades, falta de carriles.
- Malas conductas de los automovilistas; el estorbar en una intersección de semáforo con tal de no tener que esperar el siguiente cambio de color, los taxistas al circular despacio en la búsqueda de pasaje, etc.
- Falta de información sobre el estatus de tránsito; Al no saber usar o al no estar actualizados en los problemas viales en las aplicaciones, uno toma las vías de siempre sin saber que se verá afectado en el tiempo de traslado debido a un embotellamiento y contribuyendo a la congestión vehicular.
- Poca capacidad vehicular; Algunas ciudades presenta un diseño de sus vialidades viejo, siendo así que no están en condiciones de poder solventar la nueva demanda del tránsito.

La congestión del tráfico afecta directamente a la calidad de los servicios de movilidad urbana, como el movimiento de personas y mercancías, lo que reduce los niveles de accesibilidad y movilidad urbana. Además, contribuye a aumentar los retrasos y el gasto energético, la contaminación y el estrés, lo que a su vez disminuye la productividad y conduce a un nivel de vida más alto y costos para la sociedad. Por lo tanto, los gobiernos y las autoridades de transporte deben planificar adecuadamente las redes de transporte y mitigar los problemas relacionados con la movilidad.

La ciudad

La ciudad representa el espacio físico o la configuración territorial en donde se establece la población y tienen lugar los procesos socio–económicos; es asimismo el ámbito en donde el medio natural se apropia, se transforma y se adapta para el desarrollo de las funciones propias de la vida comunitaria³⁴.

Los procesos derivados del fenómeno de globalización han tenido influencia sobre la conformación de las ciudades, otorgando a estas ciertas características dependiendo de su ubicación geográfica, las actividades productivas que realiza, su grado de especialización y el nivel de urbanización con que cuenta³⁵.

Todas las ciudades son diferentes como lo plantea Capel (2005)³⁶, dadas las componentes históricas, sociales, económicas, entre otras. Sin embargo, de manera general se puede hablar de dos modelos de ciudad: El modelo de ciudad difusa y el modelo de ciudad compacta, el primero es característico de ciudades de Estados Unidos, es un modelo donde los ciudadanos están dispersos por el territorio, regularmente en zonas conurbadas y/o fuera del centro de la ciudad, cuyos desplazamientos hacia este son principalmente con fines de trabajo o de consumo dependen significativamente del automóvil; por otra parte la ciudad compacta característica de ciudades europeas y algunos espacios metropolitanos de Latinoamérica, tiene su naturaleza en lo colectivo y depende esencialmente de la dotación de espacios públicos, equipamientos sociales, transporte público y condiciones para la movilidad peatonal³⁷. Las ciudades seguirán siendo el lugar principal para el desarrollo humano global en el futuro, y deben de contar con condiciones de competitividad para ello.

³⁴ Consejo Nacional de Población. (2012). Sistema Urbano Nacional 2012. México. Retrieved from <http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1539/1/images/ParteslaV.pdf>

³⁵ Gutiérrez Moreno, J.M. (2017). "Lineamientos de adaptación para el modelo de oferta de transporte en ciudades fronterizas del norte de México. Caso de estudio Mexicali, México", Tesis doctorado. Universidad Autónoma de Baja California, México.

³⁶ Capel, H. (2005). El Modelo Barcelona: un examen crítico. Retrieved from http://public.citymined.org/KRAX_CARGO/teoria/jornadas_2007_material_de_trabajo/el_modelo_barcelona_un_examen_cr%EDtico_capel.pdf

³⁷ Gaviria Gutiérrez, Z. (2009). La expansión urbana sobre las periferias rurales del entorno inmediato a la ciudad metropolitana. Revista Soluciones de Postgrado EIA, (3), 63–74. Retrieved from <https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/643/1/RSO00027.pdf>

Diferencias entre ciudades del Norte y Sur Global

Para 2050 las ciudades concentrarán el 83% de la población urbana mundial. Ese proceso de urbanización en las próximas décadas será particularmente pronunciado en Asia y África, donde seis mega-urbes superan la barrera de los 10 millones de habitantes. De acuerdo con estadísticas de la ONU, tres países India, China y Nigeria, sumarán 860 millones de nuevos pobladores urbanos, cifra que supera con creces la población total de América Latina proyectada para 2050. Precisamente en América Latina y el Caribe, donde la población urbana ya representa cerca del 80% del total en sus países, se espera un crecimiento demográfico mucho más moderado que en África y Asia. La mayor parte de este tremendo crecimiento urbano tendrá lugar en el “sur global”, o lo que alguna vez consideramos el mundo en desarrollo. A medida que el siglo estadounidense llega a su fin, el futuro urbano global ya no está definido por ciudades como Nueva York, París o Los Ángeles. Más bien, estamos entrando en una era de ciudades “del sur” como Shanghai, Johannesburgo, Mumbai y Bogotá. Estos lugares representan algunos de los mayores desafíos para el urbanismo del siglo XXI, ofreciéndonos nuevas perspectivas sobre problemas urbanos como la pobreza, el desarrollo, la segregación, la ciudadanía, la falta de vivienda, la desigualdad y nuestro futuro climático compartido³⁸.

“Global South” es un concepto utilizado en los nuevos estudios poscoloniales y de desarrollo para referirse a países que comparten características similares, y que se ubican en la “*periferia o semiperiferia*” frente a naciones con las economías centrales del mundo (asociados a países norte)³⁹. La **Figura 7** permite visualizar de manera general donde se ubican los países y en consecuencia las ciudades del norte y sur global, cabe señalar que este mapa es una clasificación base económica, existen otras representaciones más específicas, que consideran como base aspectos sociales o incluso su tecnología.

³⁸ <https://uppp.soceco.uci.edu/pages/uppp-100-cities-global-south>

³⁹ Simone, A. (2020). Cities of the global South. *Annual review of Sociology*, 46(1), 603-622.

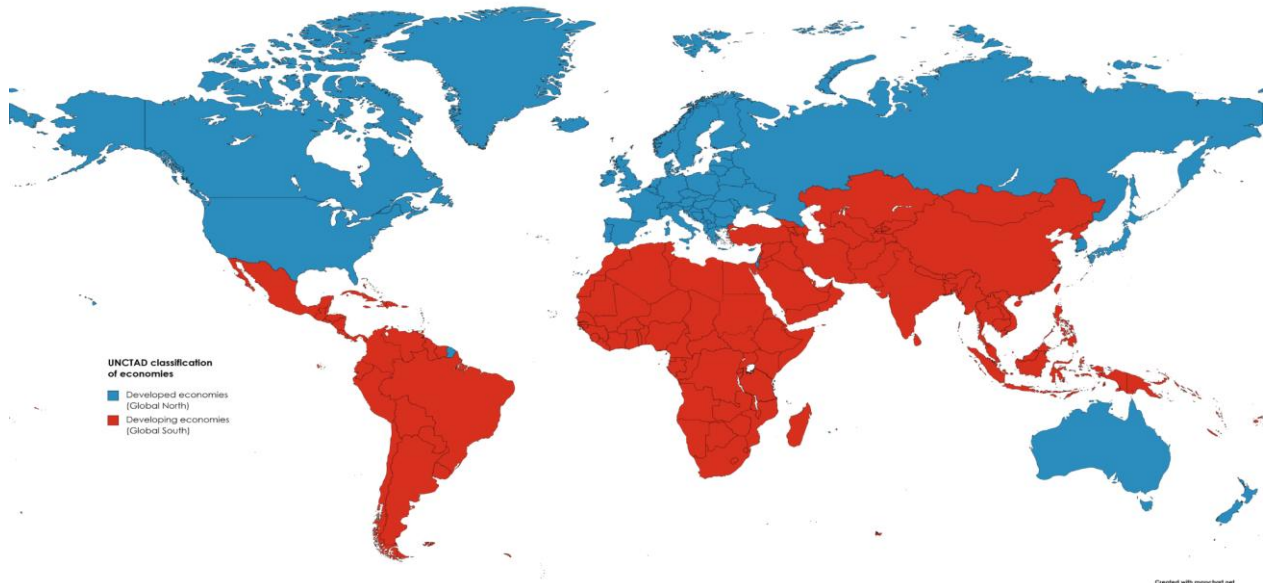


Figura 7. Mapamundi de países del norte y sur global⁴⁰.

Los criterios para definir el “Global South” son variados y pueden incluir aspectos socioeconómicos, políticos y culturales. Tradicionalmente, el término se ha utilizado como una referencia a las regiones de África, América Latina y el Caribe, partes de Asia y Oceanía, que comparten experiencias de marginalización económica y política. En ocasiones el desarrollo urbano y el transporte acentúa las diferencias dicotómicas entre sus habitantes. Comúnmente, los criterios para definir el *Global South* incluyen⁴¹:

- **Nivel de desarrollo económico:** Países con economías menos desarrolladas o en vías de desarrollo.
- **Historia de colonización:** Países que han experimentado la colonización y sus efectos a largo plazo.
- **Desigualdades estructurales:** Países que enfrentan desigualdades significativas en términos de ingresos, acceso a recursos y oportunidades.
- **Alianzas multilaterales y resistencia:** Países que se unen en alianzas multilaterales y muestran resistencia contra el poder hegemónico global.

⁴⁰https://en.wikipedia.org/wiki/Global_North_and_Global_South#/media/File:UNCTADclassificationofeconomies.png

⁴¹ Haug, S., Braveboy-Wagner, J., y Maihold, G. (2021). El «Sur global» en el estudio de la política mundial: análisis de una metacategoría. *Third World Quarterly*, 42 (9), 1923-1944. <https://doi.org/10.1080/01436597.2021.1948831>

Es importante destacar que el concepto de *Global South* va más allá de una simple división geográfica y se refiere a una categoría más amplia que abarca experiencias compartidas y realidades heterogéneas que desafían la división tradicional Norte-Sur⁴². La **Tabla 4** presenta un conjunto de 24 ciudades del *global south*, cuyo propósito es comparar sus características y desafíos, permitiendo observar que, aunque algunas de ellas se encuentren geográficamente en el norte, pertenecen al sur global.

Los países del Global South enfrentan una serie de problemas y desafíos comunes que incluyen⁴³:

1. **Pobreza y desigualdad:** Persistencia de la pobreza, con un alto porcentaje de la población viviendo en condiciones de pobreza extrema y desigualdad crónica.
2. **Crecimiento poblacional:** Aumento significativo de la población que conlleva desafíos adicionales como la carencia de recursos y servicios básicos.
3. **Colonización y sus efectos:** Procesos históricos de colonización que han dejado comportamientos y estructuras arraigadas que aún afectan el desarrollo social y económico.
4. **Desarrollo sostenible:** Necesidad de impulsar un desarrollo que sea sostenible social, ambiental y económicamente, siguiendo los objetivos de la Agenda 2030.
5. **Cambio climático:** Impactos del cambio climático que afectan especialmente a las regiones más vulnerables del Global South.
6. **Inseguridad y violencia:** Problemas de inseguridad, crimen y narcotráfico que afectan la estabilidad y el progreso de las sociedades.
7. **Educación y acceso a la información:** Desafíos relacionados con el acceso a la educación y la información, cruciales para el avance y la igualdad de oportunidades.
8. **Economía y deuda:** Altos niveles de endeudamiento y desafíos económicos como cuellos de botella en las cadenas de suministro y presiones inflacionarias.
9. **Otros desafíos** son alta informalidad urbanística y económica, baja movilidad social, y el desajuste espacial - largas distancias entre oferta y demanda de empleo y otros servicios.

⁴² Haug, S. (2020). Un enfoque del tercer espacio para el "Sur global": perspectivas desde los márgenes de una categoría popular. *Third World Quarterly*, 42 (9), 2018-2038. <https://doi.org/10.1080/01436597.2020.1712999>

⁴³ Fuentes para cada serie de problema enlistado, dar click en letra negrita (hipervínculo).

Tabla 4. Muestra representativa de ciudades del Global South y principales desafíos.

Fuente: Elaboración Propia.

No.	Ciudad	Importancia	Desafíos	Población
1	Johannesburgo, Sudáfrica	Centro financiero de África	Desigualdad social, pobreza, crimen	5.6 millones
2	Lagos, Nigeria	Ciudad más poblada de África	Congestión urbana, pobreza, infraestructuras deficientes	22.6 millones
3	Kinshasa, El Congo	Capital de RD Congo, centro comercial	Inestabilidad política, pobreza, infraestructuras deficientes	17.2 millones
4	El Cairo, Egipto	Capital de Egipto, centro cultural e histórico	Contaminación, congestión urbana, pobreza	20.9 millones
5	Karachi, Pakistán	Centro financiero de Pakistán	Terrorismo, violencia, pobreza	16.4 millones
6	Dhaka, Bangladesh	Capital de Bangladesh, centro industrial	Congestión urbana, pobreza, contaminación	22.4 millones
7	Manila, Filipinas	Capital de Filipinas, centro comercial	Congestión urbana, pobreza, desastres naturales	13.4 millones
8	Yakarta, Indonesia	Capital de Indonesia, centro político y económico	Congestión urbana, inundaciones, hundimiento del terreno	33.1 millones
9	Bangkok, Tailandia	Capital de Tailandia, centro turístico	Congestión urbana, contaminación, desigualdad social	13.7 millones
10	Ho Chi Minh, Vietnam	Centro económico de Vietnam	Congestión urbana, contaminación, pobreza	13.2 millones
11	Buenos Aires, Argentina	Capital de Argentina, centro cultural	Desigualdad social, pobreza, inflación	15.3 millones
12	São Paulo, Brasil	Ciudad más poblada de Brasil, centro financiero	Desigualdad social, pobreza, crimen	22.2 millones
13	Ciudad de México, México	Capital de México, centro cultural e histórico	Contaminación, congestión urbana, delincuencia	22.5 millones
14	Bogotá, Colombia	Capital de Colombia, centro político	Desigualdad social, pobreza, tráfico	13.4 millones
15	Lima, Perú	Capital de Perú, centro administrativo	Pobreza, informalidad, desastres naturales	10.7 millones
16	Santiago de Chile, Chile	Capital de Chile, centro financiero	Desigualdad social, contaminación, terremotos	7.7 millones
17	Nairobi, Kenia	Capital de Kenia, centro comercial	Pobreza, desigualdad social, tráfico	4.4 millones

18	Addis Abeba, Etiopía	Capital de Etiopía, centro político	Pobreza, infraestructuras deficientes, crecimiento rápido	5.2 millones
19	Dar es Salaam, Tanzania	Centro comercial de Tanzania	Pobreza, crecimiento rápido, infraestructuras deficientes	6.7 millones
20	Kuala Lumpur, Malasia	Capital de Malasia, centro financiero	Congestión urbana, contaminación, desigualdad social	7.5 millones
21	Mumbai, India	Centro financiero de India	Pobreza, congestión urbana, infraestructuras deficientes	22.8 millones
22	Seúl, Corea del Sur	Capital de Corea del Sur, centro tecnológico	Alto costo de vida, envejecimiento de la población	25.6 millones
23	Beijing, China	Capital de China, centro político y económico	Contaminación, congestión urbana, desigualdad social	21.5 millones
24	Delhi, India	Capital de la India y la segunda ciudad más poblada del mundo. - Centro político, cultural y comercial del país.	- Alta tasa de contaminación del aire. - Pobreza y desigualdad social. - Deficiencia en la infraestructura urbana	32 millones

La realidad en el Sur Global es que la rápida urbanización que se experimenta no siempre va acompañada de la correspondiente inversión en infraestructura, servicios urbanos y otras necesidades sociales. Actualmente, existen desafíos generalizados como la pobreza y la desigualdad urbanas, el deterioro de la infraestructura urbana, el rápido crecimiento de los asentamientos informales (comunidades de barrios marginales) y estragos ambientales debido al cambio climático. Además de la rápida urbanización, las ciudades del Sur Global también están experimentando importantes transformaciones urbanas, incluido el surgimiento de nuevos espacios urbanos (como comunidades cerradas, nuevas ciudades), ciudades inteligentes y desarrollos urbanos informales a gran escala⁴⁴.

En particular, los problemas urbanos asociados al transporte público en los países del Global South incluyen⁴⁵:

⁴⁴ <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/sections/cities-in-the-global-south/about>

⁴⁵ Fuentes para cada serie de problema enlistado, dar click en letra negra (hipervínculo).

- **Congestión y tiempos de viaje elevados:** En muchas grandes ciudades del mundo en desarrollo, los tiempos de viaje son altos y continúan aumentando debido al rápido crecimiento del parque vehicular.
- **Infraestructura inadecuada:** La rápida urbanización a menudo supera la capacidad de las ciudades para proporcionar infraestructura de transporte adecuada.
- **Seguridad vial:** La falta de seguridad vial es un problema significativo, con altas tasas de accidentes y mortalidad en carreteras.
- **Accesibilidad:** Muchos sistemas de transporte público no son accesibles para todos los usuarios, incluyendo a personas con discapacidad.
- **Falta de planificación y gestión:** La ausencia de una planificación y gestión adecuadas del transporte urbano es un problema recurrente.
- **Contaminación ambiental:** El transporte contribuye significativamente a la contaminación del aire y al ruido en las ciudades.

Estos problemas requieren soluciones integradas que consideren la planificación urbana, la inversión en infraestructura y la adopción de políticas de movilidad sostenible. Se requieren procesos de planeación que se traduzcan en acciones concretas, y las políticas de largo plazo tienen que implementarse con acciones en el corto plazo. *“Las problemáticas en el Global South requieren una innovación permanente”* (Alejandro Echeverri Restrepo). Sin embargo, también de:

- instituciones maduras con capacidad de colaboración para actualizar e integrar datos demográficos y socioeconómicos para desarrollar proyectos y políticas que respondan a las necesidades de la población⁴⁶.
- modernizar las herramientas de ordenamiento territorial para que sean más dinámicas e incluyentes

⁴⁶ ...una amplia participación en los censos poblacionales es clave para la recolección de información útil para el diseño de políticas y la priorización de intervenciones sustentadas en evidencia y sólidos criterios técnicos.

- el consenso de grupos de interés, la implementación de políticas en el *sur global* requiere que las decisiones no sean unilaterales, sino producto de un proceso de colaboración que incluya también a la sociedad.

Algunas de las ciudades reconocidas por tener sistemas de transporte público eficientes se caracterizan por su puntualidad, accesibilidad, cobertura y sostenibilidad, ejemplos son las siguientes, y han invertido en tecnología, infraestructura y políticas que promueven el uso del transporte público y mejoran la experiencia de los usuarios:

- Tokio, Japón: Conocido por su extensa red de trenes y metro, que es puntual y tiene una amplia cobertura.
- Singapur: Ofrece un sistema de transporte público limpio, eficiente y altamente integrado.
- Zúrich, Suiza: Posee una red de transporte diversa que incluye trenes, tranvías, autobuses y barcos.
- Berlín, Alemania: Cuenta con un sistema de transporte público integral que es confiable y bien conectado.
- Hong Kong: Destaca por su sistema de metro eficiente y la variedad de opciones de transporte.

Como caso particular en el Sur Global, destaca recientemente Medellín, ciudad que se ha convertido en un epicentro para el estudio de proyectos urbanos y sociales, muchos de ellos asociados al transporte masivo y no motorizado, con los que mejoran la calidad de vida de las personas en zonas de asentamiento informal.

Usos de suelo

La planificación y gestión de los usos de suelos urbanos es fundamental para el desarrollo sostenible de las ciudades, ya que puede influir en la calidad de vida de los habitantes, la economía local y el medio ambiente.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los usos de suelos urbanos se clasifican a partir del uso que las actividades humanas le dan al suelo, en este sentido pueden ser las siguientes categorías o tipos⁴⁷:

- Uso residencial: Áreas de vivienda, incluyendo casas unifamiliares, departamentos y condominios.
- Uso comercial: Áreas de comercio, incluyendo tiendas, restaurantes y oficinas.
- Uso industrial: Áreas de producción y manufactura, incluyendo fábricas y plantas de producción.
- Uso recreativo: Áreas de recreación, incluyendo parques, jardines y áreas de juego.
- Uso institucional: Áreas de instituciones, incluyendo escuelas, hospitales y edificios gubernamentales.
- Uso de infraestructura: Áreas de infraestructura, incluyendo carreteras, puentes, aeropuertos y puertos.

El uso de suelo está íntimamente ligado a las actividades humanas, y éstas debido a los requeridos desplazamientos, al transporte mismo, en este sentido, se pueden clasificar en tres tipos de actividades:

- Actividades de rutina: Estas ocurren con regularidad y son predecibles. Involucran desplazamientos desde el hogar a trabajo, hogar a compras, etcétera. Comúnmente, estas actividades se realizan dentro de una zona.
- Actividades institucionales: En este se encuentran las actividades de deportes, ocio, educación, salud, etcétera. No ocurren con regularidad y dependen del estilo de vida o las necesidades especiales.

⁴⁷ Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

- Actividades de producción: involucran una relación entre empresas. Estas actividades pueden presentar un patrón en el uso de suelos de proceso nacional o internacional.

La forma en que se distribuyen estos usos de suelo en la ciudad puede afectar la demanda de transporte y la estructura urbana. Por ejemplo, áreas con una alta concentración de usos comerciales y residenciales pueden generar una mayor demanda de transporte público, mientras que áreas con una alta concentración de usos industriales pueden generar una mayor demanda de transporte de carga.

Hay una relación directa entre los usos de suelo y la forma o estructura urbana, pero también su distribución facilita o dificulta la movilidad urbana. Lo anterior es un tema complejo y bidireccional que ha sido estudiado por diversos investigadores en el campo de la planificación urbana y la geografía.

Según Kunstler (1994), *"la forma urbana y los usos de suelo son los principales determinantes de la movilidad urbana"*⁴⁸. Esto se debe a que la forma urbana y los usos de suelo pueden influir en la distancia y la facilidad de acceso a diferentes lugares, lo que a su vez puede afectar la elección del modo de transporte y la frecuencia de los viajes.

Jacobs (1961) argumenta que *"la densidad y la diversidad de usos de suelo son esenciales para promover la movilidad sostenible"*⁴⁹. Esto se debe a que las áreas con una mayor densidad y diversidad de usos de suelo suelen tener una mayor variedad de opciones de transporte, incluyendo transporte público, bicicleta y caminata, lo que puede reducir la dependencia del automóvil y promover una movilidad más sostenible.

Según Calthorpe (1993) *"la forma urbana compacta y conectada puede reducir la necesidad de viajar"*⁵⁰. Esto se debe a que las áreas con una forma urbana compacta y conectada suelen tener una mayor variedad de servicios dentro de una distancia caminable, lo que puede reducir la necesidad de viajar largas distancias.

⁴⁸ Kunstler, J. H. (1994). The geography of nowhere: The rise and decline of America's man-made landscape. Simon and Schuster.

⁴⁹ Jacobs, J. (1961). The death and life of great American cities. Random House.

⁵⁰ Calthorpe, P. (1993). The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream. Princeton Architectural Press.

Handy (2005) argumenta que "*la movilidad urbana también influye en la forma urbana y los usos de suelo*"⁵¹. Esto se debe a que la movilidad urbana puede influir en la ubicación y la accesibilidad de diferentes lugares, lo que a su vez puede afectar la forma urbana y los usos de suelo.

En este sentido, es importante tener presente el papel que juegan los usos de suelos en la planificación y promoción de una movilidad más sostenible y equitativa en las ciudades.

Modalidad de transporte predominante para los viajes

En países desarrollados se opta más comúnmente por transporte público, porque estos cuentan buena relación calidad-tiempo y es una manera eficaz de llegar a su destino evitando la congestión vial. En cambio, en muchos países del *global south*, debido a que el transporte público tiene deficiente calidad-tiempo, y presenta relativa inseguridad, muchos prefieren usar automóvil particular, porque además de representar una comodidad, en muchos países en desarrollo es visto como un indicador de estatus social.

Esto se acentúa aún más, a raíz de la facilidad de adquisición de los vehículos tanto nuevos como usados (situación más comúnmente presentada en ciudades fronterizas), el aumento de vehículos corresponde con más problemas de tránsito, demoras, accidentes, congestiones y contaminaciones ambientales.

El modelo de ciudad centrado en el automóvil prevaleciente en muchas de las ciudades del *global south* ha generado una serie de problemas que afectan la calidad de vida y la sostenibilidad. En este sentido, Medina y Veloz (2012)⁵² describen claramente la dependencia del automóvil en ciudades mexicanas y como este produce un impacto negativo en la movilidad urbana. A continuación, se exponen los puntos clave a esta dependencia del automóvil:

⁵¹ Handy, S. (2005). Critical assessment of the literature on the relationships among transportation, land use, and physical activity. *Transportation Research Part A: General*, 39(2-3), 137-156.

⁵² Medina Ramirez, S., & Veloz Rosas, J. (2012). Guía de estrategias para la reducción del uso del auto en ciudades mexicanas. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (IPTD). México.

1. El paradigma del automóvil y sus consecuencias: la solución a la congestión se busca aumentando la infraestructura vial (más calles, pasos a desnivel, etc.). Este enfoque, es ineficiente e inequitativo, ya que genera "*tráfico inducido*" – un incremento en el volumen de vehículos debido a la mayor facilidad de desplazamiento en automóvil. Esto perpetúa el ciclo: más autos = más congestión = más inversión en infraestructura vial, sin resolver el problema de fondo.

2. Costos sociales y económicos de la dependencia del automóvil:

- Contaminación del aire: Se estima que millones de personas están expuestas a mala calidad del aire, con consecuencias directas en salud y muertes prematuras. El automóvil es una fuente importante de emisiones de CO₂, contribuyendo al cambio climático y sus costos económicos asociados.
- Accidentes de tránsito: Se mencionan las elevadas cifras de muertes y heridos anuales, con un gran costo económico para el país.
- Congestión vehicular: Las pérdidas económicas por tiempo perdido en congestiones son significativas, representando un porcentaje importante del PIB en algunas zonas metropolitanas.
- Inequidad: La dependencia del automóvil beneficia principalmente a una minoría que posee vehículos, dejando a la mayoría de la población sin acceso adecuado a bienes y servicios. El subsidio implícito en el precio de la gasolina agrava esta inequidad, beneficiando a los sectores más ricos.

3. La Deficiencia del Transporte Público y No Motorizado: La mala calidad del transporte público en muchas ciudades mexicanas, atribuyéndola a la falta de planeación institucional, la falta de integración entre modos de transporte (competencia en lugar de complementariedad), y el predominio del modelo de "hombre-camión" que promueve la competencia desleal y un servicio deficiente. Similarmente, las condiciones para peatones y ciclistas son inadecuadas, lo que refuerza la dependencia del automóvil.

Para contrarrestar la dependencia del automóvil, Medina y Veloz (2012) proponen un cambio de paradigma hacia la "*gestión de la movilidad*", que prioriza la accesibilidad a bienes y servicios mediante una variedad de modos de transporte, incluyendo:

- Estrategias para disminuir la dependencia al automóvil: Uso compartido (*carpooling*), carriles de alta ocupación, impuestos al kilometraje, impuestos a la tenencia basados en emisiones, y gestión del estacionamiento.
- Estrategias de movilidad eficiente: Mejoramiento del transporte público (consolidación e integración de rutas, carriles exclusivos, BRT,), infraestructura ciclista, e infraestructura peatonal adecuada.
- Planificación urbana: Desarrollo orientado al transporte, pacificación del tránsito, planeación libre de automóviles, y desarrollos e hipotecas de localización eficiente.
- Cultura de la movilidad: Educación y campañas de comunicación para generar un cambio de hábitos y actitudes en la población.

Las propuestas del documento del IPTD representan recomendaciones aplicables a ciudades del sur global, como la del caso de estudio. En el siguiente capítulo se profundizará sobre las formas de llevar a cabo los análisis de transporte/movilidad para elegir el conjunto de soluciones más adecuado posible.

Capítulo 3. Discusión

Este tercer capítulo presenta y discute los principales enfoques y herramientas para analizar la estructura urbana en relación con la infraestructura de transporte, la **Tabla 5** presenta cuatro categorías de análisis que aplican de acuerdo con el contexto, la información disponible y el nivel de detalle del estudio que se quiera realizar, con la intención última de encontrar información para conocer la magnitud del problema y esbozar soluciones u orientar la toma de decisiones, como la priorización entre proyectos.

Tabla 5. Categorías y enfoques de análisis de transporte.
Fuente: Elaboración propia.

Categoría de análisis	Enfoque o herramienta	Ejemplo
Superposición de capas de información de elementos urbanos	Análisis de accesibilidad	Sintaxis espacial ⁵³
	Análisis de redes de transporte	Uso de TRANUS ⁵⁴
	Teoría de la jerarquía de transporte	
	Sistemas de Información geográfica	Mapas temáticos usando SIG ⁵⁵
	Análisis de clústeres	
	Teoría de la forma urbana	
	Análisis de patrones de viaje	
Análisis de la relación entre la estructura urbana y la movilidad	Entropía de Shannon	
Modelos de transporte	Modelos de simulación de tráfico	PTV Visum ⁵⁶
	Modelos de asignación de tráfico	Aimsun ⁵⁷ /Synchro ⁵⁸
Sustentabilidad	Teoría de la ciudad sostenible y el transporte	DOT - PIMUS
		Smart Cities
Análisis de indicadores	Índice de preparación para la movilidad urbana (UMRI)	
	Índice de Movilidad Urbana (UMI)	
	Índice de Movilidad Urbana (IMU-IMCO)	
	Índice de Resiliencia de la Ciudad (CRI)	
	Índice de Resiliencia del transporte (basado en el CRI)	

⁵³ <https://www.spacesyntax.online/software-and-manuals/depthmap/>

⁵⁴ <https://modelistica.com.mx/tranus/>

⁵⁵ <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview>

⁵⁶ <https://www.ptvgroup.com/es/productos/ptv-visum>

⁵⁷ <https://www.aimsun.com/es/>

⁵⁸ <https://www.cubic.com/transportation/products/intelligent-transportation-solutions/intelligent-systems/synchro-studio>

Enfoque Modelos de transporte

Podemos distinguir dos tipos de modelos, el primero es el más completo y se denomina “Modelos de simulación de tráfico” y los “Modelos de asignación de tráfico” que se concentran en la última etapa del modelo anterior con énfasis en la oferta de transporte y la elección de ruta. A continuación, se describe en que consiste cada uno de ellos.

Modelos de simulación de tráfico

Estos modelos utilizan técnicas de simulación para analizar y predecir el comportamiento del tráfico en la ciudad. Según Ortúzar (2001), *“los modelos de simulación de tráfico son herramientas valiosas para evaluar la eficiencia de la infraestructura de transporte”* ⁵⁹.

Este se considera el *modelo clásico de transporte*, que consta de cuatro etapas o submodelos: *Generación de viajes, Distribución de viajes, Partición modal y Asignación de viajes*. Cabe destacar que su implementación requiere grandes cantidades de información proveniente de trabajos de campo, tales como levantamiento de condiciones geométricas, de tránsito y encuestas origen-destino, adicionalmente el procesamiento en gabinete de la información es otro gran reto que requiere recursos materiales, humanos y económicos para conseguir la alimentación del modelo de transporte. Una vez completado, la calibración, validación y actualización requiere un menor esfuerzo, pero de inicio esta solución puede ser complicada de implementar en ciudades del sur global que no cuentan con información actualizada ni histórica para poder alimentar el modelo. Una de las herramientas o software para la aplicación de modelos de simulación del tráfico es *PTV Visum*, aunque existen otras opciones en el mercado quizá más accesibles, pero menos completas.

Los modelos de simulación del tráfico son herramientas utilizadas para analizar y predecir el comportamiento del tráfico en una red de transporte. En el libro *“Modelling Transport”* de Ortúzar (2001). Hay diferentes modelos de simulación del tráfico que se pueden utilizar para evaluar y optimizar la operación de una red de transporte, estos tienen que ver con el nivel de detalle o de *“zoom”* que requiere el estudio.

⁵⁹ Ortúzar, J. D. (2001). *Modelling transport*. Wiley.

- Modelos de simulación macroscópica: Estos modelos se enfocan en la simulación del tráfico a nivel de la red de transporte, considerando la interacción entre los vehículos y la infraestructura. Los modelos macroscópicos pueden ser deterministas o estocásticos.
- Modelos de simulación microscópica: Estos modelos se enfocan en la simulación del comportamiento individual de los vehículos y los conductores, considerando factores como la velocidad, la aceleración y el frenado.
- Modelos de simulación mesoscópica: Estos modelos se enfocan en la simulación del tráfico a nivel de un grupo de vehículos, considerando la interacción entre ellos y la infraestructura.

Se requieren conocimientos de técnicas de simulación para usar estos modelos, tales como la *Simulación de Monte Carlo* (empleada para generar escenarios de tráfico aleatorios y evaluar el comportamiento del tráfico en diferentes condiciones), *Simulación de eventos discretos* (utilizada para simular el comportamiento del tráfico en una red de transporte, considerando eventos como la llegada de vehículos a una intersección), y *Simulación de procesos estocásticos* (cuando se requiere simular el comportamiento del tráfico en una red de transporte, considerando la incertidumbre y variabilidad del tráfico).

Las aplicaciones de los modelos de simulación del tráfico de Ortúzar son tres:

- A. Evaluación de la capacidad de la infraestructura de transporte e identificar áreas de mejora.
- B. Optimización del tráfico en una red de transporte, considerando factores como la velocidad y la densidad del tráfico.
- C. Planificación de la infraestructura de transporte, considerando la demanda futura de tráfico y la capacidad de la infraestructura existente.

Modelos de asignación de tráfico

Estos modelos utilizan técnicas de asignación para analizar y predecir la distribución del tráfico en la ciudad. Según Sheffi (1985), "los modelos de asignación de tráfico son herramientas valiosas para evaluar la eficiencia de la infraestructura de transporte"⁶⁰.

La asignación de tráfico se refiere al proceso de asignar el tráfico a las diferentes rutas y modos de transporte en una red de transporte. El objetivo es encontrar la distribución óptima del tráfico que minimice el tiempo de viaje total y maximice la eficiencia del sistema de transporte.

En el libro Sheffi (1985) presenta varios tipos de modelos y modelos específicos de asignación de tráfico que se pueden utilizar para evaluar y optimizar la operación de una red de transporte, la [Tabla 6](#) los resume, acompañados de una lista de técnicas de programación matemática utilizadas en estos modelos.

Tabla 6. Modelos y técnicas para realizar asignación del tráfico

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de modelo	Modelo de asignación del tráfico	Técnica de programación
<p><u>Modelos de asignación de tráfico deterministas</u>: Estos modelos suponen que el tráfico se asigna a las rutas y modos de transporte de manera determinista, es decir, sin considerar la incertidumbre o la variabilidad del tráfico.</p>	<p>Modelo de asignación de tráfico de Wardrop: Este modelo supone que el tráfico se asigna a las rutas y modos de transporte de manera que se minimice el tiempo de viaje total.</p>	<p><u>Programación lineal</u>: Esta técnica se utiliza para resolver problemas de asignación de tráfico deterministas.</p>
<p><u>Modelos de asignación de tráfico estocásticos</u>: Estos modelos consideran la incertidumbre y la variabilidad del tráfico, y asignan el tráfico a las rutas y modos de transporte de manera probabilística.</p>	<p>Modelo de asignación de tráfico de Beckmann: Este modelo considera la capacidad de las rutas y modos de transporte y asigna el tráfico de manera que se maximice la eficiencia del sistema de transporte.</p>	<p><u>Programación no lineal</u>: Esta técnica se utiliza para resolver problemas de asignación de tráfico estocásticos y dinámicos.</p>

⁶⁰ Sheffi, Y. (1985). Urban transportation networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods. Prentice Hall.

<p><u>Modelos de asignación de tráfico dinámicos:</u> Estos modelos consideran la variabilidad del tráfico en el tiempo y asignan el tráfico a las rutas y modos de transporte de manera dinámica.</p>	<p>Modelo de asignación de tráfico de Dial: Este modelo considera la variabilidad del tráfico y asigna el tráfico a las rutas y modos de transporte de manera probabilística.</p>	<p><u>Programación entera:</u> Esta técnica se utiliza para resolver problemas de asignación de tráfico que involucran variables enteras.</p>
--	--	---

Las aplicaciones de los modelos de asignación de tráfico son las siguientes:

- A. Planificación de la infraestructura de transporte, considerando la demanda futura de tráfico y la capacidad de la infraestructura existente.
- B. Optimización del tráfico en una red de transporte, considerando factores como el tiempo de viaje y la capacidad de las rutas y modos de transporte.
- C. Evaluación de la eficiencia del sistema de transporte, considerando factores como el tiempo de viaje y la capacidad de las rutas y modos de transporte.

Enfoque Superposición de capas de información de elementos urbanos

Un Sistema de información geográfica (SIG) es un sistema que permite la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. En el contexto del transporte, los SIG se utilizan para analizar y visualizar datos de transporte en un entorno geográfico. Según Miller (2007), "*los SIG son fundamentales para analizar y entender la estructura urbana en relación con la infraestructura de transporte*"⁶¹.

Las técnicas de análisis de SIG en el transporte más comunes son:

1. Análisis de red, usado para analizar la estructura y el comportamiento de la red de transporte.
2. Análisis de ruta, usado para analizar la ruta más corta, la ruta más rápida, la ruta más segura, ruta más económica u otras.
3. Análisis de ubicación, usado para analizar la ubicación de las rutas, la capacidad de las vías, la velocidad de los vehículos.

⁶¹ Miller, H. J. (2007). Geographic information systems for transportation: Principles and applications. Oxford University Press.

4. Análisis de patrones, usado para analizar los patrones de transporte, incluyendo la frecuencia de los viajes, la cantidad de personas y bienes que se transportan.

Las aplicaciones de los SIG en el transporte incluyen:

1. Planificación de la red de transporte: para planificar la red de transporte, incluyendo la ubicación de las rutas, la capacidad de las vías, la velocidad de los vehículos, etc.
2. Análisis de la demanda de transporte: para analizar la demanda de transporte, incluyendo la cantidad de personas y bienes que se transportan, la frecuencia de los viajes, etc.
3. Optimización de las rutas de transporte: para optimizar las rutas de transporte, incluyendo la selección de la ruta más corta, la ruta más rápida, la ruta más segura.
4. Análisis de la seguridad vial: para analizar la seguridad vial, incluyendo la identificación de los lugares más peligrosos y la frecuencia de los accidentes.

Los siguientes enfoques se apoyan de los SIG para generar mapas temáticos, generar matriz origen-destino o correr modelos apoyados en herramientas como el *módulo de Network Analyst*⁶² de ArcGis⁶³ (ver *Figura 8*), que es un módulo de Python moderno y fácil de usar para trabajar con funcionalidades de análisis de red.

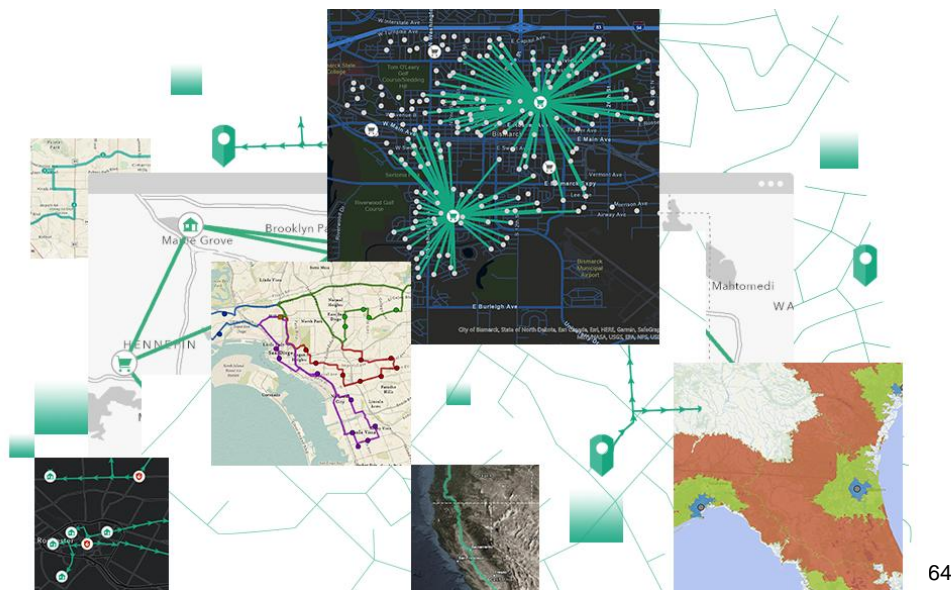


Figura 8. Análisis SIG para eficientizar rutas de transporte con ArcGIS Pro.

⁶² <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/overview-of-the-network-analyst-toolbox.htm>

⁶³ <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/networks/network-analyst-solver-types.htm>

⁶⁴ <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-network-analyst/overview>

El uso de los **SIG** permite analizar la **densidad de red** (cobertura) de la infraestructura de transporte público, tanto de las rutas de transporte o derroteros, como de los puntos de ascenso y descenso que utilizan estas rutas. Gutiérrez et al (2021) utilizaron SIG con este propósito, lo que permitió identificar la cobertura del sistema de rutas existentes y de un sistema propuesto, lo que permite evaluar con anticipación las ventajas y limitaciones que espacialmente ofrece un conjunto de rutas de transporte público.

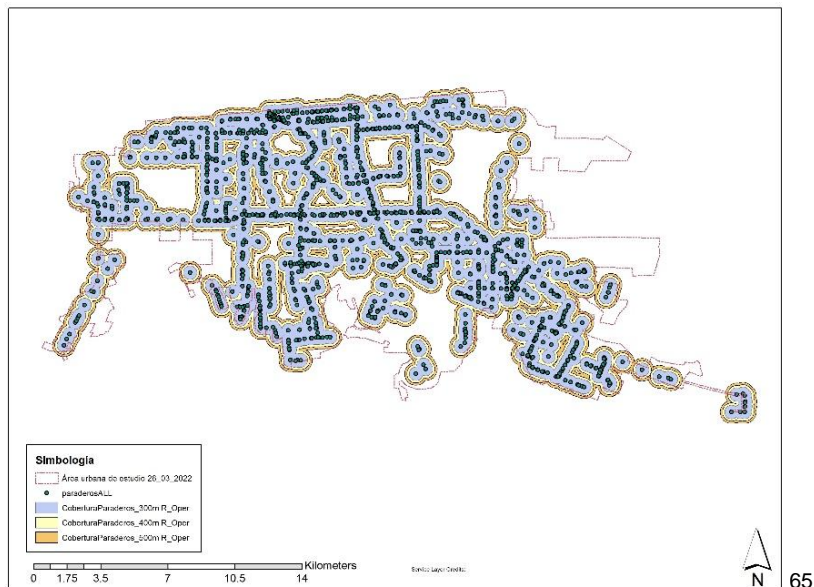


Figura 9. Análisis de cobertura de paraderos de transporte público utilizando SIG.

Teoría de la forma urbana

Esta teoría, desarrollada por Kevin Lynch (1960), se centra en la percepción y la experiencia de la forma urbana. Lynch sostiene que *"la forma urbana es el resultado de la interacción entre la estructura física y la actividad humana"*⁶⁶. Asimismo, argumenta que la forma urbana no es solo una cuestión de diseño físico, sino también de cómo los habitantes perciben y experimentan la ciudad.

La Teoría de la forma urbana de Lynch tiene implicaciones importantes para el diseño urbano. Recomendaciones para diseñadores urbanos incluyen:

⁶⁵ Gutiérrez Moreno, JM, Mungaray Moctezuma, A, Sánchez Atondo, A. (2021). Reordenamiento de sistemas de transporte público en metrópolis emergentes (pp13-44), Capítulo del libro Planeación de infraestructura regional en Baja California. M.A. Porrúa.

⁶⁶ Lynch, K. (1960). The image of the city. MIT Press

- Crear una forma urbana que sea fácil de leer y entender para los habitantes.
- Incorporar los elementos de la forma urbana identificados por Lynch (sendas, bordes, distritos, nodos e hitos) en su diseño.
- Considerar la experiencia del usuario y cómo los habitantes percibirán y experimentarán la ciudad.

Teoría de la jerarquía de transporte

Esta teoría, desarrollada por Thomson (1977), se centra en la organización jerárquica de la infraestructura de transporte en la ciudad. Según Thomson, "*la jerarquía de transporte es fundamental para entender la estructura y el funcionamiento de las ciudades*"⁶⁷.

Esta teoría establece cuatro principios de diseño para la jerarquía de transporte, mismos que con apoyo de SIG se pueden verificar.

Separación de niveles⁶⁸: Cada nivel de la jerarquía debe estar separado y tener su propia infraestructura.

Conexión entre niveles: Los diferentes niveles deben estar conectados de manera que permitan un flujo eficiente de tráfico.

Diseño de la red: La red de transporte debe estar diseñada de manera que refleje la estructura de la ciudad y sus patrones de actividad.

Capacidad y velocidad: La capacidad y velocidad de la infraestructura de transporte deben ser adecuadas para el nivel de tráfico y la actividad que se espera.

La Teoría de la jerarquía de transporte de Thomson tiene varias ventajas, incluyendo:

1. Mejora de la eficiencia: La jerarquía de transporte permite una mejor utilización de la infraestructura y una reducción de la congestión.
2. Reducción de la congestión: La separación de niveles y la conexión entre ellos permiten una mejor distribución del tráfico y una reducción de la congestión.
3. Mejora de la seguridad: La jerarquía de transporte permite una mejor separación de los diferentes tipos de tráfico, lo que reduce el riesgo de accidentes.

⁶⁷ Thomson, J. M. (1977). Great cities and their traffic. G. Bell and Sons.

⁶⁸ Nivel 1: Transporte de acceso - proporciona acceso a las áreas residenciales y comerciales, como calles y aceras. Nivel 2: Transporte de distribución - distribuye el tráfico dentro de la ciudad, como avenidas y autopistas. Nivel 3: Transporte de tránsito - conecta diferentes partes de la ciudad, como líneas de autobús y ferrocarril. Nivel 4: Transporte de intercambio - conecta la ciudad con otras ciudades y regiones, como aeropuertos y puertos.

Análisis de patrones de viaje

Este enfoque busca identificar patrones y estructuras en los viajes que realizan las personas en la ciudad. Según Schönfelder (2006), "*los patrones de viaje son fundamentales para entender la demanda de transporte en la ciudad*"⁶⁹, el autor realiza el análisis considerando la variabilidad temporal y espacial de los viajes, a partir de los siguientes pasos:

1. Recopilar datos de viaje de diferentes fuentes, como encuestas de viaje, datos de tráfico, registros de transporte público, etc.
2. Limpiar y procesar los datos para asegurarse de que estén en un formato adecuado para el análisis.
3. Analizar la distribución temporal de los viajes, considerando la hora del día, el día de la semana, la estación del año, etc.
4. Analizar la distribución espacial de los viajes, considerando la ubicación de los puntos de partida y llegada, la ruta tomada, etc.
5. Identificar patrones en los datos de viaje, considerando la variabilidad temporal y espacial.
6. Analizar la periodicidad de los patrones de viaje, considerando la frecuencia y la regularidad de los viajes.
7. Visualizar los resultados del análisis, utilizando herramientas como gráficos y mapas

El *análisis de patrones de viaje de Schönfelder* tiene varias aplicaciones, incluyendo: 1) Planificación de transporte, 2) Gestión de tráfico y 3) Diseño de sistemas de transporte: que se adapten a los patrones de viaje de la población. Sin embargo, para su implementación se requiere conocimiento en técnicas tales como:

1. Análisis de Fourier: Para analizar la periodicidad de los patrones de viaje.
2. Análisis de clustering: Para identificar grupos de viajes con patrones similares.
3. Análisis de regresión: Para analizar la relación entre los patrones de viaje y variables como la hora del día, el día de la semana, etc.

⁶⁹ Schönfelder, S. (2006). Urban rhythms: A study of the temporal patterns of travel behaviour in the city. *Journal of Transport Geography*, 14(5), 391-405.

Análisis de clúster de transporte

Este enfoque busca identificar agrupaciones de actividades o características relacionadas con la infraestructura de transporte en la ciudad. Según Porter (1990), "*el análisis de clúster es una herramienta valiosa para entender la estructura económica de las ciudades*"⁷⁰.

Los pasos para realizar un Análisis de Clúster con aplicaciones en el Transporte son:

Paso 1: Identificar los clústeres de transporte. Se refiere a un grupo de empresas y organizaciones que se dedican al transporte de personas o mercancías y que comparten una serie de características comunes.

Paso 2: Definir los criterios de selección. Estos pueden ser la ubicación geográfica, los modos de transporte y la actividad económica (agricultura, construcción, comercio, etc.)

Paso 3: Recopilar datos. Algunas fuentes de datos pueden ser las siguientes:

- Datos de la industria del transporte; como la cantidad de empresas, el número de empleados y el valor de la producción.
- Datos de la economía; como el PIB, la inflación, y/o el desempleo.
- Datos geográficos, como la ubicación de las empresas y la distancia entre estas.

Paso 4: Analizar los datos. Se pueden identificar patrones y tendencias en los clústeres de transporte, aplicando técnicas como:

- Análisis de conglomerados, para identificar grupos de empresas y organizaciones que se relacionan entre sí.
- Análisis de redes, para identificar las relaciones entre las empresas y organizaciones.
- Análisis de regresión, para identificar las variables que influyen en la formación de los clústeres de transporte.

El quinto paso es Interpretar los resultados, esto lleva a responder preguntas sobre quienes integran el clúster, que características tienen en común, como se relacionan geográficamente, así como identificar variables y patrones de formación o relación de clústeres.

⁷⁰ Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. Harvard Business Review, 68(2), 73-93.

Análisis de la relación entre la estructura urbana y la movilidad

Este enfoque busca entender la relación entre la estructura urbana y la movilidad de las personas en la ciudad. Según Cervero (2002), "*la relación entre la estructura urbana y la movilidad es fundamental para entender la demanda de transporte en la ciudad, y si se considera en el análisis la distribución de usos de suelo es posible conocer los patrones de viaje*"⁷¹.

Cervero identifica varios componentes de la estructura urbana que influyen en la movilidad, incluyendo:

1. Densidad: La densidad de la población y la actividad económica urbana.
2. Diversidad: La variedad de usos del suelo y actividades en un área urbana.
3. Conectividad: La facilidad de acceso y la conectividad entre partes de la ciudad.
4. Legibilidad: La claridad y la comprensibilidad de la estructura urbana.
5. Estética: La calidad visual y la atraktividad de la estructura urbana.

Derivado del análisis entre estructura urbana y la movilidad, se encuentra que la *densidad* y la *diversidad* están relacionadas con un mayor uso del transporte público y una menor dependencia del automóvil. En tanto que la *conectividad* y la *legibilidad* están relacionadas con mayor facilidad de acceso y una menor congestión. Mientras que la *estética* está relacionada con mayor satisfacción de la calidad de vida percibida.

Lo anterior tiene las siguientes implicaciones para la planificación urbana:

- Diseño de ciudades compactas y conectadas: Para reducir la dependencia del automóvil y promover el uso del transporte público⁷².
- Fomento de la diversidad y la densidad: Para crear áreas urbanas más dinámicas y atractivas.
- Mejora de la legibilidad y la estética: Para crear áreas urbanas más claras y atractivas.

⁷¹ Cervero, R. (2002). Built environments and mode choice: Toward a normative framework. Transportation Research Part D: Transportation and Environment, 7(4), 265-284.

⁷² Suzuki H., Cervero R., Luchi K., (2014). "Transformando Las Ciudades Con El Transporte Público". (pp.1-23). Bogotá: Universidad de los Andes.

Entropía de Shannon

La Entropía de Shannon es un concepto matemático que se utiliza para medir la incertidumbre o la aleatoriedad de un sistema. En el contexto del análisis urbano y de transporte, la entropía de Shannon se puede utilizar para analizar la complejidad y la incertidumbre de los patrones de movimiento y de uso del suelo en una ciudad.

La Entropía de Shannon se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H_n = \sum_{i=1}^n p_i \log(1/p_i)$$

Donde H_n es el valor de entropía de Shannon y p_i es la probabilidad de que un evento ocurra dentro de un área determinada.

Se ha utilizado como medida para determinar la compacidad o dispersión del crecimiento de la tierra edificada en las áreas urbanas. Es un método que se apoya de los SIG y permite entender la relación entre la estructura urbana, los usos de suelo y las dinámicas de movilidad. Vinoth Kumar (2007)⁷³ utiliza la entropía de Shannon para analizar el crecimiento urbano de Indore, India, centrándose en la dispersión del desarrollo urbano a lo largo del tiempo. Para hacerlo se apoya de SIG y divide el área urbana en zonas y círculos concéntricos. Para cada periodo de tiempo analizado (1956, 1975, 1990, 1996, 2000), se calcula la proporción de suelo urbanizado en cada círculo concéntrico. Esta proporción (p_i) representa la probabilidad de encontrar suelo urbanizado en el círculo i . Un valor de Hn alto indica una alta dispersión del desarrollo urbano (un crecimiento más disperso, menos compacto), en tanto que valores de Hn bajos un desarrollo más compacto, concentrado en el centro de la ciudad.

Otras aplicaciones de la Entropía de Shannon se han visto en publicaciones de investigadores como Lee et al (2015)⁷⁴ y Kobayashi et al. (2019)⁷⁵, destaca

⁷³ Vinoth Kumar, JA, Pathan, SK y Bhanderi, RJ Análisis espacio-temporal para el seguimiento del crecimiento urbano: un estudio de caso de la ciudad de Indore. J Indian Soc Remote Sens 35 , 11–20 (2007). <https://doi.org/10.1007/BF02991829>

⁷⁴ Lee, S., et al. (2015). Entropy-based analysis of land use patterns in New York City. Urban Studies, 52(4), 456-471.

⁷⁵ Kobayashi, T., et al. (2019). Entropy-based analysis of mobility patterns in Tokyo. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 104, 234-245.

particularmente Wang et al. (2018)⁷⁶ quien realizó un Análisis de la entropía de la red de transporte, con la entropía de Shannon, encontrando que la entropía de la red de transporte era mayor en áreas con una mayor densidad de población y una mayor variedad de modos de transporte, lo que permite la capacidad para adaptarse a cambios en la demanda de transporte.

Análisis de redes de transporte

Este enfoque estudia la estructura urbana como una red de nodos (intersecciones) y aristas (calles y rutas de transporte) que se interconectan. Según Rodrigue (2017), *"las redes de transporte son fundamentales para entender la estructura y el funcionamiento de las ciudades"*⁷⁷.

Rodrigue (2017) presenta varios métodos para analizar la estructura de la red de transporte, estos incluyen:

1. Análisis de la conectividad: Estudiar la forma en que los nodos y enlaces se conectan entre sí.
2. Análisis de la centralidad: Estudiar la importancia de cada nodo en la red de transporte.
3. Análisis de la accesibilidad: Estudiar la facilidad con la que se puede acceder a cada nodo en la red de transporte.

Rodrigue (2017) presenta varios métodos para analizar el funcionamiento de la red de transporte, estos incluyen:

1. Análisis de la capacidad: Estudiar la cantidad de personas y bienes que pueden ser transportados a través de la red de transporte.
2. Análisis de la velocidad: Estudiar la velocidad a la que se pueden transportar personas y bienes a través de la red de transporte.
3. Análisis de la confiabilidad: Estudiar la fiabilidad de la red de transporte para transportar personas y bienes de manera segura y eficiente.

El análisis de redes de transporte puede ayudar a 1) planificar la construcción de nuevas rutas de transporte y la mejora de las existentes, 2) gestionar el tráfico de manera más

⁷⁶ Wang, X., et al. (2018). Entropy-based analysis of transportation networks in London. Transportation Research Part A: General, 116, 123-134.

⁷⁷ Rodrigue, J. P. (2017). The geography of transport systems. Routledge.

eficiente y reducir la congestión, y 3) identificar los riesgos y peligros en la red de transporte y tomar medidas para mitigarlos.

TRANUS para análisis urbano y de transporte

Una de las aplicaciones del análisis de redes de transporte es el que se realiza usando TRANUS, este es un modelo de simulación de transporte y uso del suelo que se utiliza para evaluar los impactos de diferentes políticas-proyectos de transporte y uso del suelo en una región o ciudad. Es un sistema en el que se representan los principales componentes del sistema urbano (ver Figura 10), tales como la localización e interacción de actividades, el mercado inmobiliario y el sistema de transporte.

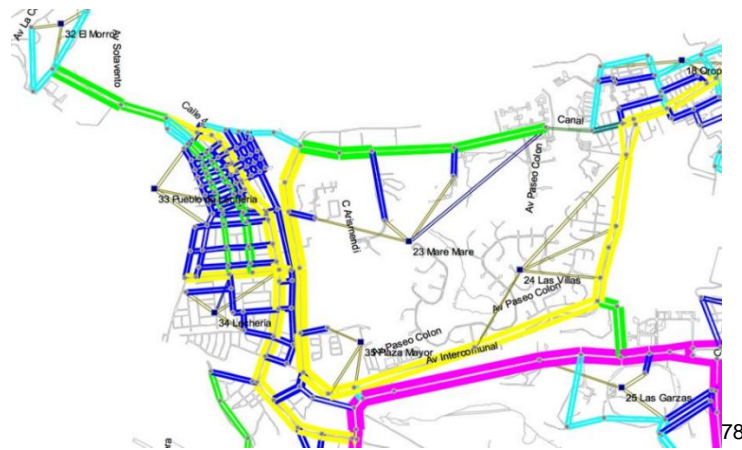


Figura 10. visualización de red vial codificada en TRANUS.

Muñoz et al. (2015)⁷⁹ utilizó TRANUS para simular los impactos de la expansión urbana en la demanda de transporte y la calidad del aire en la ciudad de Santiago de Chile. Gómez et al. (2018)⁸⁰ lo utilizó para evaluar la efectividad del transporte público en la ciudad de Bogotá, y su impacto sobre la congestión y calidad del aire. Finalmente, López (2019)⁸¹ utilizó el modelo TRANUS para analizar la relación entre el uso del suelo y el transporte en la ciudad de México, encontrando que la densidad del uso del suelo estaba relacionada con la demanda de transporte.

⁷⁸ <http://modelistica.com.mx/tranus>

⁷⁹ Muñoz, J., et al. (2015). Simulating the impacts of urban expansion on transportation demand and air quality in Santiago de Chile using TRANUS. *Transportation Research Part A: General*, 78, 123-134.

⁸⁰ Gómez, J., et al. (2018). Evaluating the effectiveness of a public transportation system in Bogotá using TRANUS. *Transportation Research Part A: General*, 116, 234-245.

⁸¹ López, M., et al. (2019). Analyzing the relationship between land use and transportation in Mexico City using TRANUS. *Urban Studies*, 56(4), 345-360.

Análisis de accesibilidad

Este enfoque busca evaluar la facilidad con la que las personas pueden acceder a diferentes lugares de la ciudad utilizando diferentes modos de transporte. Según Handy (2005), "*la accesibilidad es un concepto clave para entender la relación entre la estructura urbana y la infraestructura de transporte*"⁸².

Handy presenta un enfoque integral para analizar la accesibilidad, que se enfoca en la comprensión de las relaciones entre el transporte, el uso del suelo y la actividad física.

La accesibilidad se define como la facilidad con que las personas pueden acceder a diferentes lugares y actividades en una región o ciudad. La distancia, el tiempo, el costo, la conveniencia y la seguridad son los componentes clave de la accesibilidad que relacionan el lugar de origen con el lugar de destino. En función de las componentes anteriores, existen tres tipos de accesibilidad; accesibilidad física, accesibilidad económica y accesibilidad social.

Existen diversos estudios que se han llevado a cabo para analizar redes de transporte y la accesibilidad, estos dos enfoques tienen una estrecha relación, a continuación, se presentan algunos ejemplos de aplicación.

Sintaxis espacial

La sintaxis espacial es un enfoque teórico y práctico que se utiliza para analizar la forma urbana y la relación entre la estructura espacial de las ciudades y su uso⁸³. Una red urbana bien conectada y accesible puede mejorar la movilidad y la conectividad de la ciudad, lo que puede conducir a una mayor actividad económica y creación de empleo.

Ramírez-Uribe et al (2023)⁸⁴ analizaron la conectividad urbana de la ciudad de Hermosillo Sonora, utilizando el enfoque de ***sintaxis espacial*** y la herramienta *DepthmapX* para

⁸² Handy, S. (2005). Critical assessment of the literature on the relationships among transportation, land use, and physical activity. *Transportation Research Part A: General*, 39(2-3), 137-156.

⁸³ <https://sintaxisespacial.com/acerca-de-space-syntax/>

⁸⁴ Ramírez-Uribe G., García Arvizú J. F., Ojeda De La Cruz A., Quintana Pacheco J., Miranda Pasos I. Análisis de la conectividad urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora. *Epistemus (Sonora)* [revista en la Internet]. 2022 Dic [citado 2025 Ene 09]; 16(33): 16-25. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-81962022000200016&Ing=es. Epub 19-Mayo-2023. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.247>.

identificar la ubicación de zonas verdes que tuviera mayor impacto en la ciudad a partir de los elementos urbanos y su disposición, uno de esos elementos es la red vial.

La sintaxis espacial busca establecer relaciones entre esta composición espacial y características urbanas como el movimiento de personas y vehículos, el valor de la tierra, y la ubicación del comercio⁸⁵.

Dependiendo del aspecto que se desee conocer se pueden realizar cuatro tipos de análisis, también es conveniente mencionar que los resultados de los análisis particulares de cada uno permiten llegar a conclusiones sistémicas. En este sentido, existen el Análisis de Conectividad, Análisis de Integración, Análisis de Profundidad y Análisis de Elección.

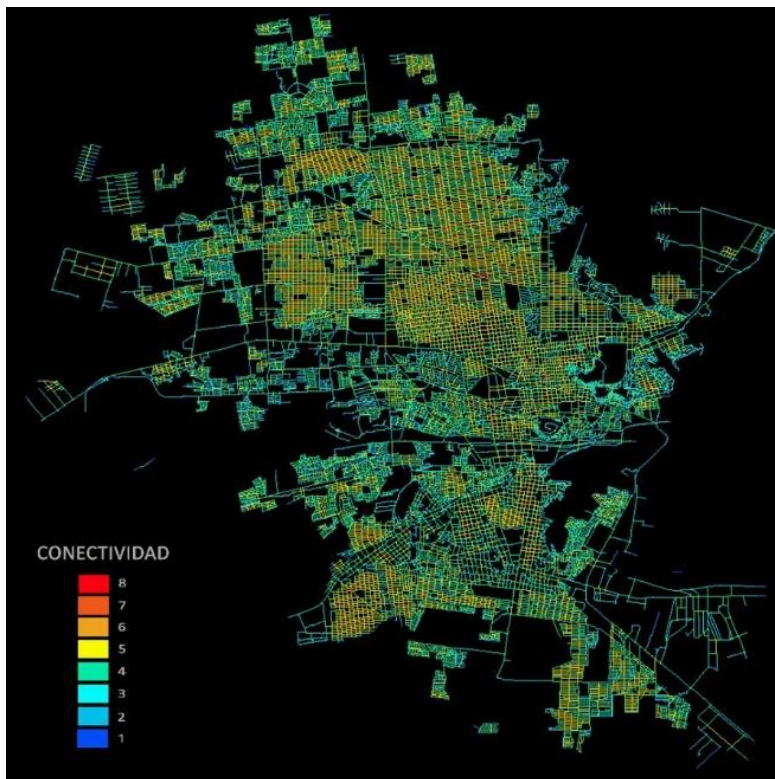


Figura 11. Mapa axial resultado del análisis de conectividad, caso Hermosillo, Sonora.

⁸⁵ M. Martínez, "Configuración espacial de la ciudad de Cartago y su relación con volúmenes vehiculares", Revista Infraestructura Vial. 2017, vol. 19, No. 34, pags. 18-27.

Enfoque Sustentabilidad

Teoría de la ciudad sostenible y el transporte: Esta teoría se centra en la creación de ciudades que sean sostenibles, con infraestructura de transporte eficiente y sustentable. Según Wheeler (2004), "la ciudad sostenible es un concepto que busca equilibrar la calidad de vida con la protección del medio ambiente"⁸⁶.

Movilidad urbana

"La dinámica urbana se define en función de las características de las actividades urbanas que realiza la población, es decir, la intensidad, el ritmo y la frecuencia con la que éstas se llevan a cabo en la cotidianidad"⁸⁷. Existe una relación entre la dinámica urbana con el uso de suelos y el sistema de transporte. Según Jiménez (2014), la dinámica urbana se integra por 3 factores: física, moral y funcional.

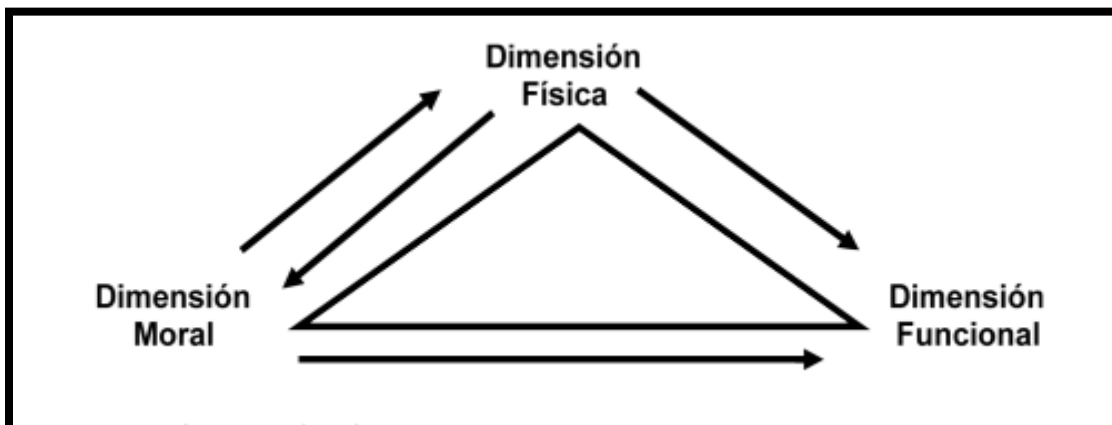


Figura 12. Las dimensiones de análisis para la dinámica urbana

La dimensión física es donde se presenta el uso de suelos, es decir, todo lo construido para las actividades urbanas, incluyendo la infraestructura de transporte. La dimensión moral por las normativas y reglas que limitan los funcionamientos de los organismos políticos, económicos y sociales. La dimensión funcional se presenta con los usos y las costumbres de la población. Las tres dimensiones están ligadas para poder tener una dinámica urbana, solo en ocasiones sustentable.

⁸⁶ Wheeler, S. M. (2004). The sustainable urban development reader. Routledge.

⁸⁷ Jiménez-Jiménez, J., de Hoyos-Martínez, J. E., & Álvarez-Vallejo, A. (2014). Transporte urbano y movilidad, hacia una dinámica urbana sustentable y competitiva. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 16(1), 39-53.

Sustentabilidad urbana es *“la capacidad de la ciudad para ser autosuficiente en los insumos requeridos para su funcionamiento, así como con las formas de organización y actuación de los agentes sociales, económicos y políticos para alcanzar un crecimiento y un desarrollo adecuado y sostenido”*.

Propuestas por la ONU para implementar el crecimiento de una ciudad, teniendo en cuenta la sustentabilidad incluyen las acciones siguientes⁸⁸:

- El desarrollo de planes integrales entre transporte-uso de suelos.
- Tener la organización en cuanto a espacio de la ciudad para generar núcleos de actividad que fomente el caminar.
- Evitar rigidez en el uso de suelos, pensar en realizar clústers de actividad para las edificaciones futuras.
- Fomentar acercamiento de actividades complementarias, por ejemplo, vivienda- escuela.
- Armonía en las modalidades de transporte, dando prioridad a los públicos en las zonas medias de los clústers.
- Desalentar los tipos de transporte privados.
- Alentar los tipos de transporte no motorizados en los interiores de los clústers.
- Crear corredores peatonales.
- Mejorar la calidad o implementar tecnología en el transporte público.
- Reducir los índices de emisiones que emiten los vehículos, sustituyendo por vehículos más nuevos que presenten mayor eficiencia en cuanto a la contaminación.
- Presentar variedad en los tipos de servicio de acuerdo con las demandas.
- Evitar traslapes en las rutas de transporte público y privado, para no realizar traslados innecesarios

⁸⁸ [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.

Plan de movilidad urbana sostenible

“Los planes de movilidad urbana sostenible son herramientas de planificación de la movilidad urbana que, además ahora, son instrumentos necesarios en muchos países para optar a la financiación pública estatal o regional por los municipios”⁸⁹.

Están orientados a fomentar la reducción de emisiones mediante el uso de transportes no motorizados, como lo son el caminar y andar en bicicleta.

Para poder desarrollar un plan de movilidad urbana sostenible se tienen que considerar 3 aspectos fundamentales de sostenibilidad que son: económicamente viable, útil a la sociedad y adecuado al medioambiente.

De acuerdo con González y Castillo (2021), los motivos por los cuales se busca un plan de movilidad sostenible son:

- El gran crecimiento demográfico en muchas ciudades.
- Las ciudades consumen 75% de los recursos y de la energía mundial.
- Las ciudades son responsables del 80% de los gases de efecto invernadero los generan las ciudades.
- Modelos de ciudad dispersa con usos de suelo con tendencia similar.
- Mayor preferencia por el uso de vehículos motorizados.
- Largos tiempos de viejes
- Impactos ambientales diversos.

⁸⁹ González, J. S., & Castillo, D. Á. (2021). Movilidad urbana sostenible: los Planes de Movilidad Urbana Sostenible como herramientas de planificación y diseño de ciudades sostenibles. Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, (3626), 25-29.

Desarrollo Orientado al Transporte

El Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) es una estrategia de planificación urbana que busca integrar de forma óptima el transporte público con el diseño y el desarrollo urbano. Según el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP), "el DOT es un modelo de desarrollo urbano que busca construir comunidades en torno al transporte público dentro de un radio de entre 500 a 800 metros. Normalmente la estructura urbana se define a partir de una estación de autobús, BRT o metro, en torno a la cual existe un desarrollo compacto con alta densidad poblacional, y buena infraestructura peatonal / ciclista. El DOT fomenta un entorno urbano compacto y de usos mixtos con densidades adecuadas para maximizar los beneficios del transporte público"⁹⁰. Otros autores ven el DOT lo promueven como una solución, ya que el transporte público es considerado como la columna vertebral de la *movilidad urbana sustentable* (MUS), siendo un enfoque de planificación urbana que organiza el desarrollo en torno a estaciones y corredores de transporte público masivo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), opina que "el DOT es una estrategia para reducir la dependencia del automóvil y promover el uso del transporte público, el caminar y el ciclismo". La **Figura 13** permite comprender la implementación de este modelo.

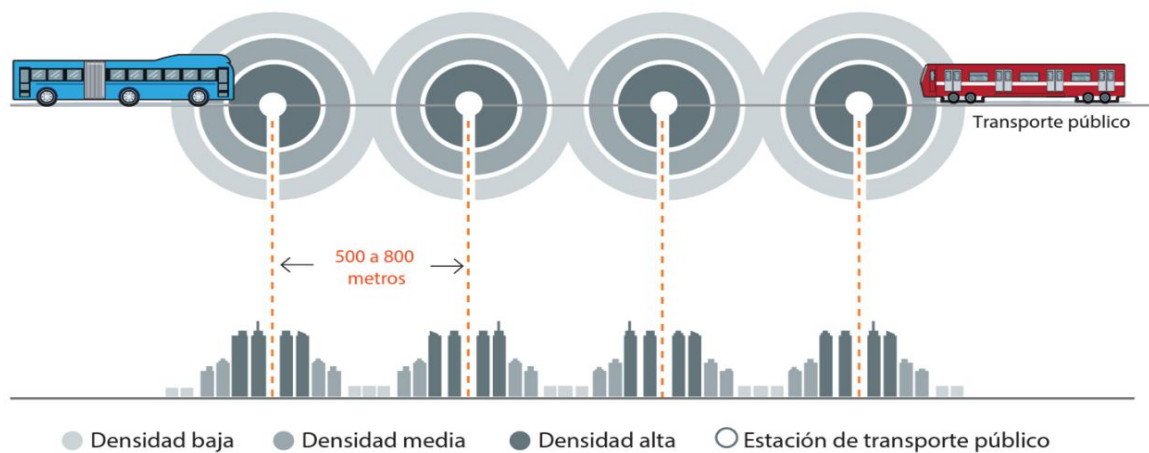


Figura 13. Esquema de representación del Desarrollo Orientado al Transporte

Fuente: ONU, 2018⁹¹

⁹⁰] Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP). (2019). Desarrollo Orientado al Transporte: Una guía para ciudades sostenibles.

⁹¹ Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). Desarrollo Orientado al Transporte: Una estrategia para reducir la dependencia del automóvil.

La implementación del DOT requiere una planificación cuidadosa y una coordinación entre diferentes actores. Según el Banco Mundial, *"la implementación del DOT requiere una estrategia integral que incluya la planificación urbana, la gestión del transporte y la participación de la comunidad"*⁹².

Los pasos clave para implementar el DOT son:

- Identificar áreas prioritarias: Seleccionar zonas urbanas de alto crecimiento y densidad para implementar el DOT.
- Diseñar un plan de transporte: Crear un plan de transporte que integre el transporte público, el caminar y el ciclismo.
- Implementar infraestructura: Construir infraestructura de transporte público, como estaciones y corredores de autobuses.
- Fomentar el desarrollo urbano: Promover el desarrollo urbano en torno a las estaciones y corredores de transporte público.
- Monitorear y evaluar: Monitorear y evaluar el impacto del DOT en la ciudad.

El DOT tiene tanto ventajas como desventajas, a continuación, se contrastan en la siguiente **Tabla 7** considerando su implementación en países en desarrollo:

Tabla 7. Ventajas y desventajas de la implementación del DOT en países del sur global
Fuente: Elaboración propia

Ventajas DOT	Desventajas DOT
Reducción de la congestión y las emisiones: El DOT puede reducir la congestión y las emisiones de gases de efecto invernadero.	Costos altos: La implementación del DOT puede ser costosa, particularmente en países en desarrollo.
Mejora de la calidad de vida: El DOT puede mejorar la calidad de vida de los habitantes urbanos al promover el uso del transporte público y el caminar.	Complejidad: La implementación del DOT requiere una planificación cuidadosa y una coordinación entre diferentes actores.
Fomento del desarrollo económico: El DOT puede fomentar el desarrollo económico al	Resistencia al cambio: La implementación del DOT puede enfrentar resistencia al cambio de

⁹² Banco Mundial. (2017). Desarrollo Orientado al Transporte: Una estrategia integral para ciudades sostenibles.

promover la inversión en infraestructura y el desarrollo urbano.	parte de los habitantes urbanos y los empresarios.
Reduciendo la pobreza: El DOT puede reducir la pobreza al proporcionar acceso a oportunidades de empleo y servicios básicos.	Falta de infraestructura: La falta de infraestructura de transporte público puede ser un obstáculo para la implementación del DOT.

En países en desarrollo, el DOT puede ser una estrategia efectiva para reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida de los habitantes urbanos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, *"el DOT puede ser una herramienta importante para reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida en países en desarrollo"*⁹³.

En América Latina, varios países están implementando el DOT. Por ejemplo, en Colombia, la ciudad de Medellín ha implementado un sistema de transporte público masivo que ha reducido la congestión y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Ciudades inteligentes

El concepto de Smart city se genera con el objetivo de apoyar la sostenibilidad y eficiencia en la infraestructura y en el sistema de transporte (Libro Blanco de las Smart cities, 2012).

Uno de los conceptos urbanísticos que se generaron para implementarse en las ciudades inteligentes es el de Supermanzanas, consiste en que, para tener una ciudad con supermanzanas, se pretende crear urbanizaciones en las que los vehículos privados sólo pueden circular por el perímetro exterior de dichas supermanzanas, y limitando el uso de ellos en los interiores. Así prácticamente se tendría una liberación de tráfico entre un 60-70%, con ello promoviendo el uso de medios de transportes sustentables, como caminar, bicicleta, etc., adicionalmente, permite revitalizar espacios públicos, aumentando el equipamiento en estos y promoviendo usos mixtos que consideren el comercio. La **Figura 14** presenta un esquema de la aplicación del concepto. Por otro lado, la creación de supermanzanas resulta una actuación

⁹³ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2016). Desarrollo Orientado al Transporte: Una herramienta para reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida en países en desarrollo.

interesante, ya que con una sola acción se repercute en una diversidad de indicadores de corte social y ambiental.



Figura 14. Esquema de supermanzanas en el concepto Smart City

Fuente: Agencia Ecología Urbana de Barcelona, Propuestas de transformación de supermanzanas de San Martín.

Uno de los conceptos del Smart City es el de Tasa por congestión, consiste en una tarifa para reducir las externalidades negativas generadas por el tráfico excesivo. Con esta medida se pretende desalentar el uso de vehículos privados en los mayores periodos de contaminación en el ámbito urbano. Habitualmente esta restricción se produce durante el periodo laboral. En algunos lugares dichas tasas se colocan en autopistas, en otras ocasiones en los accesos al centro urbano, pero ambas medidas limitan el acceso de vehículos a estas áreas, reduciendo con esto la congestión y mejorando la eficiencia de los sistemas de transportes públicos.

Un buen ejemplo es la ciudad de Londres, que implementó esta tasa en 2003 (Ver [Figura 15](#)). Los vehículos que circular por el centro de Londres deben de pagar una tasa. Dicha tarifa ha ayudado a mejorar el servicio de transporte público y financiar mejoras en este sector. Con la aplicación de esta tarifa se ha reducido la congestión, aumentado la eficiencia de los servicios de autobús y los tiempos de viaje respecto al vehículo privado.

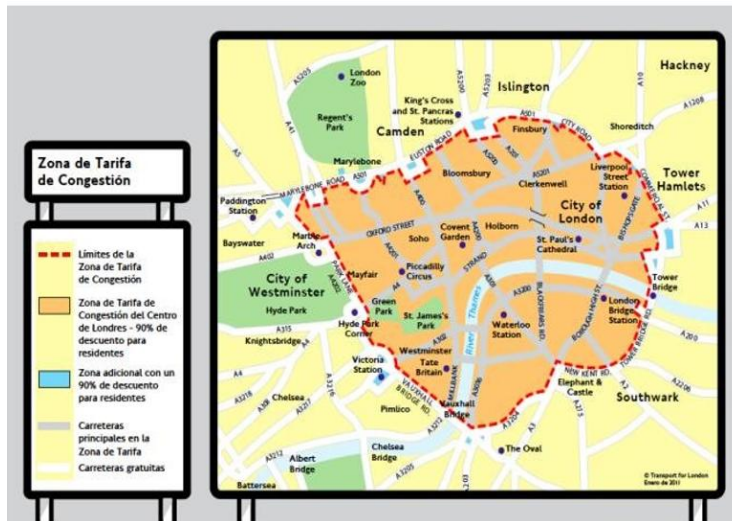


Figura 15. Cinturón establecido en Londres para el pago de la tasa por congestión.

Otros conceptos para la implementación exitosa del Smart City son:

- Restricción de accesos. Existen zonas de tráfico limitado, donde el acceso está restringido a usuarios concretos como son residentes, taxis, autobuses, personas con discapacidad, lo cuales tienen que pagar una cuota anual para disponer de un permiso.
- Impuesto por aparcar en el lugar de trabajo. Una gestión de la oferta de aparcamiento y los costes de este pueden llegar a conseguir los mismos objetivos que la tasa por congestión.
- Gestión integral del sistema de autobuses. El transporte público es imprescindible en las estrategias de movilidad de una Smart city, ya que en términos de eficiencia y sostenibilidad supera al transporte privado.
- Implementación de teletrabajo. Esta estrategia puede mejorar la movilidad urbana con ahorros de tiempo y costo de traslado, también el ayudar a disminuir el congestionamiento y la contaminación, debido a que disminuye el número de usuarios en la red de transporte, particularmente en las horas pico. Existen tres formas de teletrabajo; el teletrabajo domiciliario, itinerante o móvil en telecentros. No en todos los tipos de empleo ni empleados funcionan alguna de las formas de teletrabajo, pero sin lugar a duda, se puede probar alguna e incluso se puede rotar personal para contar con el personal indispensable en la empresa.

Enfoque Indicadores

Los indicadores de movilidad urbana sostenible pueden ayudar a las ciudades y áreas urbanas a identificar los puntos fuertes y débiles de sus sistemas de movilidad y a centrarse en las áreas que se pueden mejorar. Esto es especialmente importante para evaluar los problemas de movilidad en las comunidades de bajos ingresos. *The Urban Mobility Portal* ha preparado varias gamas de indicadores de acuerdo con el contexto geográfico y los ha clasificado en *Global*, *Regional* (estos aplican perfectamente a América Latina y el Caribe), *Nacional* y *Ciudad específica*, estas metodologías pueden ser consultadas en su portal⁹⁴.

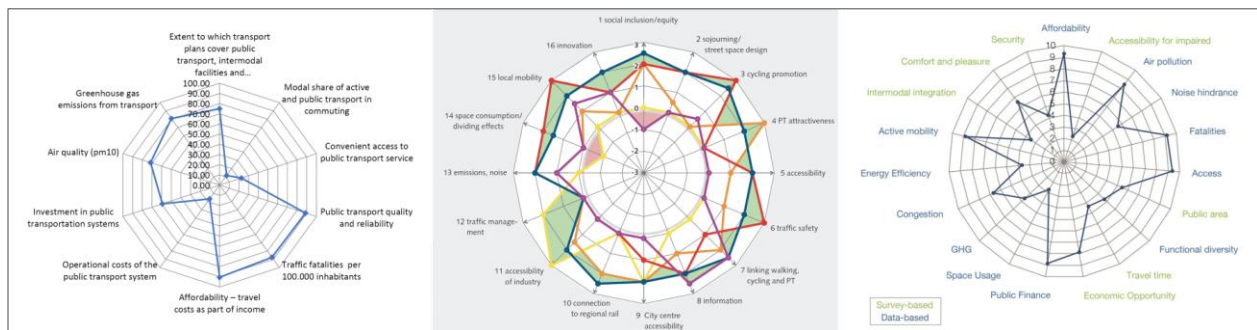


Figura 16. Ejemplos de evaluación de movilidad a través de sistemas de indicadores

Por otro lado, existen diferentes tipos de índices cuya evaluación periódica puede servir de guía para la toma de decisiones, en algunos se pueden encontrar posibles soluciones a los problemas de transporte. La siguiente es una lista de indicadores disponibles, en este apartado se discuten los beneficios de los primeros cinco:

1. Urban Mobility Readiness Index (UMRI) de Oliver Wyman⁹⁵.
2. Urban Mobility Index 3.0 (UMI) de Arthur D. Little⁹⁶.
3. Índice de Movilidad Urbana (IMU) - Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO)⁹⁷.
4. Indicadores de movilidad sostenible (ITDP)
5. City Resilience Index (CRI) – creado por Rockefeller Foundation & Arup⁹⁸.

⁹⁴ <https://www.urbanmobilityportal.com/indicators#City>

⁹⁵ <https://www.oliverwymanforum.com/mobility/urban-mobility-readiness-index/about.html>

⁹⁶ https://www.adlittle.com/sites/default/files/adl_urban_mobility_index_3.0_2018_ranking.pdf

⁹⁷ <https://imco.org.mx/indices/indice-de-movilidad-urbana/introduccion>

⁹⁸ https://resilientcitiesnetwork.org/downloadable_resources/UR/City-Resilience-Framework.pdf

6. Otros índices:

- Índice de Movilidad Urbana, propuesto por Moeinaddini et al (2015), que tiene como objetivo identificar los problemas y proponer soluciones para reducir el uso del coche⁹⁹.
- Índice de Movilidad Urbana Sostenible (IMUS) que tiene como objetivo evaluar la contribución del sistema de transporte público de una ciudad para la movilidad sostenible y apoyar la toma de decisiones en la planificación¹⁰⁰.

Índice de Movilidad Urbana (UMI) e Índice de preparación para la movilidad urbana (UMRI)

Objetivos y enfoques:

- UMRI (Oliver Wyman): Se centra en la preparación de las ciudades para la movilidad del futuro, considerando factores como la innovación, la sostenibilidad y la capacidad de adaptación a los cambios tecnológicos y demográficos. Evalúa la capacidad de las ciudades para aprovechar las oportunidades de la movilidad y mitigar sus desafíos.
- UMI (Arthur D. Little): Se enfoca en la evaluación integral de la movilidad urbana, considerando aspectos como la eficiencia, la sostenibilidad, la innovación y la calidad de vida. Busca proporcionar una visión general de la movilidad en cada ciudad e identificar áreas de mejora.

Metodología y criterios de evaluación:

- UMRI: Utiliza una metodología basada en 71 indicadores, agrupados en cinco categorías: innovación, sostenibilidad, infraestructura, movilidad compartida y gobierno. Estos indicadores se seleccionan en función de su relevancia para la movilidad urbana y su capacidad para reflejar la preparación de las ciudades para el futuro.

⁹⁹ Moeinaddini M., Asadi-Shekari Z., & Shah, M. Z. (2015). An urban mobility index for evaluating and reducing private motorized trips. *Measurement*, 63, 30-40.

¹⁰⁰ Pontes T. F. (2010). Avaliação da mobilidade urbana na área metropolitana de Brasília.

- UMI: Se basa en 27 criterios de evaluación, agrupados en seis categorías: movilidad y accesibilidad, eficiencia y calidad, innovación y tecnología, sostenibilidad y medio ambiente, seguridad y calidad de vida. Estos criterios se seleccionan para proporcionar una visión integral de la movilidad urbana en cada ciudad.

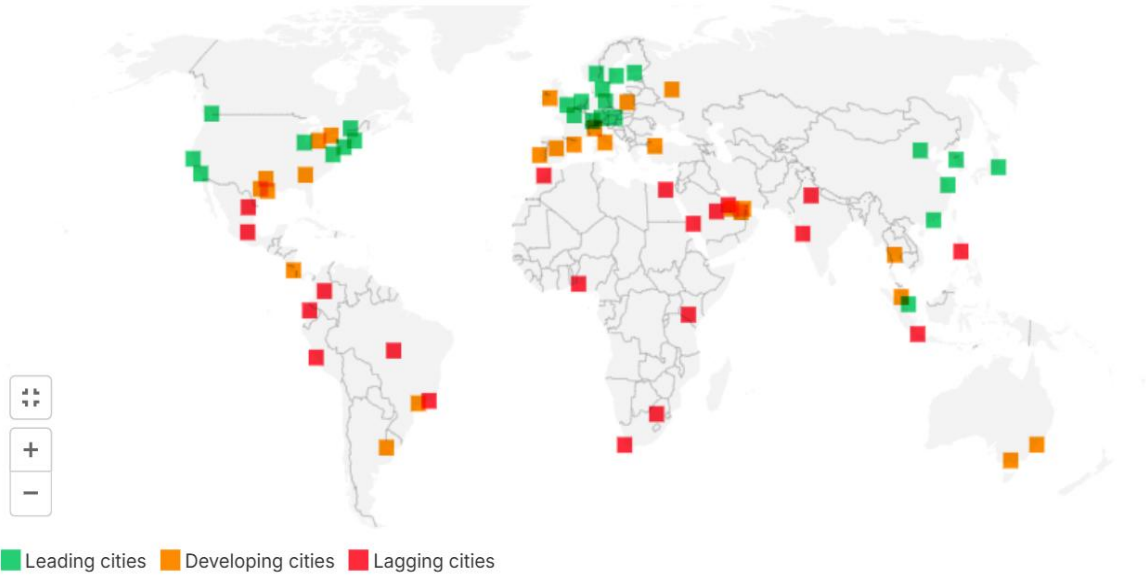
Ciudades evaluadas y alcance geográfico:

- UMRI: Evalúa 70 ciudades de todo el mundo, con un enfoque en las principales urbes de América del Norte, Europa, Asia y América Latina. Se actualiza anualmente, lo que permite reflejar los cambios y avances en la movilidad urbana en las ciudades evaluadas.
- UMI: Evalúa 100 ciudades de todo el mundo, con un alcance geográfico más amplio que incluye ciudades de África, Asia, Europa, América del Norte y del Sur, y Oceanía. Se actualiza cada dos años, lo que puede limitar su capacidad para reflejar los cambios más recientes en la movilidad urbana.

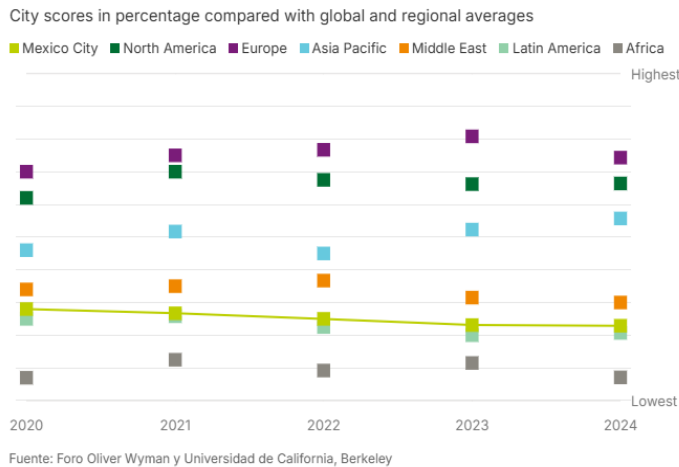
Es importante señalar que, aunque ambos índices comparten objetivos similares, el **UMRI** de Oliver Wyman se centra más en la preparación para la movilidad del futuro y utiliza una metodología más detallada, mientras que el **UMI** de Arthur D. Little ofrece una evaluación más integral de la movilidad urbana y tiene un alcance geográfico más amplio.

Una de las ventajas de la metodología del **UMRI** es que evalúa ciudades de diferente perfil, demostrando que su aplicación es posible incluso para ciudades del *sur global*. La **Figura 17** muestra un mapa de las ciudades por tipo, asimismo debajo del mapa se incluye la evolución de la Ciudad de México en el periodo 2020-2024 (actualmente ocupa el puesto número 54 dentro del ranking del UMRI), así como su comportamiento en los subíndices de movilidad sustentable, transporte público y adopción de tecnologías, comparándose con la región a Latinoamérica y global.

Ciudades incluidas en el Índice de preparación para la movilidad urbana 2024



Evolución de la clasificación relativa del Índice de preparación para la movilidad urbana (2020-2024)



Puntuaciones del índice de preparación para la movilidad urbana, movilidad sostenible, transporte público y adopción de tecnología

City scores in percentage compared with global and regional averages

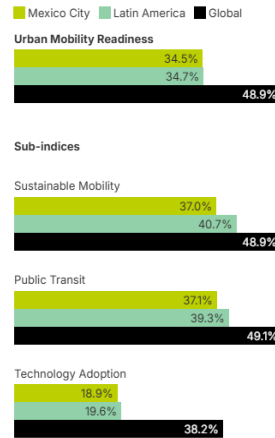


Figura 17. Evaluación del Índice de preparación para la movilidad urbana

Como parte de los resultados del **UMI**, el análisis de madurez y de rendimiento de los sistemas de movilidad en todo el mundo ha demostrado que, debido a la naturaleza compleja de los problemas en cuestión, la optimización separada a nivel de subsistema tiene fuertes limitaciones, y sólo la mejora en el sistema ayudará significativamente en el rendimiento general de la movilidad. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas de movilidad, los medios de transporte a menudo todavía están divididos y las partes

¹⁰¹ <https://www.oliverwymanforum.com/mobility/urban-mobility-readiness-index/mexico-city.html>

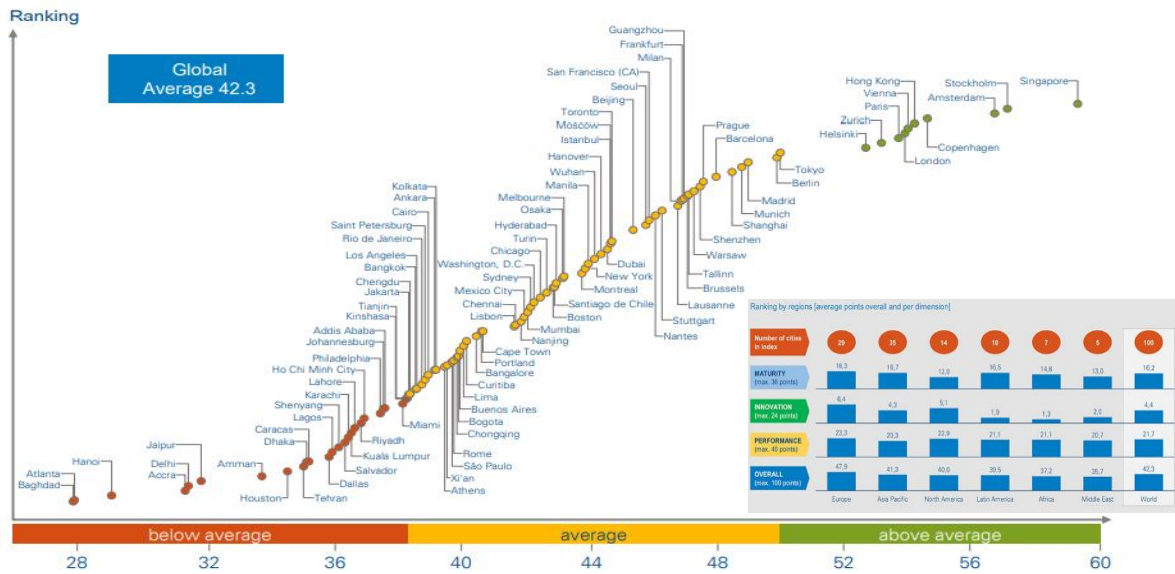
interesadas públicas y privadas no trabajan juntas en el desarrollo de ecosistemas de movilidad para generar interconexiones sin interrupciones.

La **Figura 18** presenta el lugar que ocupan los países evaluados en el ranking del UMI; dicha Figura se acompaña de los indicadores por categoría en los que fueron evaluadas las ciudades (aparecen los primeros 10 lugares). Singapur, Estocolmo, Ámsterdam, Copenhague y Hong Kong, se están posicionando como un propulsor para impulsar la movilidad sostenible en otros países. A continuación, se explican condiciones de movilidad con la que cuentan las dos ciudades mejor evaluadas, a manera de reflexión sobre las buenas prácticas que llevan a cabo.

Singapur presenta la mejor calificación en el Urban Mobility Index ya que presentó un puntaje de 59.3 puntos. Singapur presenta un enfoque pionero en la conducción autónoma. Ha lanzado una amplia gama de iniciativas de vehículos autónomos que van desde planes piloto de autobuses de manejo autónomo y robotaxis hasta vehículos comerciales y utilitarios. Para implementar estas iniciativas, los sectores público y privado se han unido para crear un amplio ecosistema de socios. Los pilotos cuentan con el apoyo del Gobierno de Singapur, que tiene una estrategia clara para la proliferación de vehículos autónomos y ha ido mucho más lejos que otros países en la reducción de los niveles de burocracia que limitan su desarrollo. Como es bien sabido, esta *ciudad-estado* comparativamente pequeña sufre de escasez de tierra y no puede permitirse el lujo de construir mucha infraestructura vial nueva mientras su población crece constantemente.

Se espera que los vehículos autónomos mejoren la eficiencia de la movilidad urbana y reduzcan así la demanda de carreteras y plazas de aparcamiento, al tiempo que aumentan la calidad de vida. La movilidad autónoma también puede resolver la falta de mano de obra para operar los servicios de transporte público y logística.

Otras iniciativas de movilidad inteligente que Singapur ha aprovechado para implementar su visión de una “sociedad con pocos automóviles” incluyen análisis de *big data* de movilidad, sistemas integrados de gestión del transporte, sistemas de detección de peatones, comunicación V2X, transporte predictivo y otros.



Urban Mobility Index

	Singapore	Stockholm	Amsterdam	Copenhagen	Hong Kong	Vienna	London	Paris	Zurich	Helsinki
Maturity indicators										
Fin. attract. of PT (cost of 5 km PT/ cost of 5 km car)	2.3	6.7	6.2	6.7	1.2	6.0	6.2	4.4	8.4	5.7
Share of public transport in modal split [%]	53%	33%	18%	28%	52%	39%	37%	21%	41%	34%
Share of zero-emission modes in modal split [%]	19%	34%	59%	43%	36%	34%	26%	40%	34%	43%
Roads density (deviation from optimum) [km/km ²]	2.6	0.5	1.7	2.7	5.5	0.6	1.4	3.1	0.7	2.1
Cycle path network density [km/hrs km ²]	579	4,041	3,502	5,267	198	3,324	596	3,520	5,985	5,614
Urban agglomeration density [citizens/km ²]	7.8	3.9	3.2	2.1	6.6	3.9	2.9	3.8	1.1	1.8
Frequency of the busiest public transport line [times/ day]	237	212	155	238	349	294	468	267	145	168
Urban mobility initiatives of public sector (0 to 10 scale)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Urban logistics initiatives of public sector (0 to 4 scale)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Innovativeness indicators										
Smart card penetration [cards/capita]	3.3	0.6	0.7	0.8	4.4	0.1	2.9	0.6	0.4	0.8
Number of mobility platforms available	10	8	10	5	6	9	9	11	9	8
Bike sharing performance [shared bikes/ million citizens]	5,161	2,243	1,559	1,803	273	856	1,111	2,204	401	1,271
Car sharing performance [shared cars/million citizens]	85	458	1,250	556	0	619	271	218	954	85
Number of peer-2-peer car sharing services available	1	3	3	2	2	2	8	11	3	2
Number of e-hail services and taxi platforms available	7	7	2	3	4	4	8	5	5	3
Number of ride sharing services available	6	4	2	2	3	1	5	7	3	1
Number of initiatives related to autonomous vehicles	8	4	3	3	1	1	10	4	1	1
Number of other smart mobility related initiatives	10	7	10	8	6	10	7	6	8	9
Performance indicators										
Transport related CO ₂ emissions [kg/capita]	1,278	1,116	1,097	769	1,026	1,149	935	1,354	894	1,120
Annual average NO ₂ concentration [mcg/m ³]	20.7	33.3	32.5	36.5	47.0	30.8	56.1	37.0	39.5	19.2
Annual average PM ₁₀ concentration [mcg/m ³]	30.0	26.0	23.0	27.0	30.5	24.0	21.0	24.0	14.0	19.0
Annual average PM _{2.5} concentration [mcg/m ³]	18.0	6.0	16.0	11.0	25.0	14.0	15.0	16.0	14.0	9.0
Traffic related fatalities per 1 million citizens	27.1	4.7	11.0	7.1	16.7	6.6	17.7	17.3	14.4	10.2
Dynamics of share public transport in modal split [%]	+22%	-7%	-10%	+27%	+14%	+12%	0%	+3%	+5%	+6%
Dynamics zero-emission modes in modal split [%]	-19%	+89%	+40%	+13%	-4%	+2%	+13%	+15%	+10%	+10%
Mean travel time to work [minutes]	44.6	39.9	28.2	30.5	44.0	26.2	48.0	41.3	32.2	35.0
Density of vehicles registered [vehicles/capita]	0.17	0.41	0.32	0.27	0.11	0.37	0.40	0.45	0.43	0.45
Overall score	59.3	57.1	56.7	54.6	54.2	54.0	53.9	53.7	53.2	52.8

Figura 18. Urban Mobility Index 3.0 – City ranking. Arthur D. Little.

Cabe señalar que Singapur tiene uno de los mayores niveles de penetración de tarjetas inteligentes de transporte multimodal del mundo. Hay más de 17 millones de tarjetas en circulación entre una población de 5,6 millones de personas, un total que equivale a un promedio de más de tres por persona. Sin embargo, si bien la ciudad ganó en el “grupo de innovación”, ocupa el sexto lugar en el “grupo de madurez” y el décimo en el “grupo de desempeño”.

Estocolmo, obtuvo una calificación en el IMU de 57.1 puntos. La capital sueca mantuvo el segundo puesto que había alcanzado en el ranking anterior de sistemas de movilidad y se distinguió por ocupar el primer puesto en el ranking de Rendimiento, el segundo lugar en el de Madurez y el sexto en el de Innovación.

De las 100 ciudades encuestadas, Estocolmo tiene el sistema de movilidad más seguro, es decir, la proporción más baja de muertes relacionadas con el transporte por millón de ciudadanos, con un total de 4,7 en comparación con el promedio europeo de 24,0 y el promedio mundial de 61,4. También tiene una división modal bien equilibrada, con el 34 por ciento de los viajes atribuidos al transporte individual motorizado, el 33 por ciento al transporte público y el 34 por ciento restante a caminar y andar en bicicleta. La calidad del aire en Estocolmo pues tiene buenos niveles de CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}.

La estrategia de Estocolmo debe considerarse una buena práctica en movilidad urbana y transporte de mercancías urbano, estableciendo objetivos ambiciosos en materia de capacidad, accesibilidad y sostenibilidad. Como parte de su plan de ciudad inteligente y conectada, Estocolmo también está implementando una amplia gama de iniciativas de movilidad inteligente, desde la gestión inteligente del tráfico y la prioridad de los semáforos para los autobuses hasta un sistema de fijación de precios por congestión e iluminación inteligente para los carriles bici. Las plataformas de movilidad utilizadas tanto por locales como por visitantes incluyen plataformas globales como *Citymapper*, *Moovit* y *TripGo*, además de servicios locales exitosos como *SL Journey Planner*, *TravelSmart* y *SLife*. También conocidas empresas emergentes como *UbiGo* han elegido Estocolmo

¹⁰² <https://www.consultancy.eu/news/936/amsterdam-and-stockholm-lead-the-way-for-urban-mobility-in-europe>

como ciudad piloto. También vale la pena mencionar un transbordador autónomo que comenzó a realizar pruebas en condiciones reales con tráfico mixto a principios de 2018.

En este sentido, cabe señalar que León es una ciudad mexicana que ha logrado avances considerables en el estudio del Índice de Movilidad Urbana y puede verse como el futuro de la movilidad urbana en México. Si bien la ciudad tenía alrededor de 100 bicicletas compartidas en 2013, esa flota ahora ha aumentado a unas 29,000. La razón principal de esto es, por supuesto, el auge mundial del uso compartido de bicicletas y el enorme crecimiento de empresas como *Mobike*, *Ofo* y *oBike*.

Índice de Movilidad Urbana (IMU)

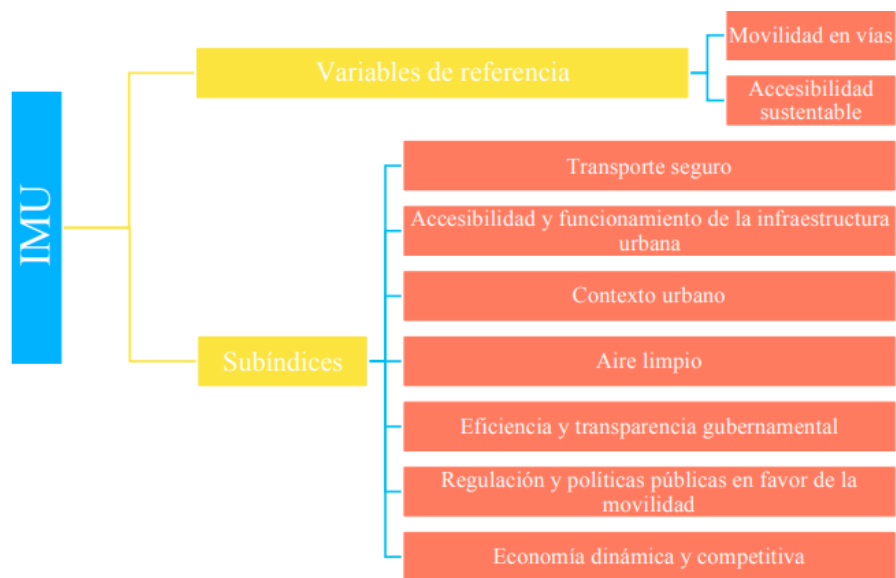
Este Índice de Movilidad Urbana creado en México, mide el grado de competitividad en la movilidad que tienen las ciudades mediante la oferta de diversas opciones de transporte, las cuales deben de ser atractivas, deseables y alcanzables para sus habitantes. La movilidad de una ciudad es competitiva si reduce las horas-persona que se pierden durante los traslados, así como los impactos que tiene sobre la salud y el medio ambiente.

El IMU es un índice compuesto. Se puede definir como una herramienta de análisis que agrega un conjunto de indicadores seleccionados de manera alineada al objetivo de análisis, que permiten evaluar y comparar el desempeño o estado de los individuos, ya sea entre sí o en diversos periodos.

El IMU del IMCO está formado por 100 indicadores, 95 de ellos repartidos en siete subíndices (ver [Figura 19](#)) y cinco que se usan como variables de referencia en los temas de: movilidad en vías y accesibilidad sustentable. A continuación, se describen cada uno de ellos.

1. El subíndice **Eficiencia y transparencia gubernamental** (tiene un valor del 25%), mide el desempeño de los gobiernos locales en materia de inversión en transporte sustentable, provisión de transporte, transparencia, percepción de corrupción y gestión de calidad del aire

2. El subíndice **Regulación y políticas públicas en favor de la movilidad** (tiene un valor del 22%), mide la existencia de un marco normativo que promueva la adecuada planeación y ejecución de la movilidad en la ciudad.
3. El subíndice **Accesibilidad y funcionamiento de la infraestructura urbana** (tiene un valor del 16%), mide la satisfacción y percepciones sobre los servicios, tipo y características de la infraestructura para la movilidad.
4. El subíndice **Transporte seguro** (tiene un valor del 15%), mide las percepciones y cambios de hábitos a causa de la inseguridad en diferentes medios de transporte.
5. El subíndice **Economía dinámica y competitiva** (tiene un valor del 12%), mide las principales características de las economías urbanas con indicadores que describen la situación de la población ocupada, el dinamismo de la economía y la formalidad de esta.
6. El subíndice **Contexto urbano** (tiene un valor del 07%), mide la distribución modal, el crecimiento y densidad de la mancha urbana, así como algunas de sus implicaciones sobre el ciudadano.
7. El subíndice **Aire limpio** (tiene un valor del 03%), mide el cumplimiento de las normas de la calidad del aire, la emisión de contaminantes provenientes de fuentes móviles y algunos de sus efectos en la salud.



Fuente: Elaborado por el IMCO.

Figura 19. Estructura del índice de movilidad urbana del IMCO

La Calificación de los indicadores anteriores suma el 100%, en relación con las variables de referencia, la **Figura 20** presenta el esquema de cómo se componen

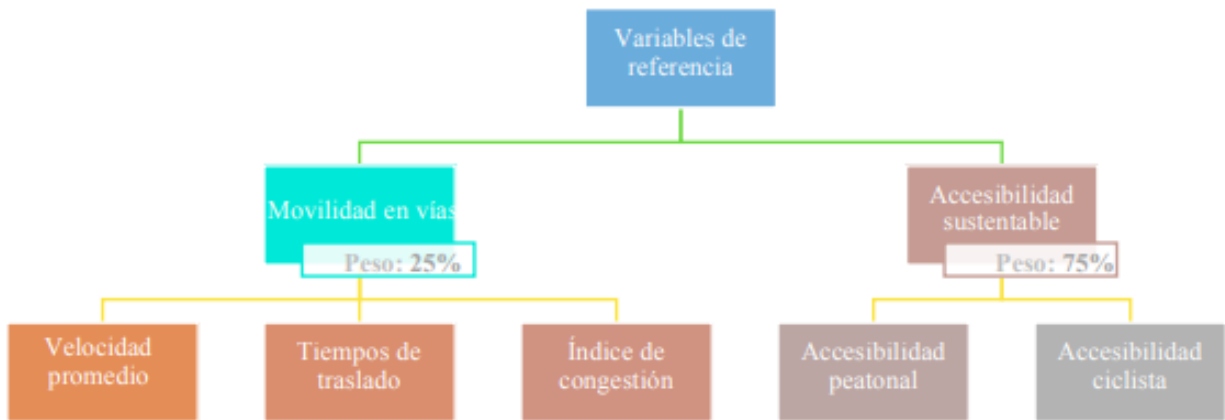


Figura 20. Diagrama de indicadores de variables de referencia IMU-IMCO

Movilidad en vías. Este indicador compuesto representa el 25% del puntaje de las variables de referencia. Para su cálculo se promedió el valor de tres indicadores normalizados: velocidad promedio, tiempos de traslado e índice de congestión.

- **Velocidad promedio** El cálculo de la velocidad promedio se realizó a partir de las velocidades registradas en los tramos de vías que conforman la ciudad (principalmente los centros económicos). Éste se realizó como el promedio de las velocidades registradas en cada sentido del tramo durante un periodo de las 6:00 a 21:59 horas.
- **Tiempos de traslado** Calculado como promedio general de tiempo que toma recorrer cinco kilómetros del polo económico de la ciudad en un día entre semana, considerando solamente las velocidades medidas entre las 6:00 y las 21:59 horas.
- **Índice de congestión** Relación entre la velocidad promedio de la ciudad y los límites de velocidad de esta, considerando todas las vías de la ciudad.

Accesibilidad sustentable. Este indicador representa el 75% del puntaje de las variables de referencia. Para su cálculo se promedió el valor de dos indicadores normalizados: accesibilidad peatonal y ciclista.

- **Accesibilidad peatonal.** Superficie que puede cubrir un peatón (km^2) en 30 minutos del polo económico de la ciudad, especificando las vialidades en donde es posible transitar de esta manera.

- **Accesibilidad ciclista.** Superficie que puede cubrir un ciclista (km²) en 30 minutos del polo económico de la ciudad, especificando las vialidades en donde es posible transitar de esta manera

Indicadores de movilidad sostenible (ITDP)

El ITDP¹⁰³ ha definido indicadores que son factibles, escalables y fáciles de entender. Existen muchos indicadores de transporte sostenible, pero muchos de ellos se desarrollan utilizando índices que se convierten en cajas negras, lo que deja pocas acciones discernibles para mejorarlos. Muchos otros indicadores existentes sufren de una dependencia excesiva de la complejidad, por lo que requieren un alto nivel de conocimiento técnico para comprenderlos plenamente y actuar en consecuencia. Para evitar eso, los indicadores contenidos en la propuesta del *ITDP* son fáciles de entender, replicables y pueden vincularse a intervenciones de políticas.

Como parte de la metodología de este estudio que pretende mostrar su replicabilidad, es importante comentar las fuentes de información. Los indicadores desarrollados como parte de este esfuerzo de investigación se calcularon principalmente utilizando ArcGIS. Además, la mayoría de ellos se calcularon utilizando la extensión de análisis de redes de ArcGIS. Todos los datos utilizados en este proceso fueron gratuitos. Los datos de las carreteras se recopilaron de *OpenStreetMaps*, los datos *GTFS* se recopilaron de *TransitFeeds* y de varias agencias de tránsito. Los datos de población e ingresos de los Estados Unidos se obtuvieron de las estimaciones trienales de la Encuesta sobre la comunidad estadounidense de 2015 del censo de los Estados Unidos. Los datos sobre empleo de los Estados Unidos se obtuvieron de la encuesta Longitudinal *Employer Household Dynamics* de 2015, también del censo de los Estados Unidos. Los datos de población de Canadá se obtuvieron del censo canadiense y los datos de población de México se obtuvieron del censo mexicano. Además de los datos de fuente abierta utilizados, se utilizaron los límites de la ciudad para definir la extensión de esta. A

¹⁰³ <https://naindicators.itdp.org/>

continuación, se presentan las tres categorías *Acceso al tránsito, Accesibilidad, y Características de la ciudad*, en la que se dividen los once indicadores del estudio.

1. Acceso al tránsito

Personas cerca del tránsito rápido. Es un indicador que mide el porcentaje de la población que se encuentra a 10 minutos a pie o en bicicleta de una estación de transporte rápido. Este indicador, junto con los demás indicadores de proximidad, se mide a pie y también incluye el uso de la bicicleta en carriles para bicicletas protegidos. El transporte rápido se define como cualquier corredor de transporte rápido en autobús (BRT, por sus siglas en inglés), corredor de LRT o modo de transporte basado en rieles que cumpla con la definición de los conceptos básicos de BRT en el Estándar BRT.

Empleos cerca de estaciones de tránsito rápido. Son una medida del porcentaje de empleos que se encuentran a aproximadamente 10 minutos en bicicleta o a pie de una estación de tránsito rápido. El tránsito rápido se define como cualquier corredor de tránsito rápido en autobús (BRT), corredor de LRT o modo de tránsito basado en ferrocarril que cumpla con el estándar BRT.

Hogares de bajos ingresos cerca de transporte público rápido. Mide el porcentaje de la población que gana menos de \$20,000 al año y que vive a unos 10 minutos en bicicleta o caminando de una estación de tránsito rápido. Se seleccionó este porcentaje porque está justo por debajo del nivel federal de pobreza para una familia de tres (\$20,780

La población cercana a una parada de transporte público frecuente. Mide el porcentaje de la población que se encuentra a aproximadamente 10 minutos en bicicleta o caminando de una parada de transporte público frecuente. Las paradas se definen como frecuentes si reciben servicio un promedio de cinco veces por hora (aproximadamente con un intervalo de 12 minutos) desde las 7:00 a. m. hasta las 9:00 p. m. en un día laborable, e incluyen estaciones de transporte público rápido.

Los empleos cerca de paradas de transporte público frecuentes. Son una medida del porcentaje de todos los empleos que se encuentran a aproximadamente 10 minutos en bicicleta o a pie de una parada de transporte público frecuente. Este indicador utiliza los

mismos parámetros que las personas cerca de paradas de transporte público frecuentes: un promedio de cinco salidas por hora desde las 7:00 a. m. hasta las 9:00 p. m.

- Hogares de bajos ingresos cerca de medios de transporte frecuentes

Hogares de bajos ingresos cerca de medios de transporte frecuentes es una medida del porcentaje de hogares que ganan menos de \$20,000 y viven a aproximadamente 10 minutos en bicicleta o caminando de medios de transporte frecuentes. Este indicador utiliza los mismos parámetros que Personas cerca de medios de transporte frecuentes: un promedio de cinco salidas por hora desde las 7 a. m. hasta las 9 p. m.

2. Accesibilidad

- Acceso a empleos mediante transporte sostenible (60 y 30 minutos)

El acceso a empleos mediante transporte sostenible mide el promedio de la cantidad de empleos a los que se puede llegar en 30 y 60 minutos para cada distrito censal dentro del área caminando, en bicicleta (en carriles para bicicletas protegidos) y en transporte público. Este indicador es un porcentaje de todos los empleos de la ciudad.

- Acceso a empleos de baja cualificación mediante el transporte sostenible (60 y 30 minutos)

Este indicador es una medida del promedio del número de empleos que requieren menos de una educación secundaria a los que se puede llegar caminando, en bicicleta y en transporte público en 30 y 60 minutos para cada tramo censal del área.

- Acceso a las personas mediante transporte sostenible (60 minutos)

Este indicador es una medida del promedio de la cantidad de personas a las que se puede llegar en 60 minutos para cada distrito censal de la zona. Este indicador se desarrolló como una medida indirecta del acceso a empleos en áreas donde no había datos disponibles sobre empleos.

3. Características de la ciudad

- Densidad de bloques

La densidad de manzanas es una medida del número promedio de manzanas por kilómetro cuadrado del área de estudio. Las manzanas se definen como áreas desarrolladas que están rodeadas por todos lados por pasajes peatonales de acceso público.

Densidad de población ponderada. Este indicador representa la densidad de población media de una persona en la ciudad. A diferencia de la densidad de población tradicional, que mide la cantidad de personas en una zona, esta medida se pondera por la población de cada área censal, lo que proporciona una comprensión más matizada de la densidad de población.

Índice de resiliencia de la ciudad (CRI)

El término “*resiliencia*” se usa en muchas disciplinas. *Holling* introdujo el concepto en la ciencia ecológica, como *la capacidad para absorber perturbaciones y mantener las mismas variables de estado*. El concepto de ciudades resilientes se ha convertido en un concepto cada vez más estudiado en ingeniería especialmente en relación con el desafío de los desastres humanos y naturales.

Se han desarrollado marcos de evaluación de resiliencia urbana, cuyos indicadores valoran su capacidad de las infraestructuras críticas de una ciudad que enfrentan perturbaciones o crisis, lo anterior con la intención de apoyar a las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones¹⁰⁴.

En este sentido surge el *City Resilience Index* (CRI) desarrollado por Arup con el apoyo de la Fundación Rockefeller, los resultados se concentran en la publicación de *Frame City Resilience 3.0*. El CRI se estructura en torno a cuatro dimensiones, doce objetivos y 52 indicadores (ver **Figura 21**), a través de los cuales proporciona a las ciudades un medio para evaluar y monitorear su presente resiliencia, junto con el progreso hacia un futuro más resiliente. La evaluación puede ayudar a las ciudades a desarrollar una comprensión más profunda de los sistemas, procesos y funciones que dan forma a su perfil de resiliencia. Los resultados de aplicación del CRI permiten identificar las acciones apropiadas para fortalecer la resiliencia urbana, al tiempo que les permite medir el progreso a lo largo del tiempo.

¹⁰⁴ Yang, Z., Barroca, B., Bony-Dandrieux, A., y Dolidon, H. (2022). Indicador de resiliencia de la infraestructura de transporte urbano: una revisión de los enfoques actuales. *Infraestructuras* , 7 (3), 33. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7030033>

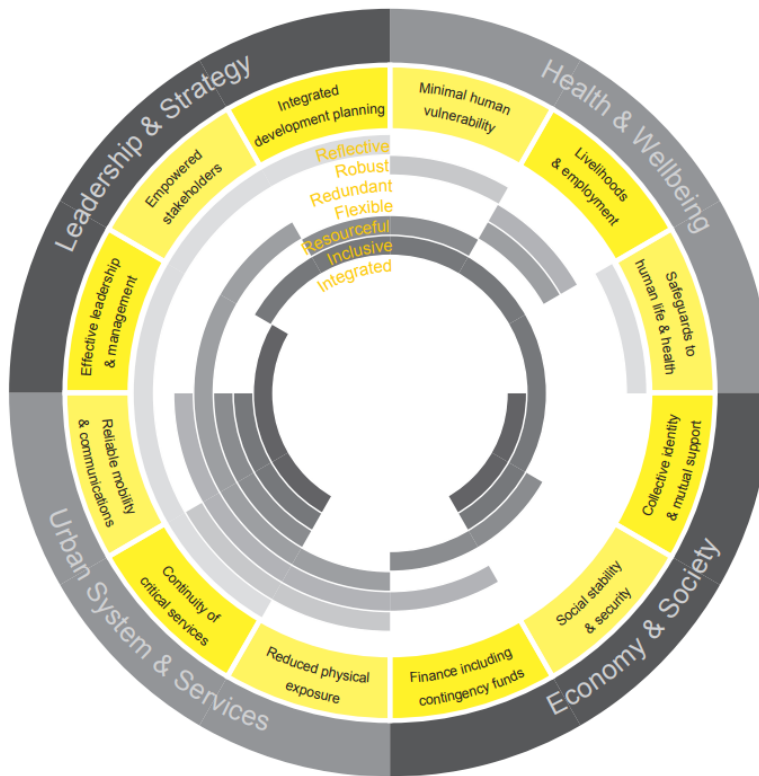


Figura 21. Estructura del City Resilience Index (CRI)

Se describen a continuación los objetivos de cada una de las cuatro dimensiones clave del Marco CRI:

- **Salud y bienestar**, garantizando la salud y el bienestar de todas las personas que viven y trabajan en la ciudad.
- La **economía y la sociedad**, los sistemas sociales y financieros que permiten a las poblaciones urbanas vivir pacíficamente y actuar colectivamente.
- **Infraestructura y medio ambiente**, sistemas artificiales y naturales que proporcionan servicios críticos, protegen y conectan a los ciudadanos urbanos.
- **Liderazgo y estrategia**, la necesidad de una toma de decisiones informada, inclusiva, integrada e iterativa en nuestras ciudades.

Índice de resiliencia del transporte, derivado del CRI

Debido al rápido crecimiento de la población en las zonas urbanas, surge un gran desafío: adaptar el transporte y el desarrollo urbano a las necesidades de movilidad urbana, la *resiliencia en los sistemas de transporte* no es un concepto consensuado. Sin embargo,

se reconoce que los sistemas de transporte urbano son susceptibles a perturbaciones, interrupciones y riesgos por causas naturales y humanas (desastres naturales como huracanes, inundaciones, incendios o eventos provocados por el hombre como ataques terroristas, eventos culturales, huelgas y sistemas. fallas causadas por errores humanos o mala gestión¹⁰⁵. El concepto de resiliencia se ha introducido en los sistemas de transporte urbano para reducir las consecuencias de sus perturbaciones; es decir adaptarse e incluso recuperarse.

Recientemente, este concepto ha despertado un interés considerable por parte de investigadores de diferentes áreas del transporte y la movilidad. En la **Tabla 8** se resumieron diferentes investigaciones que reportan sobre este tema bajo diferentes perspectivas, dando como resultado un concepto más integral, que incluye adaptar y transformar sistemas para diferentes niveles de equilibrio.

Tabla 8. Recopilación de definiciones de resiliencia de los sistemas de transporte por distintos autores
Fuente: Elaboración propia.

Definición	Aplicación	autor/es
“La resiliencia es una característica que indica el rendimiento del sistema en condiciones inusuales, la velocidad de recuperación y la cantidad de asistencia externa necesaria para restaurar su estado funcional original”	Sistemas de transporte	(Murray-Tuite, 2006, p.1398)
“La resiliencia es una característica que indica el rendimiento del sistema en condiciones inusuales, la velocidad de recuperación y la cantidad de asistencia externa necesaria para restaurar su estado funcional original” “La resiliencia se define como la capacidad del sistema para absorber las consecuencias de las perturbaciones e interrupciones para reducir los impactos de estas y mantener la movilidad de la carga”.	Sistemas de transporte de carga	(Ta et al., 2009, p.21)
“La resiliencia se define como la fracción esperada de la demanda que puede satisfacerse después de un desastre“	Transporte de carga	(Miller-Hooks et al., 2012)
“se define como la capacidad de adaptación de la cadena de suministro para prepararse para situaciones inesperadas eventos, responder a las interrupciones y recuperarse de ellas manteniendo la continuidad de las operaciones en los niveles deseados de conectividad y control sobre la estructura y la función”.	Sistemas de transporte de carga	(Spiegler et al., 2012, p.6182)
“La definición de resiliencia... es la capacidad de una red de transporte para absorber eventos disruptivos con gracia y regresar a un nivel de servicio igual o mayor que el nivel de servicio previo a la interrupción dentro de un tiempo razonable marco.”	Infraestructura de transporte	(Freckleton et al., 2012, p.110)
“La resiliencia se refiere a la respuesta del sistema ante un shock y su capacidad para continuar brindando los resultados esperados niveles de prestación de servicios”.	Sistema de transporte por carretera	(Omer et al., 2013, p.389)

¹⁰⁵ Rietveld, P. (2005). Six reasons why supply-oriented indicators systematically overestimate service quality in public transport. *Transport Reviews*, 25(3), 319–328. <https://doi.org/10.1080/0144164042000335814>

"Los sistemas de transporte resilientes permiten una rápida evacuación, rescate, distribución de suministros de socorro y otras actividades para reducir el impacto de los desastres naturales y acelerar la recuperación de estos".	Sistemas de transporte	(Osogami et al., 2013, p.1)
"Parece que la resiliencia, concebida como la capacidad del sistema para absorber shocks sin consecuencias catastróficas. cambios en su organización funcional básica, es una herramienta potencialmente eficaz para comprender los caminos evolutivos de redes espaciales complejas, como las redes de transporte y comunicación"	Sistemas de transporte	(Reggiani, 2013, p.67)
"La resiliencia de un sistema se refiere a la capacidad de soportar interrupciones dentro de una reducción aceptable en servicio".	Transporte ferroviario	(Jin et al., 2014, p.17)
"La resiliencia es la velocidad a la que un sistema regresa al equilibrio después de una perturbación que lo aleja del equilibrio".	Sistemas de transporte ferroviario	(D'Lima y Medda, 2015, p.38)
"El concepto de resiliencia pretende capturar la capacidad de un sistema para mantener su función después de una interrupción importante o desastre."	Sistemas de transporte	(Mattsson y Jenelius, 2015, p.31)
Los autores "han definido la resiliencia como la capacidad de los sistemas de transporte para experimentar un impacto potencialmente dañino y regresar a un estado saludable de operaciones en un período de tiempo razonable después de ese evento"	Sistemas de transporte ferroviario	(Chan y Schofer, 2016, p.7)
Los autores se refieren a la resiliencia del transporte como "la capacidad de un sistema de transporte para absorber perturbaciones mantener su estructura y función básicas y recuperar el nivel de servicio requerido dentro de un tiempo y condiciones aceptables. Costos después de verse afectados por interrupciones"	Sistemas de transporte	(Wan et al., 2017, p.11)

La implementación completa del CRI puede ser complicada de un inicio, una de las propuestas de esta tesis es empezar al menos con el cálculo de uno de los indicadores representativos de la movilidad urbana, para ello nos enfocaremos en la dimensión de infraestructura y medio ambiente del CRI, la cual puede entregar información para evaluar el transporte público a partir de la calidad y suficiencia de los elementos de infraestructura de transporte.

Esta dimensión del CRI comprende tres objetivos: 1) exposición y fragilidad reducidas, 2) provisión efectiva de servicios críticos y 3) movilidad y comunicaciones fiables. Nos enfocaremos en este último.

Movilidad y comunicaciones fiables. Este objetivo considera la diversidad, la seguridad y la calidad de las opciones de viaje en toda la ciudad. También la confiabilidad y seguridad de las redes de tecnología de la información y la comunicación en toda la ciudad, así como la capacidad de la ciudad para comunicar información a los residentes y empresas durante tiempos de emergencia. Cuenta con cuatro indicadores: 9.1 *Redes de transporte diversas y asequibles*, 9.2 Operación y mantenimiento efectivo del transporte, 9.3 Tecnología de comunicación confiable, y 9.4 Redes tecnológicas seguras.

Enfocándonos en el análisis solamente del **Indicador 9.1.: Redes de transporte diversas y asequibles**, podremos realizar la evaluación puntual del sistema de transporte urbano.

El indicador 9.1, considera que la movilidad en toda la ciudad es crucial para crear un entorno propicio para el trabajo y la vida cotidiana, construye y mantiene redes sociales y vínculos, y apoya la evacuación masiva rápida durante las emergencias. La diversidad dentro de las redes de transporte de la ciudad, y la integración entre redes, permite a las personas moverse fácilmente por la ciudad para realizar actividades personales y comerciales. Las redes de transporte diversas e integradas también pueden seguir apoyando mejor la movilidad en la ciudad en tiempos de interrupción al proporcionar una gama de opciones de viaje alternativas asequibles.

Preguntas cualitativas que guían la evaluación son las siguientes:

- 9.1.1 ¿En qué medida la ciudad proporciona una red vial diversa y adecuada?
- 9.1.2 ¿En qué medida ofrece la ciudad un sistema de transporte público diverso y asequible?
- 9.1.3 ¿En qué medida se promueven alternativas de transporte personal?
- 9.1.4 ¿En qué medida proporciona la ciudad enlaces de transporte diversos y efectivos a otras ciudades o regiones?

Las Tablas siguientes (9-12) presentan las bases de medición para la escala de 1 a 5 del mejor y peor escenario, así como las métricas preferidas, métricas suplementarias y guías métricas para contar con la información que permita contar con argumentos cuantitativos y/o cualitativos para calificar el nivel de resiliencia del transporte urbano.

Tabla 9. CRI 9.1.1. Red diversa y adecuada - índice de resiliencia del transporte público derivado.

9.1.1: ¿En qué medida la ciudad proporciona una red de carreteras diversa y adecuada?		
	Mejor escenario (puntuación=5)	Peor escenario (puntuación = 1)
Base de medición	Las redes de carreteras de la ciudad son adecuadas para la demanda, y los conductores pueden tomar rutas alternativas cuando se producen interrupciones dentro de la red. La red de carreteras soporta eficazmente tanto los viajes desde las zonas exteriores hasta el centro de la ciudad como los viajes radiales alrededor o a través de la ciudad. La congestión del tráfico bloqueado por la red es rara. Los servicios e instalaciones esenciales de la ciudad (por ejemplo, escuelas / hospitales / lugares de empleo) están ampliamente distribuidos en toda la ciudad. Los usuarios de la red de carreteras disponen de información sobre los tiempos de viaje en tiempo real y la información sobre viajes.	Las redes de carreteras de la ciudad favorecen en gran medida el transporte hacia el centro de la ciudad, con una conectividad difícil a través de la ciudad o viajes radiales. La congestión del tráfico bloqueada por la red, que causa a los conductores retrasos considerables en sus viajes, ocurre con frecuencia. Los servicios e instalaciones esenciales (por ejemplo, escuelas / hospitales / lugares de empleo) están ubicados en grupos, causando problemas de congestión del tráfico. Los usuarios de la red de carreteras disponen de poca o ninguna información sobre los tiempos de viaje en tiempo real y la información sobre los viajes
	Métrica preferida	Guía métrica
	Velocidad media de los viajes por carretera desde el centro de la ciudad hasta el límite de la ciudad (km por hora)	Velocidad media anual de un viaje desde el centro de la ciudad hasta el límite exterior en kilómetros por hora.
Métricas cuantitativas	Métricas suplementarias	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo total / promedio de viaje a través de la ciudad (viajes circunferenciales) (Arup, 2015) • Tiempo total / promedio de viaje a través de la ciudad (es decir, viajes radiales) (Arup, 2015) 	

Tabla 10. CRI 9.1.2. Transporte público diverso y asequible - índice de resiliencia del transporte público

9.1.2: ¿Hasta qué punto la ciudad proporciona un sistema de transporte público diverso y asequible?		
	Mejor escenario (puntuación=5)	Peor escenario (puntuación = 1)
Base de medición	El sistema de transporte público de la ciudad es asequible y accesible en toda la ciudad, proporcionando acceso a destinos relevantes. La ciudad proporciona mecanismos que son culturalmente apropiados para apoyar el acceso equitativo de personas vulnerables (por ejemplo, ancianos, discapacitados, adultos que viajan con niños) o grupos demográficos.	El sistema de transporte público de la ciudad no es accesible ni asequible para los usuarios de bajos ingresos. O El sistema de transporte público no proporciona un acceso equitativo para grupos vulnerables o grupos demográficos. La red de transporte público no proporciona un acceso adecuado a los destinos pertinentes.
	Métrica preferida	Guía métrica
	Porcentaje de viajeros que utilizan un modo de viaje distinto de un vehículo personal (como porcentaje del total de viajeros) (ISO 37120)	
Métricas cuantitativas	Métricas suplementarias	
	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo medio de viaje al trabajo en transporte público (Arup) • Proporción del ingreso mensual promedio del 20% más pobre de la población que se gasta en viajes • Porcentaje de hogares ubicados a una distancia de 1/2 milla a pie de uno o más modos de transporte público (Arup) 	

Tabla 11. CRI 9.1.3. Alternativas de transporte personal - índice de resiliencia del transporte público

9.1.3: ¿En qué medida se promueven las alternativas de transporte personal?		
	Mejor escenario (puntuación=5)	Peor escenario (puntuación = 1)
Base de medición	La ciudad tiene planes integrales en marcha, y ha asegurado la inversión, para promover opciones de transporte alternativas (por ejemplo, uso compartido de automóviles, senderos para caminar, rutas para bicicletas e infraestructura asociada). Estos planes involucran al sector privado y / o la sociedad civil y se integran con la planificación general de la ciudad. La ciudad ha evaluado la idoneidad y eficacia de las iniciativas alternativas de planificación de viajes. Los planes reflejan datos actualizados y se revisan y actualizan regularmente para abordar las necesidades de la ciudad.	La ciudad no tiene planes o iniciativas para promover opciones de transporte (por ejemplo, compartir automóviles, senderos para caminar, rutas para bicicletas e infraestructura asociada).
	Métrica preferida	Guía métrica
	Porcentaje de viajes realizados a pie o en bicicleta (Arup, 2015)	
Métricas cuantitativas	Métricas suplementarias	
	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de ciudad cubierta por superficie segura para caminar (Arup, 2015) • Kilómetros de carriles bici/zona urbana (Arup, 2015) • Kilómetros de carriles bici / 100.000 (Arup, 2015) • Kilómetros de carriles de transporte compartido (por ejemplo, coche compartido, autobús) por 100 000 habitantes (Arup, 2015) 	

Tabla 12. CRI 9.1.4. Conexiones de transporte diversas y efectivas - índice de resiliencia del transporte público

9.1.4: ¿En qué medida la ciudad ofrece conexiones de transporte diversas y efectivas a otras regiones?		
	Mejor escenario (puntuación=5)	Peor escenario (puntuación = 1)
Base de medición	La ciudad cuenta con planes de contingencia para permitir el movimiento de personas y mercancías dentro / fuera de la ciudad en caso de que fallen uno o más enlaces de transporte externos importantes (por ejemplo, aeropuerto, ferrocarril y carretera). La ciudad ha revisado los enlaces de transporte intraurbano/regional en el contexto de la planificación de escenarios de emergencia.	La ciudad no ha identificado la captación de desplazamientos. La ciudad tiene malas conexiones de transporte a otras ciudades o regiones. La ciudad no ha llevado a cabo una evaluación estratégica de los enlaces de transporte con otras ciudades. O La ciudad no ha desarrollado planes de contingencia para garantizar el movimiento de personas y bienes dentro / fuera de la ciudad en caso de que fallen uno o más enlaces de transporte externos importantes (por ejemplo, aeropuerto, ferrocarril y carretera).
	Métrica preferida	Guía métrica
	Número de otras ciudades a las que esta ciudad tiene conexiones diarias en autobús	
Métricas cuantitativas	Métricas suplementarias	
	<ul style="list-style-type: none"> • Coste medio de las tarifas de los trayectos diarios en autobús (Arup, 2015) • Duración media del trayecto (minutos) para la captación de desplazamientos en autobús (Arup, 2015) • Conectividad aérea comercial (número de destinos aéreos comerciales sin escalas) (ISO 37120) 	

Esta metodología particular derivada de uno de los indicadores del CRI, puede ser aplicada para la evaluación de un sistema de rutas de transporte público existente y uno propuesto, valorando cual ofrece mejor resiliencia urbana para hacer frente a perturbaciones o crisis a las que está sujeto. La **Figura 22** presenta un diagrama de la metodología a seguir para determinar el índice de resiliencia del transporte público propuesto.

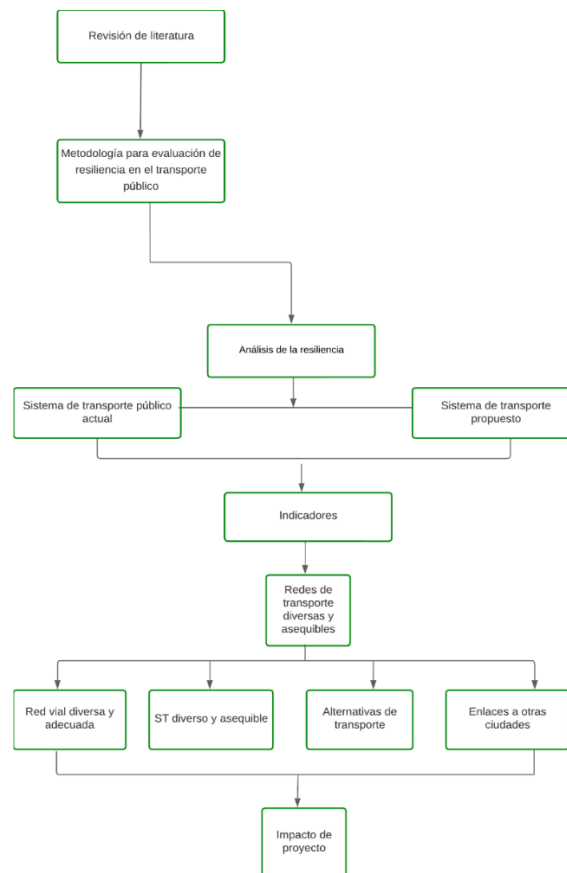


Figura 22. Propuesta para calcular un índice de resiliencia del transporte público derivado del indicador 9.1 del CRI

La tabla siguiente se presenta solo de referencia para vaciar los valores ponderados obtenidos para cada pregunta del indicador 9.1 Redes de transporte diversas y asequibles, y poder comparar cual tiene mejor desempeño.

Sub-indicador 9.1	Escenario actual	Escenarios con nuevas rutas
9.1.1 Red vial diversa y adecuada		
9.1.2 Sistema de transporte diverso y asequible		
9.1.3 Alternativas de transporte		
9.1.4 Enlaces a otras ciudades		
Total		

Conclusiones y recomendaciones

La presente investigación tuvo como objetivo general identificar un conjunto de enfoques y herramientas que permitan mejorar el funcionamiento del transporte urbano en ciudades con diversos contextos y recursos. A partir de esta premisa, se plantearon tres objetivos específicos: (1) realizar una revisión de literatura rápida (RRL) que permitiera identificar los principales problemas del transporte urbano; (2) establecer un conjunto de enfoques y herramientas para analizar la relación entre estructura urbana y transporte; y (3) discutir las ventajas y generar recomendaciones sobre su aplicación contextual. A lo largo del documento se cumplió con estos objetivos.

La RRL constituyó el primer eje metodológico de esta tesis y arrojó hallazgos valiosos. De 2,553 artículos identificados, 25 fueron seleccionados por cumplir con los criterios de inclusión: relevancia temática, publicación en inglés, y exposición clara de problemas y soluciones relacionadas con la movilidad urbana. Estos estudios abarcan una diversidad de contextos urbanos y permiten extraer tendencias, brechas y propuestas relevantes. Entre los hallazgos más significativos destacan tres. Primero, la congestión vehicular, junto con la contaminación, representa una problemática estructural en la mayoría de las ciudades analizadas, independientemente de su nivel de desarrollo. Segundo, existe una marcada tendencia a proponer soluciones centradas en el fortalecimiento del transporte público, priorizando la eficiencia, cobertura y accesibilidad de estos sistemas. Tercero, se identificó una escasa integración entre la planificación de usos de suelo y los sistemas de transporte, lo que evidencia una brecha crítica en la literatura. En este sentido, la RRL no solo permitió fundamentar conceptualmente los enfoques propuestos, sino también visibilizar vacíos teóricos y prácticos que justifican la originalidad del presente trabajo. La clasificación de los problemas, tipos de ciudades y propuestas de solución sentó las bases para formular un marco de análisis robusto y adaptable.

El principal aporte de esta tesis reside en la propuesta de un conjunto articulado de enfoques y herramientas que permiten analizar, con mayor precisión, la relación entre estructura urbana y transporte. A diferencia de enfoques tradicionales que tratan estas dimensiones por separado, el marco propuesto reconoce su carácter interdependiente.

Entre los enfoques discutidos destacan:

- Modelos de simulación y asignación de tráfico, útiles para entender los patrones de circulación y proponer alternativas de rediseño vial.
- Superposición de capas geoespaciales para identificar puntos de fricción o de oportunidad.
- Análisis de accesibilidad y clústeres, que permite valorar el acceso efectivo a servicios según la distribución de los usos del suelo.
- Sistemas de indicadores compuestos, como el Índice de Movilidad Urbana Sostenible y el Índice de Resiliencia del Transporte, cuya construcción integrada facilita la toma de decisiones basadas en evidencia.

Estas herramientas han sido diseñadas con un enfoque práctico y flexible, lo que posibilita su aplicación en distintos niveles de planificación y en diversos contextos geográficos, particularmente en ciudades del Sur Global donde las carencias de infraestructura y datos son notorias. Estos enfoques pueden ser utilizados tanto en diagnósticos técnicos como en ejercicios de participación ciudadana, favoreciendo una planificación urbana más inclusiva y sostenible.

Uno de los principales hallazgos de esta investigación es que la congestión no es solo un problema técnico de capacidad vial, sino una consecuencia multifactorial de dinámicas urbanas desarticuladas. Es necesario transitar de estrategias reactivas —como la ampliación de vialidades— a enfoques preventivos, centrados en la gestión de la demanda de viajes, la promoción del transporte público y no motorizado, y una reconfiguración de la ciudad en torno a núcleos mixtos y densos. Así, se argumenta que los enfoques desarrollados aquí tienen el potencial de anticipar escenarios de congestión y proponer intervenciones que consideren simultáneamente las condiciones socioeconómicas, los patrones de viaje y la estructura territorial.

Especial atención merece el análisis del caso de Mexicali, donde se discutió cómo las particularidades del crecimiento urbano han incidido en la expansión de la mancha urbana y el consecuente incremento en tiempos y distancias de traslado. Los enfoques discutidos pueden ser clave para rediseñar políticas de movilidad y gestión del suelo en estos contextos.

Este trabajo tiene limitaciones que deben ser reconocidas. En primer lugar, la revisión de literatura se limitó al periodo 2010-2021, y a documentos en inglés, lo que pudo dejar fuera aportaciones relevantes de literatura en otros idiomas o contextos más recientes. En segundo lugar, aunque se propone una batería amplia de herramientas, no se realizó una validación empírica de estas en un caso de estudio concreto, lo cual sería deseable en trabajos posteriores.

En cuanto a líneas de investigación futura, se proponen las siguientes:

- Aplicación práctica de los enfoques propuestos en ciudades latinoamericanas a través de estudios de caso o simulaciones.
- Incorporación de datos generados por nuevas tecnologías (Big data, datos móviles, sensores urbanos) para enriquecer los análisis.
- Exploración de la relación entre estos enfoques y tecnologías emergentes como los vehículos autónomos, el transporte bajo demanda o las ciudades inteligentes.
- Desarrollo de modelos predictivos que permitan estimar el impacto de ciertas decisiones de planificación sobre indicadores de movilidad, accesibilidad y sostenibilidad.

Estas recomendaciones buscan abrir un camino para que esta tesis sirva como base para futuras investigaciones que validen, refinan y amplíen sus aportes.

Este trabajo representa una contribución relevante al campo de la ingeniería del transporte y la planificación urbana al articular una propuesta metodológica que integra conocimiento teórico, herramientas técnicas y una visión aplicada. Su principal fortaleza radica en reconocer la complejidad inherente a los sistemas urbanos y en proponer instrumentos que permitan abordarla de manera multidimensional. Esta investigación no se limita a describir problemas, sino que plantea soluciones que refuerzan la capacidad de los actores urbanos para diseñar ciudades más habitables, resilientes y equitativas.

Anexos

Anexo 1.

#pdf	título	Autor	temas principales	paginas	Revista	año	palabras claves
1	Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales.	Hugo Romero	*crecimiento urbano, cambios en los usos de suelos	1-19	configuración metropolitana		
2	Transporte urbano y movilidad, hacia una dinámica urbana sustentable y competitiva	jose de jesus jimenez	*Las dimensiones de la dinámica urbana, sustentabilidad urbana, Movilidad y transporte urbano en la posmodernidad	39-53	articulo, redalyc. Quivera		
3	Movilidad urbana sostenible	Daniel Rodríguez González	*movilidad y urbanismo, Claves para hacer un buen PMUS	1-13	Revista de obras públicas		
4	Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI	Carmen Lizárraga Mollinero	*El modelo de movilidad global y urbana, a movilidad urbana sostenible, Uso del suelo	283-321	Economía, Sociedad y Territorio, vol. VI		
5	Urban Land Use and Transportation	Dr. Jean-Paul Rodrigue	El uso de la tierra - Sistema de transporte, Uso de suelo urbano, Transporte y Dinámica urbana Modelo	1-23	the geography of transport systems , 5th edition	2017	
6	The impact of residential growth patterns on vehicle travel and pollutant emissions	Deb Niemeier, Song Bai, Susan Handy	*Modelización del uso de la tierra, Modelado de viajes, Modelización de emisiones	65-80	the jurnal of transport and land use, vol 4		
7	What is mixed use? Presenting an interaction method for measuring land use mix	Kevin Manaugh , Tyler Kreider	*Modelización del uso de la tierra, Modelado de viajes, Modelización de emisiones	1-14	the jurnal of transport and land use, vol 6		
8	Linking urban transport and land use in developing countries	Robert Cervero	*Los desafíos del rápido crecimiento en el desarrollo ciudades, Densidades de carreteras escasas y jerarquías de carreteras deficientes	7-24	the jurnal of transport and land use, vol 6		

9	Land-use transport models for climate change mitigation and adaptation planning	Alistair Ford, Phil Blythe, Richard Dawson , Stuart Barr	*Acuerdo de paris, mitigación y adaptación al cambio climático, adaptacion urbana, uso de la tierra	83-101	the jurnal of transport and land use, vol 11	2018	Modelización urbana, transporte, cambio climático, transiciones, cambio radical, evaluación integrada, co-beneficios
10	spatio-temporal analysis for monitoring urban grow- a case of indore city	J. Antony Vinoth Kumar, S.K. Pathan, R.J. Bhanderi	*Densidad de carreteras, analisis espacio-tiempo, *dinamica urbana	11-20	Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 35, No. 1	2007	analisis espacio-tiempo, entropologia de Shannon
11	Review and analysis of urban mobility strategies in Mexico	Alejandro Leo, David Morillón, Rodolfo Silva	*Estrategias de movilidad urbana, movilidad en ciudades de mexico, variables	299-305	Case studies on transport policy 5	2017	Movilidad urbana, Estrategia de movilidad, Variable de movilidad
12	Urban Movility indexes: a brief review of the literature	P. B. Costa, G.C. Morais Neto, A.I. Bertolde	*movilidad urbana sostenible, indices de movilidad urbana, indicadores, propositos de los indices	3645-3655	Worl conference on transport research	2016	Movilidad Urbana Sostenible; Índices de movilidad urbana y transporte urbano
13	An urban mobility index for evaluating and reducing private motorized trips	Mehdi Moeinaddini, Zohreh Asadi-Shekari, Muhammad Zaly Shah	indicadores de movilidad, variables, firmula para indice de movilidad urbana	30-40	Measurement	2014	Transporte urbano sostenible, Índice de movilidad urbana, Evaluación del transporte urbano, Indicadores de movilidad urbana, Viajes privados motorizados
14	Los Sistemas Peatonales Como Sistemas De Transporte	Alvarez L., Martins N., Mendez G. A.	sistemas peatonales, sistemas de transporte		revista cientifica	2014	Peatones, Sistemas peatonales, Sistemas de transporte, Representación.
15	La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales	Ian Thomson, Alberto Bull	*congestion vehicular, causas de la congestion, problemas en el sistema de transporte	109-121	Revista de la cepal 76	2002	congestion vehicular, causas del automovil
16	ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE	Víctor M. Islas Rivera Martha Lelis Zaragoza	*clasificacion de sistemas de transporte, componente de los sistemas de transporte, costo beneficio	19-55	imt- sct	2007	*costo- beneficio, sistema de transporte

17	CIUDADES EN MOVIMIENTO BANCO MUNDIAL TWU-44 REVISIÓN DE LA ESTRATEGIA DE TRANSPORTE URBANO DEL BANCO MUNDIAL RADUCCIÓ NOVIEMBRE 2002		*El Transporte , Estrategias de Desarrollo	5-28,	banco mundial	2002	
18	Impact of land use on urban mobility patterns, emissions and air quality in a Portuguese medium sized city	Jorge M. Bandeira , Margarida C. Coelho , Maria Elisa Sá , Richard Tavares , Carlos Borrego	*Modelamos secuencialmente el uso del suelo y el transporte, las emisiones del tráfico y la calidad del aire, metodología, estructura de investigacion, casos de estudio	1154-1163	science of the total environment	2011	Emisiones, Calidad del aire, Modelado integrado
19	Desarrollo orientado al transporte.: Regenerar las ciudades mexicanas para mejorar la movilidad urbana	Salvador Medina Ramírez y Jimena VeloZ Rosas	*La urbanización acelerada de México:expansión y falta de planeación *Hacia un Desarrollo urbano basado en la movilidad sustentable: DOT.	44-53	ITDP	2013	*Desarrollo urbano *Movilidad sostenible *DOT
20	Planes integrales de movilidad: Lineamientos para una movilidad urbana sustentable	Salvador Medina Ramírez y Jimena VeloZ Rosas, Alfonso Iracheta Cenecorta y Jimena Iracheta Carroll	*Planeación de la movilidad y el desarrollo urbano sustentable. *Lineamientos para elaborar un PIM	28-33	ITDP, centro eure	2012	*movilidad urbana, *oferta- demanda. * sistema de movilidad
21	Diagnóstico de la información disponible y necesaria para fines de planeación del sistema de transporte	Eric Moreno Quintero	*Planeación del transporte , situación actual y bases para el sistema de transporte	3-15		2007	
22	Transformando la movilidad urbana en México: Hacia ciudades accesibles con menor uso del automóvil		*Situación nacional del uso del automóvil, * Elementos necesarios para una política nacional de reducción de kilómetros recorridos por automóvil	28-33, 49- 62	ITDP	2012	
23	Análisis de la sustentabilidad de la movilidad urbana en Mexicali, Baja California, Mexico	Cesar A. Velandia	*modelo de movilidad sustentable. *problemas en la movilidad. *indicadores de movilidad urbana			2011	*Urban mobility, Sustainable mobility, Accessibility

24	Why we fail to reduce urban road traffic volumes: Does it matter how planners frame the problem?	Aud Tennøy	*sistemas de transporte , *planificadores, *problemas de transporte	216-223	Transport policy	2010	Tráfico vial urbano, Emisiones de gases de efecto invernadero, Planificación del uso del suelo y del transporte, Planificadores
25	Sustainable urban mobility solutions for Asia, Latin America and the Mediterranean region	Oliver Lah, Saul Alveano, Magdala Arioli,, Lefteris Sdoukopoulos, Venn Chsteron	*soluciones de movilidad urbana sostenible,	99-117)	In Sustainable Urban Mobility Pathways	2019	*movilidad sostenible, política, Asia, África, América Latina
26	Environmental Impacts of Promoting New Public Transport Systems in Urban Mobility: A Case Study	Abel Ortego , Alicia Valero , Alejandro Abadías	*evaluar el impacto ambiental de la línea de tranvía, ciudad Zaragoza, *evaluacion de inpacto del trafíc	377-395	journal of sustainable	2017	*Movilidad urbana, Planes de movilidad urbana sostenible, Transporte público, Tranvía, Eficiencia energética.
27	How planners' use and non-use of expert knowledge affect the goal achievement potential of plans: Experiences from strategic land-use and transport planning processes in three Scandinavian cities	Aud Tennøy, *, Lisa Hansson Enza Lissandrelo , Petter Næss d	*. Diseño de la investigación, educir el tráfico planificación de uso y transporte, Efectos de los desarrollos del uso del suelo en los volúmenes de tráfico	1-32	progress in planning	2016	*Profesionales de la planificación Conocimiento experto Potencial de logro de metas Planificación del uso del suelo y del transporte Movilidad sostenible
28	The influence of the European CiViTAS ELAN project on development of a better and sustainable public transport in the City of Zagreb	*D. Baric, L. Novacko & H. Pilko	* Proyecto CiViTAS ELAN en Zagreb, nivel del proyecto, medidas de enfoque	1-10	public mobility systems	2014	
29	The way to sustainable mobility. A comparative analysis of sustainable mobility plans in Spain	Miguel Ángel Mozos-Blancoa , Elisa Pozo-Menéndez , Rosa Arce-Ruiz	Criterios utilizados en la evaluación de planes de movilida, intermodalidad, seguridad vial.	45-54	Transport Policy	2018	*Movilidad urbana y metropolitana Evaluación, SUMIDERO, Movilidad sostenible Indicadores
30	A MODEL OF MANAGING THE URBAN MOBILITY PLANNING PROCESS	Mustafa Mehanović Nermin Palić	ANÁLISIS DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE ELEMENTOS, infraestructura, impacto medioambiental	300-320	OVERVIEW SCIENTIFIC PAPER	2018	* modelo, matriz de crecimiento, movilidad urbana sostenible, proceso de planificación

31	Solutions to Improve Person Transport System in the Pitesti City by Analyzing Public Transport vs. Private Transport	Mihaela, I., Alexandru, B., Viorel, N., & Ionel, V	influencia para la movilidad de la gente	1-10	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	2017	
32	Smart Urban mobility: Road less travelled	Tarun Mittal, Charan Singh	*Movilidad urbana inteligente: Carretera menos transitada, Movilidad urbana en India, Motorización y crecimiento económico en países en desarrollo	1-48		2015	*asequible, accesible, confiable, aceptable, movilidad, flexible, alta capacidad de carga, atractivo sistema de transporte público
33	European Union instruments and strategies for sustainable urban mobility: Exploiting PUMS and ITS to develop an efficient car sharing proposal	Claudio Zavaglia	*car sharing, PUMS de planes de movilidad urbana sostenible, sistemas de transporte inteligentes en áreas urbanas (ITS)	542-548	2do Simposio Internacional "NUEVAS PERSPECTIVAS METROPOLITANA S"	2016	Movilidad urbana sostenible; Planificación integrada; Sistema de transporte inteligente; Auto compartido.
34	Island Megalopolises: Tunnel Systems as a Critical Alternative in Solving Transport Problems	Vladimir V. Makarov	*. Criterios de eficiencia del sistema de transporte seguridad ecológica, Estimación de la cantidad de emisiones atmosféricas nocivas	138-142	Engineering	2017	Megalópolis, Transporte, Túneles, Eficiencia, Criterios
35	Mexico City: New Collective Approaches to Fix a Broken City	Paulina Cornejo Moreno Valle	*ESPACIO PÚBLICO Y PRIVADO, CIUDAD PARA COCHES, problemas en la ciudad de Mexico	116-127	Designing Sustainable Cities	2020	
36	Impacts Analysis towards a Sustainable Urban Public Transport System	Darwin Aldas, John Reyes, Luis Morales, Pilar Pazmiño, José Núñez and Bladimir Toaza	*La solución a los problemas de transporte y selección, impacto social, ambiental y económico, alternativas	38-46		2018	* Proceso de Jerarquía Analítica, Transporte Sostenible, Modelo de Transporte, Sostenibilidad, Súper Decisiones
37	Indicators for sustainable mobility in the cities	S. Amoroso, L. Caruso & F. Castelluccio	Indicadores de desarrollo sostenible y movilidad, El problema de la sostenibilidad en la movilidad urbana, Indicadores de movilidad	253-262	WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 148,	2011	*Indicadores de desarrollo sostenible y movilidad, sostenibilidad urbana, Indicadores de movilidad

38	“Smart” or “sustainably smart” urban road networks? The most important commercial street in Thessaloniki as a case study	K. Anastasiadou , S. Vougiaris	*Tsimiski Str., En Salónica, como estudio de caso, Implementación de ITS en Thessaloniki	18-25	Transport Policy	2019	*Inteligencia sustentable, Sistemas de transporte inteligentes, Ciudad inteligente, Movilidad urbana sostenible, Redes viales urbanas inteligentes, Planificación del transporte
39	Modal Integration for Improving Urban Mobility in Dhaka	sudib Barua, Dhrubo Alam	*SISTEMA DE TRANSPORTE INTEGRADO, Beneficios de la integración modal, transporte motorizado	1-15		2013	*transporte publico, integracion modal, transporte privado, publico.
40	An overview of the transportation issues in Kota Kinabalu, Sabah	Besar, S. N. A., Ladin, M. A., Harith, N. S. H., Bolong, N., Saad, I., & Taha, N.	descripción general de los problemas de transporte en Kota Kinabalu, Sabah, Problemas de transporte en Kota Kinabalu	1-10	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	2020	*sistema de transporte, transporte publico, transporte de calidad
41	A comparative evaluation of mobility conditions in selected cities of the five Brazilian regions	Antônio Nelson Rodrigues da Silva a.n, Mario Angelo Nunes de Azevedo y colaboradores	* Movilidad urbana sostenible, indicadores, Índice de movilidad urbana sostenible, metodos, resultados	147-156	Transport Policy	2014	
42	An Integrated Approach to Restructure the Existing City with New Transport System Using TOD Principles. A case of Kochi	Ar. Divya Susanna Ebin	estrategia de diseño para desarrollar un Diseño de desarrollo orientado al tránsito que reconoce y crea la importancia de utilizar el metro	191-197	6th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2018)	2018	
43	A Review of the Transformation of Road Transport Systems: Are We Ready for the Next Step in Artificially Intelligent Sustainable Transport?	Umair Hasan , *, Andrew Whyte and Hamad Al Jassmi	Clasificación de modos de transporte urbano autónomo Dimensiones de los sistemas de transporte artificialmente inteligentes, Soluciones de movilidad bajo demanda	1-20		2019	autos autónomos; movilidad urbana; transporte rápido en autobús; gas de efecto invernadero (GEI) emisiones; conservación de energía
44	Travel Demand Management – Possibilities of influencing travel behaviour	Mattias Juhász	Análisis de buenas prácticas en demanda de transporte administración	45-50	periodica polytechnica Transportation Engineering	2012	gestión de la demanda de viajes · comportamiento de viaje · sostenible sistemas de transporte · planificación de la movilidad urbana