

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1677>

Valoración de la accesibilidad peatonal en la línea 3 del mexibús del Estado de México

Assessment of pedestrian accessibility on line 3 of mexibús in the state of Mexico

Israel Gutiérrez Alonso

israelgalonso@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6364-4589>

Universidad Autónoma del Estado de México

Estado de México – México

Artículo recibido: 25 de enero de 2024. Aceptado para publicación: 09 de febrero de 2024.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El objetivo de la investigación es evaluar la accesibilidad peatonal como medio de acceso al transporte público (BRT) con base en el entorno urbano construido, a partir de las variables de accesibilidad, seguridad, confort y atracción de desplazamientos en las estaciones y terminales de la Línea 3 del Mexibús (Chimalhuacán–Nezahualcóyotl–Pantitlán), en el Estado de México, México. El análisis se realizó a las calles circundantes de las 28 estaciones y dos terminales del Corredor BRT en un radio de 100 m. En el estudio, de tipo correlacional se establecieron umbrales cuantitativos de análisis espacial para determinar cinco niveles de calidad peatonal, y de esta manera clasificar los entornos urbanos construidos de acuerdo con el nivel de accesibilidad peatonal que permiten. Los resultados indican una mínima planeación peatonal de los entornos urbanos construidos próximos al transporte público –Línea 3 del Mexibús–, lo que genera condiciones de inseguridad en los desplazamientos, accidentes viales, abandono del espacio público y el deterioro de la imagen urbana. Se identificó la necesidad de contemplar en el diseño de este tipo de transporte público masivo las zonas de aproximación peatonal, toda vez que es estratégica su consideración para el éxito del funcionamiento.

Palabras clave: accesibilidad peatonal, entorno urbano construido, análisis espacial

Abstract

The research objective is to evaluate pedestrian accessibility to access public transport (BRT) based on the built urban environment. The variables considered were accessibility, safety, comfort, and the displacement attraction to stations and terminals from Mexibus Linea 3 Chimalhuacán–Nezahualcóyotl–Pantitlán, in the State of Mexico, Mexico. The analysis was on the surrounding streets of 28 stations and two central stations of the Corredor BRT in a buffer of 100 meters. In the correlational study, quantitative spatial analysis, five levels of pedestrian quality were defined to evaluate the built urban environment according to the level of pedestrian accessibility. The results indicate minimal pedestrian planning of built urban environments close to public transport –Mexibus’ Line 3–, which generates insecurity conditions of travel, vials accidents, public space abandonment, and urban image deterioration. This research identifies a need to consider the pedestrian approach zones in the design of this type of mass public transport since its consideration is strategic for the success of its operation.

Keywords: pedestrian accessibility; built urban environment; spatial analysis

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons 

Cómo citar: Gutiérrez Alonso, I. (2024). Valoración de la accesibilidad peatonal en la línea 3 del Mexibús del Estado de México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (1), 1348 – 1364. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i1.1677>

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la movilidad urbana requiere desplazarse de manera eficiente en términos de tiempo y distancia, y así mismo que se proteja el medioambiente (Herce, 2009). En este sentido, la movilidad peatonal es un medio para acceder a los diferentes tipos de transporte público urbano, sin la generación de externalidades negativas.

La administración pública en México ha priorizado obras y proyectos de infraestructura vial enfocada en el vehículo particular y en un sistema de transporte público desordenado, centralizado y congestionado (Quiroz, 2015) para impulsar el desarrollo local, regional y nacional, pero esto ha llevado a ciudades dispersas, desordenadas y desconectadas. La fragmentación que presentan las ciudades mexicanas implica la disminución generalizada de la escala local o de barrio, por lo que, los residentes se ven obligados a utilizar diversos medios de transporte. Como efecto de ello se generan mayores tiempos de traslado y altos costos para las familias, con impacto negativo en el ambiente debido al alto consumo de energía y contaminación (Gutiérrez, 2019). A su vez, ha habido una reducción en la accesibilidad peatonal al transporte, lo que ha generado la pérdida de intercambios sociales y económicos a nivel local (Esquivel, Hernández, & Garnica, 2013).

En lo concerniente a los desplazamientos, el peatón debe ocupar un lugar destacado ya que representa el modo de transporte básico y por lo tanto, es el que mantiene una correspondencia intensa con las actividades urbanas, de esta manera conforma los entornos peatonales.

El presente estudio busca visibilizar las condiciones del entorno urbano que la población vive al momento de acceder peatonalmente a un medio de transporte público masivo y de esta manera evaluar los proyectos actuales de infraestructura de movilidad en México y en los que el entorno construido circundante al transporte público es poco atendido y en cambio es visualizado como parte de la estructura urbana ajena a los proyectos implementados.

La línea 3 del Mexibús inició operaciones el 30 de abril de 2013, tiene 18.3 kilómetros, de los cuales 7.2 km están localizados en el municipio de Chimalhuacán, 8.5 km en el municipio de Nezahualcóyotl y 2.6 km en la Ciudad de México (Gobierno del Estado de México, 2011). Estos municipios de la zona oriente del Estado de México tienen en su totalidad una población de 1,782,401 habitantes. De acuerdo con la Encuesta Origen Destino de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (2017) desde el municipio de Chimalhuacán a Ciudad de México se registran 142,453 viajes diarios, mientras que de Nezahualcóyotl 409,864 desplazamientos por lo que se considera que buena parte de esta movilidad se realiza a través del sistema Mexibús.

Es así que el objetivo de la investigación es evaluar la accesibilidad peatonal como medio de aproximación al transporte público, con base en el entorno urbano construido, a partir de las variables de accesibilidad, seguridad, confort y atracción de desplazamientos en las estaciones y terminales de la Línea 3 del Mexibús Chimalhuacán–Nezahualcóyotl–Pantitlán. Para ello se tomará como directriz, lo que Alfonso (2005) basándose en la teoría de motivación (Maslow, 1954), agrupa en cuatro apartados: accesibilidad, seguridad, confort y atractivo; estos factores inciden directamente en la toma de decisiones para definir rutas de aproximación a estaciones de transporte público. Estos factores son medibles y cuantificables para obtener datos valorables y definitorios de la calidad de los entornos peatonales en estaciones de transporte público.

Dicho lo anterior, los resultados de la investigación pueden servir de referencia para la toma de decisiones, en cuanto al otorgamiento de facilidades para los desplazamientos peatonales en futuros proyectos de transporte público masivo o en su caso, la corrección en su implementación para un adecuado funcionamiento enfocado a los transeúntes.

La investigación busca contribuir con los temas de la Agenda 2030, misma que incluye los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS. En específico con la Meta 11.2 “[...] proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público [...]” (Naciones Unidas, 2018, p. 51). Es crucial que todas las áreas urbanas municipales promuevan un equilibrio en los modos de transporte para garantizar el derecho a la movilidad de los habitantes y facilitar el acceso a los servicios y bienes de la ciudad.

El entorno peatonal es relevante en los desplazamientos ya que la existencia o carencia de ciertos elementos en el espacio público –calles–, así como las características del entorno edificado pueden disuadir o propiciar la movilidad. La concepción del término entorno peatonal está definido de acuerdo con una preponderancia de desplazamientos a pie, con base en los elementos que la facilitan (Zacharias, 2001). La movilidad peatonal cuenta con diversas perspectivas de análisis, en este sentido se encuentra el enfoque peatón-transporte; peatón-ambiente y mixto.

Enfoque peatón-transporte, la caminata es vista como un medio de transporte que enlaza el origen con el destino, considerando las características físicas del viaje, del entorno, la distancia y la clasificación del uso de suelo (Valenzuela & Talavera, 2015). Enfoque peatón-ambiente, lo importante es la experiencia del viaje y las expectativas en materia de movilidad (Pérez, 2014). Las características cuantitativas y cualitativas del ambiente urbano son consideradas, entre ellas están cantidad de árboles, seguridad, limpieza, cantidad de desplazamientos, entre otras. Enfoque mixto, es la combinación de los dos enfoques anteriores para poder determinar y analizar los desplazamientos peatonales desde un enfoque transversal, con el objetivo de crear metodologías mixtas de análisis (Valenzuela & Talavera, 2015), con la consideración de los elementos más relevantes al momento de solucionar la problemática.

Los entornos de movilidad se utilizan como unidad espacial operativa para la evaluación y planificación de la movilidad. Se analizan los elementos de la estructura urbana y los patrones de desplazamiento para obtener información sobre aspectos urbanos, ambientales, socioeconómicos y modales (Soria, 2011). Se centra el análisis en el uso de unidades espaciales que conectan componentes de la estructura urbana y patrones de desplazamiento (Talavera, Soria, & Valenzuela, 2014), que son la base para el análisis de los entornos construidos.

Para determinar los entornos de movilidad en las estaciones BRT, es necesario el análisis de la relación de las características urbanas a microescala y el uso de la calle. Las características incluyen el ancho de la banqueta (acera), el tráfico vehicular, el tamaño de las cuadras, señalización del cruce de calle –semáforos y pasos peatonales–, entre otros (Rodríguez, Brisson, & Estupiñán, 2009). El objetivo es comprender cómo se relacionan los desplazamientos peatonales con el sistema BRT. Existen estudios que analizan los viajes peatonales, como el realizado por medio de encuestas a los usuarios de cinco estaciones de transporte ferroviario en California y Oregón (Olszewski & Wibowo, 2005), se encontró que las personas están dispuestas a caminar hasta media milla para llegar a la estación por la ruta más corta, otro factor es el trayecto más seguro; pero en cambio los factores estéticos rara vez son tomados en cuenta.

El entorno peatonal se refiere a la evaluación de la interacción entre el peatón y el entorno, lo que refleja el grado de transitabilidad del medio construido (Forsyth, Michael, Lee, & Schmitz, 2009). El concepto se toma, como el nivel de adaptación del medio a los desplazamientos peatonales y esto se puede medir a través de factores cuantitativos y cualitativos (Adkins, Dill, Luhr, & Neal, 2012). La valoración de los entornos peatonales se compone de diversos factores que se consideran para decidir una ruta de desplazamiento, estos pueden ser tan objetivos como el ancho de banqueta, la cantidad de árboles o

el tipo de actividad comercial y tan subjetivos como la percepción de seguridad o la calidad estética del entorno (Gehl, 1971).

Los condicionantes de los entornos peatonales, son los factores que se utilizan para determinar qué condiciones fomentan o desalientan la movilidad peatonal. La seguridad, la comodidad, la continuidad, el confort y la atraktividad tienden a tener una connotación subjetiva (Fruin, 1971). Las banquetas, la topografía, el tamaño de calles, establecimientos comerciales y de servicios, ambiente confortable y expresiones culturales, son valores cuantificables que implica objetividad en los resultados (Bradshaw, 1993). Accesibilidad, confort, seguridad y atractivo a pesar de ser conceptos cualitativos se pueden descomponer en factores contables (Alfonzo, 2005). Cantidad de árboles, banquetas, pendiente, seguridad, comercio, uso de suelo y conectividad (Fontán, 2012) estas condicionantes son objetivas y medibles para su valoración.

La accesibilidad se compone de diversos factores, incluyendo la distancia como factor clásico para la planificación del transporte público, hasta elementos específicos como la infraestructura peatonal – banqueta– y sus características –pendiente, ancho, materiales y su mantenimiento–. Otro factor es la velocidad de desplazamiento, que depende de los elementos físicos de las banquetas y las características del peatón –edad y sexo–. En muestras de población con una proporción equivalente al 20% de peatones mayores de 65 años la velocidad de desplazamiento ronda los 4.3 km/h; y en cambio cuando la proporción es superior al 20% de adultos mayores, la velocidad se reduce a 3.6 km/h, en el caso de personas mayores de 60 años en el estudio hecho por Rojas, Chávez-Soto y Garrocho (2023) para el municipio de Chimalhuacán se consideró una velocidad de 1.05 m/s equivalente a 3.78 km/h.

La seguridad en los desplazamientos peatonales está relacionada directamente con el tráfico vehicular (Giles & Donovan, 2003) y la velocidad permisible de vehículos motorizados (Krambeck, 2006). Con el objetivo de minimizar la fricción entre los tipos de desplazamientos se han contemplado diversas acciones en la planificación urbana, entre ellas están la reducción de la velocidad vehicular, creación de barreras, el número de carriles vehiculares, la existencia o no de doble sentido de circulación, ancho de la calle, entre otros (Bezerra & Taipa, 2004). Estas características potencializan o disminuyen el uso de la calle y la diversidad de sus funciones con repercusión en la calidad del entorno peatonal.

El confort en la movilidad puede ser atendido desde varias ópticas. Bradshaw (1993) indica que el confort se da a partir de ajustar ciertas condicionantes del ambiente como es: viento, lluvia, asoleamiento, ruido y aire limpio. El Índice de Caminabilidad Global (Krambeck, 2006) señala que la limpieza del espacio y su atractivo –arbolado y mantenimiento– incide en la percepción de confort. Las variables climáticas (Nikolopoulou & Lykoudis, 2006) como asoleamiento, viento y ruido pueden ser contenidas y reguladas por medio del arbolado en calle (Esquivel, Hernández, & Garnica, 2013); así mismo se crea una sensación de protección del clima, conduce los desplazamientos y genera la impresión de resguardo (Gutiérrez-López, Caballero-Pérez, & Escamilla-Triana, 2019). Con respecto a los valores estéticos, la presencia de arbolado en las calles le imprime un carácter especial de belleza y tranquilidad (Jacobs, 1993). Otros condicionantes del confort es el ruido y la contaminación, estos suceden a partir de la demanda de uso de la calle, lo que repercute directamente al peatón (Bradshaw, 1993).

La atracción se refiere al grado de interés que representa ciertas zonas o calles, estas comúnmente están definidas por la cantidad y diversidad de establecimientos comerciales y la oferta cultural (Yin, 2013). Los peatones tienen la posibilidad de interactuar directa e intensamente con el comercio local y las actividades culturales (Trunfio, Fancello, Cecchini, Congiu, & Blečić, 2015). La actividad comercial circundante al transporte público ayuda en la conformación de rutas de desplazamiento, estos lugares se pueden conformar como sitios de interacción de la vida pública de los ciudadanos (Gehl, 1971). Con la afluencia de peatones que acuden a las estaciones de transporte público, el diseño del entorno

construido y la actividad comercial, consolidan las fuerzas de aglomeración comercial donde las condiciones y externalidades son positivas para su desarrollo (Flores, 1957). Las calles comerciales con diversificación de su oferta se conforman como polos de atracción para los peatones.

METODOLOGÍA

El método de categorización de entornos peatonales tiene por objetivo medir las características físicas de un entorno determinado –área de aproximación al transporte público– con la meta de evaluar la accesibilidad peatonal. La determinación de los indicadores establece de forma clara valores propicios para el fomento de la movilidad a pie, así mismo los indicadores fueron puestos a prueba en la medición de entornos peatonales de la Línea 3 del Mexibús.

La elección de los indicadores fue a partir de aquellos capaces de cuantificar las características físicas del diseño urbano de los entornos de movilidad y que condicionan los desplazamientos peatonales en las vías de acceso al transporte público. Los indicadores fueron planteados con base en los criterios de accesibilidad, seguridad, confort y atractivo. Se consideró que los indicadores deberán de ser representativos y con un método factible de medición (Litman, 2012). La representatividad va dirigida a evitar el sesgo en los resultados y reducir el número de posibles indicadores sin que el análisis del diseño urbano pierda validez (Schuschny & Soto, 2009). Así mismo, la facilidad de ejecución con respecto a los datos que deberán de tomarse en cuenta y la obtención de estos, ya sea por informes gubernamentales, metadatos o análisis de campo.

La accesibilidad es evaluada a partir del indicador de sección peatonal de la banqueta. Su dimensión determina la permisibilidad de los flujos y puede evitar accidentes al bajar de ella por la insuficiencia de espacio. Se reconoce que existen otras características como el grado de mantenimiento, obstáculos y continuidad, pero para fines de la presente investigación y atendiendo el objetivo de representatividad, no serán revisadas.

Para la seguridad se establecieron dos indicadores, el primero está enfocado en la fricción modal. Está determinada por la velocidad máxima permisible de circulación motorizada y el número de carriles. A mayor velocidad y cantidad de carriles, mayor la sensación de inseguridad por la posibilidad de algún accidente vial (Landis, Vattikuti, Ottenberg, Mcleod, & Guttenplan, 2001). El segundo indicador es el estacionamiento en calle y el sentido de circulación, la existencia de cajones de estacionamiento en calle conforma una barrera que separa al peatón del flujo vehicular lo que genera una sensación de protección. La posibilidad de que el flujo vehicular sea en un sentido o en dos, ocasiones que el peatón tenga que aumentar su atención al momento del cruce de calle.

Para el confort se determinó que solo los condicionantes más predominantes serán analizados, estos son: arbolado, ruido (Fruin, 1971) y asoleamiento (Bradshaw, 1993). Su independencia obedece a factores tan diversos como el clima, la reglamentación vial y hasta el nivel económico de la ciudad. El indicador de arbolado está determinado por la densidad arbórea por hectárea y su efecto en el resguardo de los peatones, la creación de sombra, regulación de la temperatura, humedad y embellecimiento de las calles con la renaturalización urbana (Jacobs, 1993). El ruido –decibeles dBA– es resultado principalmente de los altos niveles de circulación de vehículos motorizados (Bradshaw, 1993). El indicador de asoleamiento es la relación entre el ancho de la calle y la altura de las edificaciones –niveles económicos–; esto tiene implicaciones con la sensación de resguardo y protección, factores que denotan percepciones psicológicas y físicas en los peatones (Jacobs, 1993).

El apartado de atractivo o atrayente, se refiere a la densidad de comercios existentes en los entornos peatonales que generan la complejidad comercial. En ella se pueden ubicar negocios que ofrecen servicios –restaurantes, mensajería, telefonía, etc.– o productos –ropa, alimentos, medicamentos,

etc. – Estos sitios funcionan como destinos o como en la presente investigación, se toma como una condicionante para elegir la ruta de desplazamiento para acceder a las estaciones de BRT (Yin, 2013).

A continuación, se describen los elementos específicos que se utilizaron para medir cada uno de los indicadores de la Tabla 1. El indicador de Sección Peatonal se refiere a la amplitud de la banqueta peatonal medida en metros. La Fricción Modal se basa en los límites de velocidad permitidos para los vehículos motorizados y el número de carriles de circulación. El indicador de Estacionamiento en Calle y Sentido de Circulación revisa la existencia del estacionamiento en calle en uno o ambos lados de esta y si la calle tiene un sentido de circulación o dos. La densidad de Arbolado se mide en función del número de árboles por hectárea. Para el indicador de Ruido, la unidad de medida son los decibelios dB que es una unidad de presión acústica por unidad de área; el sufijo –A– de dBA es porque se utilizó un filtro de ponderación para el oído humano que solo capta frecuencias entre 20 y 20,000 Hz (Llosas, Pardo, Mulet, & Silva, 2009). El indicador de Asoleamiento es la relación entre el ancho de la calle y la altura de las edificaciones. Por último, en el indicador de Densidad Comercial se mide el número de comercios por hectárea sin distinguir entre aquellos que ofrecen productos o servicios.

Tabla 1

Características específicas de los indicadores seleccionados

Apartado	Indicador	Elemento de calculo
Accesibilidad	Sección peatonal	Longitud de la sección (m)
Seguridad	Fricción modal	Velocidad máxima (km/h) y número de carriles
	Estacionamiento en calle y sentido de circulación	Cajones de estacionamiento en la calle y sentido de circulación.
Confort	Densidad de arbolado	Número de árboles por hectárea (Arb/ha)
	Ruido. (dBA)	Número de decibeles (dBA)
	Asoleamiento	Relación entre anchura de calle y altura de edificaciones (Anch/Alt)
Atractivo	Densidad comercial	Número de comercios por hectárea (Com/ha)

Fuente: Elaboración propia con base en Manchón et al. (1995); Prinz (1986); Sanz (2008); Sanz (2008); Gutiérrez (2019); Manchón et al. (1995); EEA (2010); Alitoudert y Mayer (2006); Bentley (1999); Jacobs (1993); Pozueta et al. (2009) y Talavera et al (2014).

La sistematización de las mediciones tiene por objetivo establecer umbrales clasificables para catalogar los entornos de movilidad en las estaciones BRT con base en el análisis de campo. Los siete indicadores descritos conformaron cinco niveles de calidad peatonal, estos niveles están determinados por rangos que fueron establecidos a partir de referencias especializadas (Talavera-Garcia, Soria-Lara, & Valenzuela-Montes, 2014). Los niveles de calidad peatonal fueron determinados de esa manera, con el objetivo de agrupar en rangos los elementos medibles para facilitar su interpretación y clasificación.

Tabla 2

Sistematización de los umbrales de calidad peatonal.

Nivel de calidad peatonal	Sección Peatonal (m) (1)	Fricción modal (km/h y carriles) (2)	Estac en calle y sentido de circulación (cajones y sentido) (3)	Densidad de arbolado (arb/ha) (4)	Ruido (dBA) (5)	Asoleamiento (ancho/altura) (6)	Complejidad comercial (comer/ha) (7)
I	>3	Peatonal	*2 y 1	>100	< 60	1:2 – 1:3	≥64
II	1.8-3	20-30 km/h	1 y 1	25-100	60-65	3:2 – 1:2	40-64
III	1.2-1.8	50 km/h y 1	0 y 1	10-25	65-70	3:2 – 3:1	25-40
IV	0.9-1.2	50 km/h y 2	1 - 2	6-10	70-75	>3:1	9-25
V	<0.9	50 km/h ≥ 3	0 – 2	<6	>75	>4:1	<9

Nota: * Este parámetro es medido en las calles periféricas a la estación de transporte público BRT.

Los valores presentados corresponden a la interpretación de la información obtenida en las siguientes referencias:

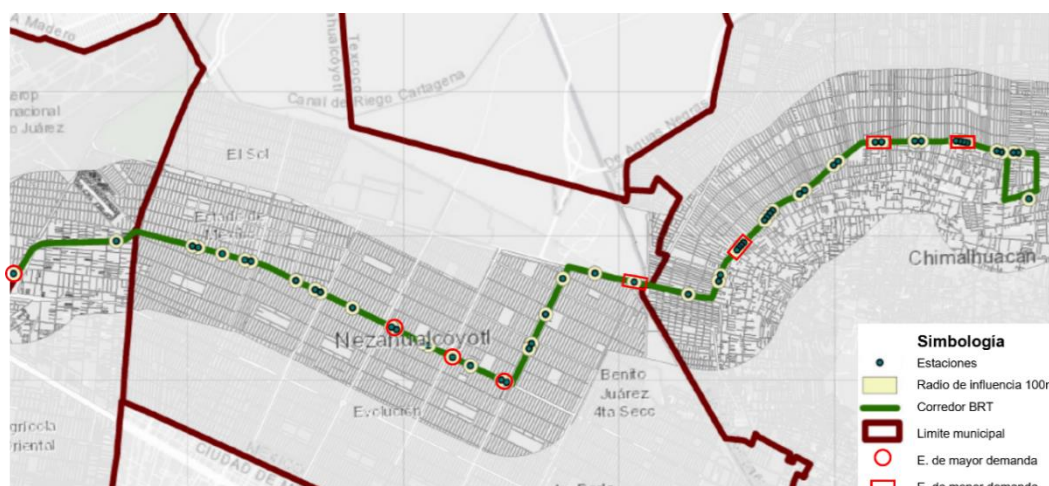
1. Manchón et al. (1995); Prinz (1986); Sanz (2008).
2. Sanz (2008).
3. Gutiérrez (2019).
4. Manchón et al. (1995).
5. EEA (2010).
6. Alitoudert y Mayer (2006); Bentley (1999); Jacobs (1993); Pozueta et al. (2009).
7. Talavera et al. (2014).

Fuente: Elaboración propia a partir de las referencias citadas.

El caso de estudio fue la Línea 3 del Mexibús Chimalhuacán–Nezahualcóyotl–Pantitlán, localizada al oriente de la Zona Metropolitana del Valle de México ZMVM. La Línea tiene una longitud aproximada de 14.75 km, con un total de 28 estaciones y dos terminales, inicia en la Terminal Multimodal de Pantitlán –Ciudad de México–, pasa por el municipio de Nezahualcóyotl y culmina en la Terminal Chimalhuacán en el municipio de Chimalhuacán –ver Figura 1.

Figura 1

Trazo de la Línea 3 del Mexibús Chimalhuacán – Nezahualcóyotl – Pantitlán



Fuente: Elaboración propia, con base en el Gobierno del Estado de México 2011.

El proceso de crecimiento acelerado del oriente de la ZMVM ha generado diferentes problemáticas tanto en cuestiones de planificación territorial, crecimiento económico, contaminación, así como en la planeación del transporte público. Entre las principales problemática que presenta la zona de estudios está, el transporte público inseguro e ineficiente debido a la sobre oferta de vehículos de transporte – combis, microbuses y autobuses – y su reducida capacidad, desorden y congestionamiento vial, variabilidad en el tiempo de traslado, externalidades negativas –contaminación por ruido y polución– y accidentes viales por la falta de mantenimiento de las unidades, carencia de capacitación del chofer y el no respeto de los límites de velocidad permitidos (Gobierno del Estado de México, 2011).

Los gobiernos de la Ciudad de México y del Estado de México desarrollaron la Línea 3 del Mexibús con los siguientes objetivos: ofrecer un servicio de transporte público masivo, seguro, competitivo y eficiente, con una capacidad de atención de 265,000 pasajeros/día, reducir los tiempos de traslado, estructurar un sistema integral de transporte público que uniera a la Ciudad de México con el oriente del Estado de México, reducir el congestionamiento vial y aminorar la contaminación ambiental (Gobierno del Estado de México, 2011). Se implementó la Línea 3 con un enfoque netamente de transporte, con la idea de captar una mayor demanda de pasajeros.

La zona de análisis se estableció a microescala en un radio de 100 m –con base en la investigación de campo– a partir de las estaciones y terminales con el objetivo de analizar la zona en la cual los usuarios llegan a las estaciones, toda vez que es el espacio en el cual descienden de algún transporte o toman algún otro al salir del Mexibús, es la distancia promedio en la cual los comercios establecidos se localizan y dan servicio a los usuarios (Linares, 2020). Este tipo de análisis busca ser una herramienta en la toma de decisiones y visibilizar el entorno urbano peatonal que guarda este modelo de transporte público.

RESULTADOS

Conforme al análisis de la variación horaria de la demanda de usuarios de acuerdo con el volumen de pasajeros por hora para cada sentido de la circulación se encontró, que el comportamiento de los desplazamientos es pendular, el mayor flujo de pasajeros va de oriente a poniente en la mañana – Estado de México a Ciudad de México – y regresa de poniente a oriente por la tarde (Gobierno del Estado

de México, 2011). Esta situación es debido a que la Ciudad de México es el gran centro económico, educativo y de servicios del país y, por lo tanto, funciona como un polo de atracción. Por la mañana los picos de mayor demanda son más pronunciados con un horario que va de las 6:30 h a 8:30 h, este periodo responde principalmente a los horarios de entrada laboral y académica, y en cambio por las tardes, la demanda se distribuye a lo largo de un número mayor de horas, toda vez que los horarios de salida laboral son variables, así como los educativos.

De acuerdo con los parámetros establecidos y con fines prácticos y de representatividad, se presentan sólo los análisis de ocho sitios de la Línea 3. Primeramente, las cuatro estaciones de mayor afluencia; posteriormente las cuatro estaciones de menor demanda de usuarios. Las estaciones de mayor demanda son: Terminal Pantitlán –Ciudad de México–, las estaciones Adolfo López Mateos, Sor Juana Inés de la Cruz y General Vicente Villada –municipio de Nezahualcóyotl–. Las estaciones de menor demanda son: Los Patos, Ignacio Manuel Altamirano, Canteros y Las Torres –municipio de Chimalhuacán– (Gobierno del Estado de México, 2011).

Los niveles de calidad peatonal están divididos en cinco categorías, que van del nivel I en donde el espacio construido ofrece las mejores condiciones para los desplazamientos y hasta el nivel V en el que existen pocas o nulas condiciones para acceder al transporte público.

El nivel de calidad peatonal I, está enfocado en los desplazamientos peatonales ya que garantiza las condiciones idóneas para este. En su sección peatonal cuenta con banquetas superiores a 3.0 m. La fricción modal no existe, ya que sus calles son netamente peatonales. Estacionamiento en calle y sentido de circulación, se cuenta con cajones de estacionamiento en ambos lados de la calle y solo existe un sentido de circulación. La densidad del arbolado supera los 100 árboles por hectárea, con ello se generan condiciones cómodas y protegidas de los agentes climáticos. El ruido no supera los 60 dBA lo cual es conveniente para el oído, ya que no provoca molestias auditivas. El indicador de ancho de calle y altura de las edificaciones, la altura en promedio de las construcciones es el doble o hasta el triple del ancho de la calle, esto genera una sensación de resguardo y protección. Con respecto a la complejidad comercial, es igual o mayor a 64 comercios por hectárea, esto trae consigo que exista una oferta diversa de los bienes y servicios al alcance de los usuarios.

A pesar de que este nivel es el idóneo para acceder a la Línea 3, resulta que ninguna estación y terminal presenta estas condiciones, esto denota la falta de atención para generar las mejores condiciones de acceso, confort, seguridad y atracción posible. Así mismo, muestra que el diseño se enfocó en solucionar los desplazamientos motorizados a las mayores velocidades posibles.

En el nivel de calidad peatonal II, la sección peatonal se encuentra entre 1.8 – 3.0 m, es factible su uso siempre que no exista algún obstáculo de infraestructura –postes eléctricos, semáforos, etc.– o apropiación del espacio público –comercio informal–. La fricción modal no llega a ser mortal por atropellamiento pues no supera los 30 km/h, pero si representa posibles lesiones menores (Hidalgo-Solórzano, Gómez-García, & Mojarro-Íñiguez, 2020). En el estacionamiento en calle y sentido de circulación, solo existen cajones de estacionamiento en un lado de la calle y un sentido de circulación que aún no presenta mayores inconvenientes. La densidad del arbolado es de 25 a 100 árboles por hectárea, existe reducción de sombra y de elementos que mitigan el ruido y la contaminación. El ruido está en el rango de 60-65 dBA, comienza a representar molestias auditivas sobre todo si el ruido es constante por periodos largos de tiempo. El asoleamiento aumenta, ya que el ancho de la calle supera el promedio de altura del contexto edificado, esto provoca mayor cantidad de horas de asoleamiento y menor protección. La complejidad comercial es de 40 a 64 comer/ha, se reduce la diversidad y la atracción de flujos.

Casi ninguna estación o terminal se encuentra en este nivel, las calles de aproximación no fueron adecuadas para los flujos peatonales y las estaciones se localizan básicamente sobre avenidas

principales con preponderancia de traslados motorizados. Solo la estación Los Patos –Figura 3– cuenta con el 10% de sus calles de aproximación en este nivel de calidad peatonal.

El nivel de calidad peatonal III los indicadores ya representan un conflicto serio para los peatones. Con una sección peatonal de 1.2 – 1.8 m los desplazamientos están condicionados para circular dos personas en un sentido y otra en sentido contrario (Neufert, 1995), pero si las personas llevan consigo algún otro elemento, esta posibilidad se reduce a solo dos en circulación. En la fricción modal, se permite una velocidad máxima para vehículos de hasta 50 km/h, en un atropellamiento el peatón solo tendría el 50% de posibilidades de sobrevivir (Resendiz, 2011), a esta velocidad el automovilista sólo tiene alrededor de 12.0 m para frenar (Rodríguez Á. , 2015). El estacionamiento en calle y sentido de circulación no existe ningún cajón de estacionamiento, se pierde la barrera de protección y distancia; solo existe un sentido de circulación con un límite de velocidad de 50 km/h con una alta posibilidad de accidente. La densidad de arbolado en su valor más alto es de 25 arb/ha, significa que existiría un árbol a cada 16.0 m aproximadamente en el perímetro de manzanas que midieran una hectárea. En cuanto al ruido, el rango va de 65-70 dBA, según la Organización Mundial de la Salud OMS indica que, para garantizar una buena salud y bienestar el ruido debe de ser inferior a 65 dBA (SEORL CCC, 2022), en este nivel el ruido genera a la salud. El asoleamiento aumenta y se reduce la sombra y protección a los peatones, ya que el ancho de calle llega a ser hasta tres veces mayor que la altura de las construcciones. La complejidad comercial va de 25 a 40 comer/ha, esta se reduce en poco más del 35% con respecto al anterior nivel, esto ocasiona menor diversidad y opciones de compra y, por lo tanto, trayectos menos atractivos.

Las estaciones de mayor demanda –Figura 2– que presentan condiciones del nivel III, son las estaciones Adolfo López Mateos con 45% aproximadamente de sus calles en este nivel, la estación General Vicente Villada con un 35% y la estación Sor Juana Inés de la Cruz con 30%. Las estaciones de menor demanda –Figura 3–, la estación Los Patos con 40% aproximadamente de sus calles en este nivel, la estación Ignacio Manuel Altamirano con un 35% y la estación Canteros solo un 25%. Este nivel apenas genera las condiciones necesarias para desplazamientos medianamente seguros y atractivos, con accesibilidad y confort suficiente.

En el nivel de calidad peatonal IV, los parámetros resultan ser los mínimos aceptables. En la sección peatonal el valor mínimo de la acera es de 0.90 m, apenas es posible que dos personas circulen en ella. La fricción peatonal se torna más peligrosa, aumenta a dos carriles de circulación con un límite de velocidad de 50 km/h, con ello se generan mayores posibilidades de accidentes. El estacionamiento en calle y sentido de circulación, solo se cuenta con cajones de estacionamiento de un solo lado de la calle y se tiene doble sentido de circulación, se deberá de estar pendiente en ambos sentidos de la calle, esto aumenta las posibilidades de atropellamiento sino se cuenta con la infraestructura necesaria; así mismo de un lado de la calle el peatón estará más cercano y expuesto a los vehículos. La densidad del arbolado se reduce drásticamente de 6-10 arb/ha, prácticamente en cada banqueta de las manzanas sólo se podrá encontrar uno o máximo dos árboles en toda la sección, no existe protección del sol o viento, ni contención del ruido, ni renaturalización de las calles. El ruido en este nivel se estableció de 70-75 dBA, lo que supera por mucho lo indicado por la OMS para zonas residenciales –diurno 55 dBA y nocturno 50 dBA–, para zonas industriales es de 68 dBA y 65 dBA para los mismos periodos, y para escuelas en áreas exteriores y de juego como máximo 55 dBA; en este rango el daño al oído es considerable, así como psicológico en el aumento de estrés e irritabilidad. El asoleamiento cada vez es mayor, se reduce el área de sombra y resguardo por parte de las edificaciones circundantes y en cambio se generan grandes espacios de asoleamiento, ya que el ancho de la calle es mayor a tres veces el promedio de altura de las edificaciones. La complejidad comercial se reduce 35% con respecto al nivel anterior –9 a 25 comer/ha–, esta situación genera tramos de calle de esquina a esquina con tan solo cuatro locales comerciales, esto incide en la atracción de los flujos peatonales por las calles de aproximación.

En este nivel se encuentra la mayoría de las estaciones y terminales, como es el caso de la Terminal Pantitlán con un 50% de sus calles en este nivel, la estación Adolfo López Mateos con un 55% –figura 2–. Con respecto a las estaciones con menor demanda, está la estación Los Patos con un 50% de sus calles en este nivel de calidad y la estación Canteros con un 75%. Cabe destacar que la mayoría de las estaciones de la Línea 3 se ubican sobre alguna avenida principal con el objetivo de que el flujo vehicular fuera lo más rápido posible, esto trajo consigo que el peatón no fuera el eje central desde el cual se planeará su funcionamiento y, por lo tanto, en la actualidad padece su funcionamiento.

El nivel de calidad peatonal V le corresponde los indicadores más bajos y es el que presenta las peores condiciones para los desplazamientos peatonales. En la sección peatonal, el valor es menor a 0.90 m con lo cual apenas es suficiente para los traslados de una persona. La fricción modal es de 50 km/h y tres o más carriles de circulación motorizada, se traduce en una avenida principal con flujo constante y velocidades mortales por atropellamiento. El estacionamiento en calle y sentido de circulación, no existen cajones de estacionamiento en calle y el sentido de circulación es doble, por lo tanto, se pierde la mínima sensación de resguardo y separación del peatón con los vehículos, así mismo aumenta la inseguridad de cruce de calle. La densidad del arbolado se reduce a prácticamente nada –<6 arb/ha–, habrá calles con la carencia total del arbolado y mínimas condiciones para su existencia. El ruido está en niveles mayores a 75 dBA muy por encima de lo permitido por la OMS, la población que sea expuesta a niveles de 80 dBA presentará pérdida temporal del oído y si es constante, pérdida total (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2017). El asoleamiento es mayor y constante, la relación del ancho de calle y altura de construcciones es >4:1, existen tres o más carriles vehiculares; las edificaciones son de baja altura con mínima sombra a nivel de calle. La complejidad comercial es prácticamente nula –<9 comer/ha–, estas calles están principalmente enfocadas a los vehículos motorizados, sin zonas de permanencia, ni de compras enfocados a los peatones.

En el peor nivel de calidad peatonal se encuentran una gran cantidad de estaciones y terminales. Las estaciones de mayor demanda –Figura 2– son la Terminal Pantitlán con un 50% de sus calles en esta situación, la estación General Vicente Villada con un 65% y la estación Sor Juana Inés de la Cruz con un 70%. En el mismo sentido están las estaciones con menor demanda –Figura 3– la estación Ignacio Manuel Altamirano con un 65% de sus calles y la estación Las Torres con el 100% de sus calles en las peores condiciones para la movilidad peatonal.

Figura 2

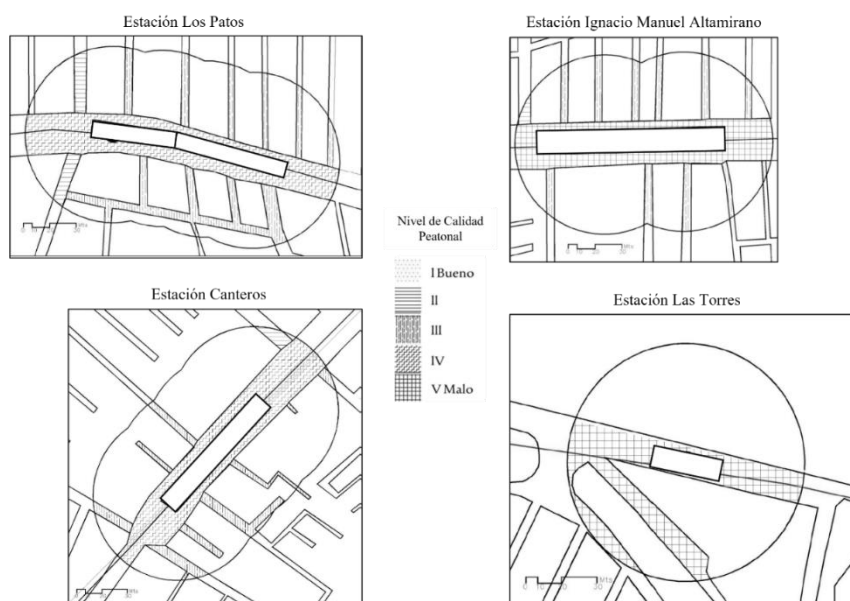
Análisis de los niveles de calidad peatonal en las estaciones de mayor demanda de usuarios



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3

Análisis de los niveles de calidad peatonal en las estaciones de menor demanda de usuarios



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

El resultado del estudio muestra que no existe asociación entre la calidad peatonal de los alrededores de las estaciones con respecto a la afluencia de estas, ya que se corrobora la poca importancia que se le dio a la movilidad peatonal para la implementación de este transporte público masivo. Al respecto, la Línea 3 del Mexibús Chimalhuacán-Nezahualcóyotl-Pantitlán indica que, solo el 1,25 % tiene las características del nivel II de calidad peatonal, el 26,25 % se ubica en el nivel III, el 28,75 % tiene en nivel IV y el 43,75 % está en el nivel V.

Es evidente que la prioridad en el trazado, la ubicación de las estaciones y la infraestructura para la implementación de este medio de transporte fue definida a partir de crear las mejores condiciones para la movilidad motorizada. Sin embargo, no se cuenta con las condiciones idóneas para que la población pueda acceder a él, se generan condiciones de inseguridad vial, tráfico y una imagen urbana deteriorada, que consolida la sensación de riesgo constante.

Este tipo de análisis pueden servir de base para la corrección de este modelo de infraestructura de movilidad y generar mejores condiciones de accesibilidad peatonal. La sistematización de los umbrales es definitoria al momento de determinar el nivel de calidad peatonal necesario para los diferentes modos de transporte público. El objetivo de la categorización por nivel de calidad peatonal responde al factible entendimiento de los resultados y la comprensible representación gráfica, para el entendimiento de los agentes involucrados en la toma de decisiones urbanas y políticas. Este modelo de análisis puede ser aplicable a entornos peatonales de equipamiento público como oficinas gubernamentales, hospitales, escuelas, etc. con sus debidas restricciones.

Este modelo de análisis presenta condiciones factibles para ser utilizado en la academia o en el ámbito profesional, ya que no precisa una complicada y laboriosa recopilación de datos. Puede ser funcional para contextos en los cuales los datos estadísticos urbanos no están disponibles, ya que pueden ser obtenidos a partir de una investigación de campo. Otra ventaja, es que se pueden suprimir indicadores de acuerdo con el enfoque que se pretende realizar o en su caso, adicionar para robustecer los resultados.

Siguiendo la línea de investigación cuantitativa sobre movilidad se abre la posibilidad de continuar indagaciones, pero ahora en el tema de la movilidad ciclista, para ello sería necesario cambiar la escala de análisis y los indicadores se transformarán; por ejemplo, la sección peatonal perdería importancia, pero en cambio la fricción modal cobraría mayor relevancia por el grado de interacción y peligrosidad que representa a los ciclistas. Aunado a lo anterior, la flexibilidad del método permite ser utilizado en diferentes ámbitos de la investigación desde escala local hasta regional.

Una de las limitaciones de la investigación es no haber medido la percepción de la población circundante a las zonas de estudio, lo que sin duda fortalecería más la información sobre el nivel de accesibilidad peatonal al transporte público masivo.

REFERENCIAS

- Adkins, A., Dill, J., Luhr, G., & Neal, M. (2012). Unpacking Walkability: Testing the Influence of Urban Design Features on Perceptions of Walking Environment Attractiveness. *Journal of Urban Design*, 499-510. doi:10.1080/13574809.2012.706365
- Alcaldía Santa Fe de Bogotá. (2005). *Guía Práctica de la Movilidad Peatonal Urbana*. Instituto de Desarrollo Urbano.
- Alfonzo, M. (2005). To walk or not to walk? The hierarchy of walking needs. *Environment and Behavior*, 808-836. doi:https://doi.org/10.1177/0013916504274016
- Alitoudert, F., & Mayer, H. (2006). «Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 94-108.
- Bentley, I. (1999). *Entornos vitales: Hacia un diseño urbano y arquitectónico más humano*. Gustavo Gili.
- Bezerra, B., & Taipa, S. (2004). La "caminabilidad" de las ciudades como un reflejo del desarrollo sustentable. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 93-98.
- Bradshaw, C. (1993). Creating and using a rating system for neighborhood walkability: Towards an agenda for "local heroes". 14th International Pedestrian Conference. Boulder.
- EEA. (2010). *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*. European Environment Agency.
- Esquivel, M., Hernández, O., & Garnica, R. (2013). Modelo de Accesibilidad Peatonal (MAP). Índice de Accesibilidad Peatonal a Escala Barrial. *Bitácora Urbano-Territorial*, 21-30.
- Flores, E. (1957). La Economía del Espacio o la Teoría de la Localización de la Actividad Económica. *Investigación Económica*, 331-371.
- Fontán, S. (2012). Índice de caminabilidad. Aplicado en la almendra central de Madrid. [Tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid]
- Forsyth, A., Michael, J., Lee, B., & Schmitz, K. (2009). The built environment, walking, and physical activity: Is the environment more important to some people than others? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 42-49. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2008.10.003
- Fruin, J. (1971). Designing for pedestrians: A level of service concept. *Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners*, 1-15.
- Gehl, J. (1971). *Life between buildings: using public space*. Copenhagen: Danish Architectural Press.
- Gobierno del Estado de México. (2011). Proyecto: "Corredor de Transporte Público Masivo: Chimalhuacán-Nezahualcóyotl-Pantitlán". Secretaría de Comunicaciones.
- Gutiérrez, I. (2019). *Movilidad Urbana No Motorizada y su Impacto en las Unidades Económicas Locales*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Gutiérrez-López, J., Caballero-Pérez, Y., & Escamilla-Triana, R. (2019). Índice de caminabilidad para la ciudad de Bogotá. *Revista de Arquitectura*, 8-20. doi:https://doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.1.1884
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad*. Reverte.

Hidalgo-Solórzano, E., Gómez-García, L., & Mojarro-Íñiguez, F. (2020). Prevalence of speeding and associated factors in four Mexican cities. *Epidemiol Community Health*, 639-646.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2017). Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México (EOD)2017. Recuperado de <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jE5LjQ2OTI0LGxvbjotOTkuMDg5MTMsejo1LGw6Y2VvZA==&theme=eod>

Jacobs, A. (1993). *Great Streets*. Mit Press.

Krambeck, H. (2006). *The Global Walkability Index*. [Tesis de maestría, Instituto de Tecnología de Massachusetts].

Landis, B., Vattikuti, V., Ottenberg, R., Mcleod, D., & Guttenplan, M. (2001). Modeling the Roadside Walking Environment: Pedestrian Level of Service. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 82-88.

Linares, J. (2020). Evaluación del transporte público en el Estado de México. El caso del Mexibus. *Paradigma económico*, 133 - 160.

Litman, T. (2012). *Well Measured-Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable*. Victoria: Victoria Transport Policy Institute.

Llosas, Y., Pardo, J., Mulet, M., & Silva, J. (2009). Algunas Consideraciones sobre el Ruido Industrial como una Forma de Contaminación Ambiental. *Tecnología Química*, 5-9.

Manchón, L., Santamera, J., Diego, J., Mínguez, J., & Ormazábal, J. (1995). Recomendaciones para el proyecto y diseño del viario urbano. Ministerio de Fomento.

Maslow, A. (1954). *Motivation and Personality*. Diaz de Santos, S. A.

Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas.

Neufert, E. (1995). *Arte de proyectar en arquitectura*. Gustavo Gili, S.A.

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment*, 455-1470.

Olszewski, P., & Wibowo, S. (2005). Using Equivalent Walking Distance to Assess Pedestrian Accessibility to Transit Stations in Singapore. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 38-45.

Pérez, R. (2014). Movilidad cotidiana y accesibilidad: ser peatón en la Ciudad de México. Cuadernos del CEMCA, Serie Antropología (1). Obtenido de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01104578v1/document>

Pozueta, J., Lamíquiz, F., & Porto, M. (2009). *La ciudad paseable: Recomendaciones para la consolidación de los peatones en el planeamiento, el diseño urbano y la arquitectura*. Ministerio de Fomento.

Prinz, D. (1986). *Planificación y configuración urbana*. Gustavo Gili.

Quiroz, H. (2015). *Ciudad compacta. Del concepto a la práctica*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Resendiz, H. (2011). Georeferenciación de puentes peatonales en la Ciudad de México y su relación con peatones atropellados. Instituto de Geografía.

Rodríguez, Á. (2015). Recomendaciones para la Pacificación del Tránsito. IMPLAN de Torreón.

Rodríguez, D., Brisson, E., & Estupiñán, N. (2009). The relationship between segment-level built environment attributes and pedestrian activity around Bogota's BRT stations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14, 470-478.

Rojas, K. T., Chávez Soto, T., & Garrocho Rangel, C. (2022). Ciudad y COVID-19: accesibilidad de población adulta mayor a unidades médicas. Chimalhuacán, Estado de México. *Frontera Norte*, 34. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2300>

Sanz, A. (2008). Calmar el tráfico: Pasos para una nueva cultura de la movilidad urbana. Ministerio de Fomento.

Schuschny, A., & Soto, H. (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Naciones Unidas.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (11 de junio de 2017). Es Día Mundial de la Descontaminación Acústica. Obtenido de <https://acortar.link/vs9QPS>

SEORL CCC. (6 de septiembre de 2022). Sociedad Española de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello. Obtenido de <https://bit.ly/3cPfZ3v>

Soria, J. (2011). Modelo de umbrales para la evaluación ambiental de la movilidad. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada.

Talavera, R., Soria, J., & Valenzuela, L. (2014). La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 60/1, 161-187.

Talavera-Garcia, R., Soria-Lara, J. A., & Valenzuela-Montes, L. M. (2014). La calidad peatonal como método para evaluar entornos de movilidad urbana. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 161-187.

Trunfio, G., Fancello, G., Cecchini, A., Congiu, T., & Blečić, I. (2015). Evaluating walkability: a capability-wise planning and design support system. *International Journal of Geographical Information Science*, 350-1374. doi:<https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1026824>

Valenzuela, L., & Talavera, R. (2015). Entornos de movilidad peatonal: Una revisión de enfoques, factores y condicionantes. *Eure*, 41, 5-27.

Yin, L. (2013). Assessing Walkability in the City of Buffalo: Application of Agent-Based Simulation. *Journal of Urban Planning and Development*, 166-176.

Zacharias, J. (2001). Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments. *Journal of Planning Literature*, 3-18.