



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE COMERCIO Y ADMINISTRACIÓN  
UNIDAD SANTO TOMÁS

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

## ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

### T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**DOCTOR EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS**

PRESENTA:  
**LUIS DAVID BERRONES SANZ**

DIRECTORES:  
DR. FERNANDO LÁMBARRY VILCHIS  
DR. LUIS ROCHA LONA



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Politécnico Nacional y a su programa de posgrado de Ciencias Administrativas, institución por la que siento un profundo cariño, y con la que estoy en deuda académica y moralmente.

A mis directores Dr. Fernando Lámbarry Vilchis y Dr. Luis Rocha Lona, y a los miembros del comité tutorial, Dra. María del Rocío Soto Flores, Dr. Esteban Martínez Díaz, Dr. Edgar Oliver Cardoso Espinoza y Dr. Lucio Barrueta Durán, quienes con sus consejos y recomendaciones fortalecieron esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres Leticia y David, quienes me han motivado a cumplir mis metas, me enseñaron lo esencial y son mi ejemplo en la vida.

# Resumen

---

El propósito de este documento es proponer un índice de sostenibilidad que permita mostrar los cambios y avances de las y los prestatarios del servicio de transporte público, y que puedan ser utilizados para tomar acciones encaminadas a lograr modos de transporte alineados al desarrollo sostenible.

La metodología se dividió en las partes siguientes: 1) análisis de la literatura para identificar los indicadores existentes en la operación del transporte público; 2) análisis y agrupación jerárquico de términos para reducir la cantidad de indicadores; 3) elaboración y aplicación de cuestionario a expertos en transporte y sostenibilidad para determinar importancias relativas; 4) aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para establecer ponderaciones entre los factores; e 5) integración de indicadores y ponderaciones para formar la propuesta de índice.

Se obtuvieron 24 indicadores organizados en nueve categorías, cuya importancia relativa fue comparada a través de un cuestionario contestado por 118 especialistas. Sólo 16 tuvieron una tasa de consistencia menor a 10%, y sus resultados fueron utilizadas para calcular los pesos relativos a través del método AHP. Se encontró que, para la Ciudad de México (CDMX), los factores de sostenibilidad en el transporte público con mayor ponderación son los relacionados a la seguridad pública (0.332) y a la seguridad vial (0.293), se asume que esto es debido a la inmediatez de sus efectos que producen miles de muertes por año; asimismo le siguen los factores ambientales (0.104 eliminación y tratamiento de residuos, 0.099 generación de emisiones contaminantes, y 0.015 generación del ruido); y, en menor medida, los factores relacionados al costo generalizado de transporte (0.038 asequibilidad, 0.061 velocidad comercial, y 0.038 calidad del servicio); dejando en último lugar a las condiciones laborales de las y los trabajadores del transporte (0.020). Finalmente, estas ponderaciones fueron integradas de manera lineal con una serie de datos e indicadores normalizados para formar la propuesta de índice, que fue aplicada en dos modos de transporte de la CDMX: el Metro, cuyo índice de sostenibilidad para el transporte obtuvo un valor de 0.699; y en un sistema de microbuses con valor igual a 0.601.

La metodología propuesta tiene la ventaja sobre otros índices existentes en que no se orienta a evaluar la sostenibilidad o la movilidad general de una ciudad, sino a sistemas o modos de transporte específicos; por lo que permitirá comparar la movilidad en los diferentes modos de transporte, eliminando los sesgos cognitivos de las y los agentes implicados y, especialmente, las y los tomadores de decisión. Así, la propuesta es un instrumento promisorio para instaurar una aplicación imparcial que evalúe de forma sistemática la sostenibilidad en diferentes modos de transporte público de la CDMX y, posteriormente con sus respectivos ajustes, en otras ciudades.

**Palabras clave:** Transporte sostenible; transporte público; Proceso Analítico Jerárquico; sistemas de indicadores; índices.

# Abstract

---

The purpose of this document is to propose a sustainability index that allows to show the changes and progress of the public transport service providers, so that it can be used to take actions aimed at achieving kinds of transport aligned with sustainable development.

The methodology was divided into the following parts: 1) analysis of the literature to identify the existing indicators in the operation of public transport; 2) analysis and hierarchical clustering of terms to reduce the number of indicators; 3) preparation and application of a questionnaire to experts in transport and sustainability to determine relative importance; 4) Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) to establish weightings between the factors; and 5) the integration of indicators and weights to form the index proposal.

24 indicators organized into nine categories were obtained, whose relative importance was compared through a questionnaire answered by 118 specialists. Only 16 had a Consistency Rate of less than 10%, and their results were used to calculate the relative weights through the AHP method. It was found that, for Mexico City (CDMX), the sustainability factors in public transport with the highest weighting are those related to public safety (0.332) and road safety (0.293), it is assumed that this is due to the immediacy of their effects that produce thousands of deaths per year; It is also followed by environmental factors (0.104 elimination and treatment of waste, 0.099 generation of polluting emissions, and 0.015 generation of noise); and, to a lesser extent, the factors related to the generalized cost of transportation (0.038 affordability, 0.061 the commercial speed, and 0.038 quality of the service); leaving in last place the working conditions of transport workers (0.020).

Finally, these weights were linearly integrated with a series of normalized data and indicators to form the index proposal, which was applied in two kinds of transport in CDMX: the Metro, whose sustainability index for transportation obtained a value of 0.699; and in a bus system with a value equal to 0.601. The proposed methodology has the advantage over other existing indexes in that it is not aimed at evaluating the sustainability or general mobility of a city, but at specific transport systems or kinds. Therefore, it will make it possible to compare mobility in the different kinds of transport, eliminating the cognitive biases of the agents involved and, especially, the decision-makers. Thus, the proposal is a promising instrument to establish an impartial application that systematically evaluates sustainability in different kinds of public transport in CDMX and, later with their respective adjustments, in other cities.

**Keywords:** Sustainable transport; public transport; Analytical Hierarchy Process; indicator systems; indexes.

# Índice

---

Índice de tablas .....	3
Índice de figuras .....	4
Nomenclaturas .....	5
Glosario .....	7
Introducción.....	11
Capítulo 1. El transporte urbano .....	13
1.1. La ciudad y el automóvil .....	15
1.2. Tendencias globales en el transporte público urbano .....	18
1.2.1. Los Buses de Tránsito Rápido ( <i>Bus Rapid Transit, BRT</i> ) .....	19
1.2.2. Los trenes ligeros ( <i>Light Rail Transit, LRT</i> ).....	20
1.2.3. Los trenes metropolitanos (metros o subterráneos).....	21
1.2.4. Los trenes suburbanos .....	22
1.3. El transporte en la Ciudad de México .....	23
1.3.1. Los taxis.....	25
1.3.2. La bicicleta .....	26
1.3.3. El transporte colectivo .....	26
1.3.4. El Metrobús .....	27
1.3.5. El Servicio de Transportes Eléctricos.....	27
1.3.6. El Sistema de Transporte Colectivo Metro.....	28
1.4. Resumen analítico .....	28
Capítulo 2. Análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad: Enfoque teórico.....	30
2.1. El análisis de los sistemas de transporte urbano .....	31
2.2. El transporte sostenible.....	34
2.3. Los indicadores para el desarrollo sostenible .....	36
2.3.1. Indicadores de sostenibilidad débil.....	37
2.3.2. Indicadores de sostenibilidad fuerte .....	39
2.3.3. Indicadores de los Objetivos del Desarrollo Sostenible: La Agenda 2030 ..	42
2.3.4. Indicadores de sostenibilidad en México.....	44
2.4. Indicadores Internacionales para el transporte sostenible .....	52
2.5. Resumen analítico .....	57
Capítulo 3. Marco Metodológico .....	60
3.1. Planteamiento del problema .....	62
3.2. Enunciado del problema .....	64
3.3. Justificación .....	64
3.4. Objetivos de la investigación.....	67
3.5. Preguntas de investigación .....	68

3.6.	Planteamiento de hipótesis .....	68
3.7.	Identificación y definición de variables.....	69
3.8.	Método de investigación.....	75
3.9.	Tipo y diseño de la investigación .....	75
3.10.	Diseño de la ejecución del plan como desarrollo de la investigación .....	76
3.11.	El universo y la muestra .....	77
3.12.	Instrumentos de recolección de datos.....	78
3.12.1.	Proceso Analítico Jerárquico.....	79
3.13.	Procedimiento para el análisis de la investigación .....	82
3.14.	Alcances y limitaciones de la investigación .....	85
Capítulo 4. Análisis de resultados y propuesta del Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP) .....		87
4.1.	Factores de sostenibilidad para el transporte público.....	88
4.1.1.	Factor $X_1$ : Emisiones contaminantes .....	88
4.1.2.	Factor $X_2$ : Generación de ruido .....	89
4.1.3.	Factor $X_3$ : Eliminación de residuos .....	90
4.1.4.	Factor $X_4$ : Asequibilidad.....	90
4.1.5.	Factor $X_5$ : Velocidad Comercial.....	91
4.1.6.	Factor $X_6$ : Calidad en el servicio de transporte.....	91
4.1.7.	Factor $X_7$ : Accidentes de tránsito.....	91
4.1.8.	Factor $X_8$ : Crimen y seguridad personal .....	92
4.1.9.	Factor $X_9$ : Condiciones laborales.....	93
4.2.	Resultados de la encuesta y ponderación relativa de los factores de sostenibilidad para el transporte público .....	94
4.3.	Propuesta de Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP).....	96
4.4.	Aplicación del Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP).....	97
4.4.1.	El caso del ISTP en el Metro de la Ciudad de México.....	97
4.4.2.	El caso del ISTP en un sistema de microbuses en la Ciudad de México ...	101
4.4.3.	Conclusiones de los casos de aplicación del ISTP .....	105
Conclusiones de la investigación .....		106
Conclusiones generales.....		115
Futuras líneas de investigación.....		120
Parte complementaria .....		121
Referencias .....		122
Anexo A: Cuestionario “sostenibilidad en el transporte público”.....		135
Anexo B: Cédula de datos del transporte urbano .....		140

# Índice de tablas

---

Tabla 1. Emisiones contaminantes por vehículo y por pasajero.....	19
Tabla 2 Viajes realizados un día entre semana por la población de 6 años y más, y su distribución porcentual por tipo y modo de transporte.....	24
Tabla 3 Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con los sistemas de transporte o las condiciones laborales de sus trabajadores. ....	43
Tabla 4. Indicadores de desarrollo sostenible según categoría temática .....	46
Tabla 5 Indicadores Claves del Sistema Nacional de Indicadores Ambientales .....	47
Tabla 6. Indicadores clasificados en Transporte en la Consulta Temática del SNIARN.....	49
Tabla 7: Diez indicadores clave para un transporte más sostenible .....	52
Tabla 8. Temas tomados en consideración por la mayoría de las iniciativas examinadas por nivel espacial de referencia.....	53
Tabla 9 Indicadores de sostenibilidad aplicados al transporte urbano de pasajeros.....	54
Tabla 10 Métodos usados para la selección de indicadores .....	56
Tabla 11 Acciones para un transporte sostenible de la GTZ.....	57
Tabla 12 Operacionalización de la variable independiente. ....	69
Tabla 13 Operacionalización de la variable interviniente. ....	70
Tabla 14. Operacionalización de la variable independiente. ....	71
Tabla 15. Matriz de Consistencia Metodológica. ....	73
Tabla 16 Escala de Saaty .....	78
Tabla 17 Ejemplo de comparación de factores don la escala de Saaty .....	79
Tabla 18 Matriz de comparación de criterios agregados.....	95
Tabla 19. Ponderaciones de los factores de sostenibilidad en el transporte público. ....	96
Tabla 20 Valores registrados para el cálculo del ISTP en el Metro de la CDMX.....	98
Tabla 21 Formulas y cálculo de valores para el ISTP en el Metro de la CDMX. ....	99
Tabla 22 Cálculo del ISTP en el Metro de la Ciudad de México, Tabla C .....	100
Tabla 23 Valores registrados para el cálculo del ISTP en una línea de microbuses. ....	102
Tabla 24 Formulas y cálculo de valores para el ISTP en una línea de microbuses.....	103
Tabla 25 Cálculo del ISTP en una línea de microbuses, Tabla C .....	104
Tabla 26 Objetivos y logros de la investigación.....	117

# Índice de figuras

---

Figura 1. Parque vehicular de automóviles y motocicletas en la Ciudad de México y el Estado de México. ....	25
Figura 2. Equilibrio simple del mercado de transporte. ....	34
Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	42
Figura 4. Temas disponibles en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) .....	48
Figura 5. Diagrama de operacionalización de variables.....	74
Figura 6. Diseño de la investigación .....	77
Figura 7. Representación gráfica del AHP. ....	80
Figura 8. Procedimiento para el análisis de la investigación.....	83
Figura 9. Dendograma de agrupación ( <i>Cluster dendrogram</i> ). ....	84
Figura 10. Accidentes por viaje-año de acuerdo con su severidad.....	92
Figura 11. Tasa de consistencia individual.....	94
Figura 12. Diferencia máxima entre valor propio y agregación media. ....	95

# Nomenclaturas

---

AHP	Proceso Analítico Jerárquico por sus siglas en inglés.
BRT	Buses de Tránsito Rápido por sus siglas en inglés.
CDMX	Ciudad de México.
CGT	Confederación General de Trabajadores.
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono.
CO <sub>2</sub> e	Emisiones equivalentes de Bióxido de Carbono.
CROM	Confederación Regional Obrera de México.
DF	Distrito Federal.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
Edo. Méx.	Estado de México.
EPI	Índice de Desempeño Ambiental por sus siglas en inglés.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GPI	Indicador de progreso genuino por sus siglas en inglés.
GTZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica por sus siglas en alemán.
HRT	Transporte Ferroviario Pesado por sus siglas en inglés.
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
ISEW	Índice de Bienestar Económicamente Sostenible por sus siglas en inglés.
ISTP	Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público.
KW	kilowatts.

LRT	Trenes de tránsito ligero por sus siglas en inglés.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
PIB	Producto Interno Bruto.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SNIA	Sistema Nacional de Indicadores Ambientales.
SNIARN	Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales.
STC	Sistema de Transporte Colectivo.
SUTAUR-100	Sindicato Único de los Trabajadores de Autotransportes Urbanos de Pasajeros Ruta-100.
TCRP	Programa de investigación cooperativa de tránsito por sus siglas en inglés.
UITP	Unión Internacional de Transporte Público.
UN	Organización de las Naciones Unidas por sus siglas en inglés ( <i>United Nations</i> ).
UNCED	Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo por sus siglas en inglés.
WWF	Fondo Mundial para la naturaleza por sus siglas en inglés.
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México.

# Glosario

---

Autotransporte	Es el modo de transporte cuyos vehículos utilizan caminos o carreteras para desplazarse y, generalmente, es el más popular en las ciudades debido a su alta flexibilidad para cambiar de ruta o acceder a puntos complicados a un bajo costo (Definición propia).
Asequibilidad en el transporte	Es “la capacidad de realizar los viajes necesarios para ir al trabajo, a la escuela, a los servicios de salud y a otros servicios sociales, y de visitar a otros miembros de la familia o realizar otros viajes urgentes sin tener que restringir otras actividades esenciales” (Dick y Saurkar (2005) en Rivas, Serebrisky y Suárez (2019, p. 1).
Calidad en el servicio de transporte	Son aspectos del desempeño que afectan al usuario “-en gran parte cualitativos- tales como: la cobertura adecuada de la red, la limpieza y estética de las unidades, los itinerarios convenientes y publicados, los vehículos adecuados y la presencia de servicios rápidos, frecuentes y confiables” (Molinero y Sánchez, 1997, p. 16).
Condiciones laborales	Son el “conjunto de factores que determinan la situación en la cual el trabajador realiza sus tareas, y entre las cuales se incluyen las horas de trabajo, la organización del trabajo, el contenido del trabajo y los servicios de bienestar social“ (Rodríguez, 2009, p. 29).
Costo generalizado del transporte	“Es una combinación lineal de tres elementos: los componentes monetarios del viaje, el valor del tiempo total empleado en el mismo y la valoración monetaria del resto de elementos cualitativos que intervienen en la decisión” (de Rus Mendoza, Campos y Nombela Merchán, 2003, p. 132).
Desarrollo sostenible	Es aquel desarrollo donde “se satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Organización de las Naciones Unidas, 1987, p. 23).

Externalidades	Es “cuando un agente lleva a cabo una acción de la cual se derivan unos efectos (positivos o negativos) que tienen un impacto en forma de beneficios o costes sobre otros agentes” (de Rus Mendoza et al., 2003, p. 343, 2003, p. 140).
Elasticidad de la demanda	Es el “cociente entre el porcentaje en que cambia la cantidad demandada al cambiar alguna de las variables que influyen sobre ella, y el propio porcentaje de variación de dicha variable” (de Rus Mendoza et al., 2003, p. 140).
Factor	“Conjunto de variables que tienen relación de integración entre sí, y como variables es un conjunto de datos, un factor es un conjunto de datos” (Caballero Romero, 2014, p. 211).
Indicador	Es una herramienta que sirve permite conseguir información acerca de una realidad determinada (Mitchell, 1996).
Índice	Es el “valor agregado final de todo un procedimiento de cálculo, donde incluso se utilizan indicadores como variables que lo componen” (Siche, Agostinho, Ortega y Romeiro, 2007, p. 139).
Medio de transporte	Es la parte del espacio geográfico que se dispone para transportarse, puede ser aéreo, acuático o terrestre (Definición propia).
Modo de transporte	Es el conjunto de actividades administrativas, que incluye la forma de organización y la tecnología disponible para el desarrollo del traslado de personas o mercancías (Definición propia).
Producto Interno Bruto	Es "una medida agregada de producción igual a la suma de los valores agregados brutos (VAP) de todas las unidades institucionales residentes dedicadas a la producción (más impuestos y menos subsidios, sobre productos no incluidos en el valor de sus productos). La suma de los usos finales de bienes y servicios (todos los usos excepto el consumo intermedio) medidos en precios de comprador, menos el valor de las importaciones de bienes y servicios, o la suma de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de productores

	residentes” (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2002, p. 1).
Residuos de manejo especial	“Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos” (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2016).
Residuos peligrosos	“Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio” (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2016)
Ruido	El ruido es un sonido no deseado generalmente desagradable que puede afectar negativamente la salud en forma de energía acústica (Berglund, Lindvall y Schwela, 1999).
Tasa de accidentes	Es el riesgo de accidente por unidad de exposición que sirve como indicador de la probabilidad de ocurrencia de accidente (Elvik y Vaa, 2006).
Transporte	Es el proceso socioeconómico político que consiste en el desplazamiento de personas o mercancías de un punto de origen a un punto destino (Definición propia).
Transporte público	Se refiere a los modos que pueden ser utilizados por cualquier persona para su traslado o el traslado de sus bienes (Definición propia).
Transporte sostenible	Es aquel que genera “bajas emisiones de carbono, proporciona una infraestructura y una operación económicamente viables que ofrece un acceso seguro tanto para las personas como para los bienes, a la vez que reduce los impactos negativos a corto y largo plazo, en los entornos locales y globales” (Dalkmann y Huizenga, 2010, p. 13).

Velocidad Comercial Es la velocidad promedio de la unidad de tránsito para un viaje de ida y vuelta una ruta (Sarkar, Maitri y Joshi, 2017, p. 403).

# Introducción

---

El desarrollo sostenible es una preocupación constante a nivel mundial, por lo que se busca que sus principios sean aplicados en todos los sectores industriales. Uno de estos es el sector transporte, que representa aproximadamente 25% de las emisiones globales de dióxido de carbono (Van Den Berg y Langen, 2015); por lo que la reducción de contaminantes y externalidades generadas por el transporte se ha transformado en una meta esencial para la planeación urbana y la elaboración de políticas gubernamentales. Así, los sistemas de transporte que prevén las dimensiones de la sostenibilidad – económica, social y ambiental– han sido denominados sistemas de transporte sostenible.

Básicamente, el transporte sostenible es aquel que genera “bajas emisiones de carbono, proporciona una infraestructura y una operación económicamente viables que ofrece un acceso seguro tanto para las personas como para los bienes, a la vez que reduce los impactos negativos a corto y largo plazo, en los entornos locales y globales” (Dalkmann y Huizenga, 2010, p. 13). Para medir características de sostenibilidad en el transporte se han utilizado más de 2,644 indicadores (Sdoukopoulos, Pitsiava, Basbas y Papaioannou, 2019). Sin embargo, la mayoría (96.2%) se enfocan en medir el desempeño del sistema de transporte de una ciudad o de un país y, a pesar de que existen una serie de indicadores aplicables al transporte urbano, son muy limitadas las opciones que integran indicadores en forma de índices (suma ponderada de indicadores) para evaluar los sistemas de transporte urbano.

Específicamente, en México se tiene un Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) que muestra indicadores sobre la infraestructura, la flota vehicular, el consumo de energía y las emisiones contaminantes del sector transporte a nivel nacional. Asimismo, existe un índice de movilidad urbana que mide la “capacidad para ofrecer alternativas de transporte atractivo, deseable y alcanzable” (IMCO, 2019) para la población de algunas ciudades en México. No obstante, estas mediciones no permiten evaluar, analizar o comparar el desempeño de la operación de un modo de transporte urbano de manera integral, sino que se enfocan en la movilidad urbana o regional.

En este sentido, para mostrar los cambios y avances que realicen las y los concesionarios (prestatarios) del servicio de transporte en la Ciudad de México, surge esta investigación en

la que se propone un índice de sostenibilidad en los sistemas de transporte público. Así, se pretende que este índice sea utilizado para incidir en el progreso del servicio, como instrumento para analizar y comparar las condiciones necesarias, y que permita tomar acciones para lograr modos de transporte público alineados a las necesidades del desarrollo sostenible.

La investigación se divide en cinco capítulos. En el primero se realiza una revisión el transporte urbano, incluyendo el uso del automóvil, las tendencias globales del transporte público alrededor del mundo, y la situación en la que se encuentra el transporte de la Ciudad de México. Con esto se pretender contextualizar los diferentes modos de transporte de la ciudad y contrastar con los sistemas de transporte de otras ciudades.

En el segundo capítulo se analiza el marco referencial sobre la manera en que se debe realizar el análisis de los sistemas de transporte; se analiza y conceptualiza el transporte sostenible, para finalmente señalar el estado actual de los indicadores de transporte sostenible; incluyendo los indicadores de sostenibilidad que se utilizan en México y otras partes del mundo, y las técnicas utilizadas para la selección de indicadores; esto con el propósito de identificar las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad.

En el tercer capítulo se aborda el marco metodológico. Aquí se muestra el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, el objetivo y la justificación de la investigación. Además de que se definen las variables, se explica la forma de aplicación de la encuesta y se indica el tamaño muestral.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados de la encuesta, se analizan los datos obtenidos y se explican los elementos, los factores y los indicadores incluidos en la propuesta del índice. Además, se realizan un par de casos de estudios, en modos de transporte que operen en la Ciudad de México, en el que se aplica la propuesta de índice de transporte público sostenible; para que, posteriormente, se lleva a cabo la discusión y análisis de la investigación.

Finalmente, en el quinto capítulo se abordan las conclusiones de la investigación, se plantean las limitaciones generales y las futuras líneas de investigación.

# Capítulo 1

---

---

## El transporte urbano

# Capítulo 1

---

## 1. El transporte urbano

Desde una concepción simple, el transporte urbano hace referencia al traslado de bienes o personas de un punto de origen a un punto de destino dentro de una ciudad. No obstante, debido a que el transporte resulta esencial para que las y los habitantes realicen sus actividades diarias, este tiene implicaciones socioeconómicas, políticas, militares y hasta de salud física y mental.

Las ciudades tienen una gran variedad de modos de transporte que dependen de la cantidad de habitantes, su configuración urbana, su orografía, sus costumbres, su ambiente político y su contexto sociohistórico entre otros factores. Para clasificar los modos de transporte urbano, se puede segregar en transporte de mercancías y transporte de personas, o en transporte público y privado. El *transporte privado* es aquel que es operado por el propietario y su uso es limitado a un grupo reducido de personas; principalmente, es representado por el automóvil, las motocicletas, o incluso vehículos de carga que son de uso exclusivo de una empresa. Mientras que el *transporte público* puede ser utilizado por cualquier persona que requiera el servicio, tales como los autobuses, los trenes urbanos, teleféricos o el transporte de carga que trabaja para cualquier empresa que contrate sus servicios.

La utilización de un tipo u otro depende de factores económicos, pero también de factores subjetivos como comodidad, seguridad o prestigio; esto debido a que, en la medida en que un vehículo se utilice la mayor parte de su tiempo su uso será más eficiente y se reducirá su costo por unidad de producción (por ejemplo, por kilómetro recorrido). No obstante, la subjetividad incide en el uso de vehículos privados ya que resulta cómodo tener un vehículo con disponibilidad total y exclusiva, no requiere transbordos o conexiones modales, y hasta es relacionado con prestigio, poder adquisitivo y la masculinidad. Así, a pesar de que en la actualidad existen grandes creencias y toda una industria que promueve el uso del automóvil; también, cada vez se vuelve más popular el uso del transporte no motorizado -por ejemplo, a través de la creación de ciclovías- y la promoción del uso de transporte masivo para el traslado de la población, debido a la reducción de costos sociales tales como contaminación, consumo de tierra por infraestructura de transporte, accidentes, entre otros.

Así, para abordar este tema, este capítulo se divide en tres partes. Primero se habla de los valores y creencias en torno al transporte privado y de cómo el automóvil, junto a sus externalidades, se fue consolidado en las ciudades; por lo que se muestran algunas acciones ejemplares que, en algunas ciudades en el mundo, se han realizado para revertir los efectos del uso del automóvil. Posteriormente, se incluyen beneficios del transporte colectivo en comparación del uso del automóvil, situación que incide en la promoción del transporte colectivo alrededor del mundo. Asimismo, en esta parte, se abordan las principales características de los sistemas de transporte público y, finalmente, se incluye un acápite para contextualizar el transporte de la Ciudad de México.

### **1.1. La ciudad y el automóvil**

Desde hace cerca de un siglo las ciudades comenzaron su transformación en espacios transitables para los automóviles y, poco a poco, fueron ganando terreno y se fueron priorizando incluso por arriba de las y los peatones. Las grandes carreteras han sido vistas como símbolo de progreso, por lo que las y los gobernantes y funcionarios públicos encargados del transporte concentran sus esfuerzos en los beneficios a corto plazo y los costos políticos que pueden traer sus acciones. Las inversiones, las leyes y la protección de la naturaleza, generalmente, son enfocadas al uso de automóviles y los recursos y presupuestos gubernamentales son distribuidos de acuerdo a cada grupo de poder; por lo que forzosamente se llevan a cabo negociaciones y transacciones políticas entre grupos políticos, empresariales y civiles, cuyos intereses son de hecho contradictorios (Salini, 2003); que coinciden en una limitada visión del transporte urbano, y que en vez de crear mayor movilidad, acceso para todas las personas, y crear beneficios para la población, incentivan la falsa percepción de que el avance y desarrollo de una sociedad, está regida por la construcción de autopistas, periféricos, viaductos elevados, estacionamientos y todo tipo de infraestructuras para el transporte; que privilegia el uso del automóvil, y que retratan economías altamente desarrolladas y civilizadas; que no son lo más adecuado para países en desarrollo, pero que representan obras fáciles de justificar y cuya legitimidad se impugna poco.

De acuerdo con Peñalosa (2005) una ciudad es más desarrollada cuándo toda la población tiene opciones de movilidad y la pobreza no margina el acceso al transporte, además, de tener

banquetas y guarniciones para que las personas puedan caminar de forma cómoda y segura; por ende, una población “es más civilizada cuando un niño es capaz de movilizarse en un triciclo por todas partes con facilidad y seguridad” (Peñalosa, 2005, p. 2), y no cuando su tasa de motorización crece y la configuración urbana está dedicada al uso de vehículos particulares; con grandes puentes y superficies de rodamiento. Lamentablemente, estas políticas de construcción de infraestructura no van enfocadas a la movilidad no motorizada, desarrollo urbano con zonas multifuncionales y transporte público, sino al aumento de la capacidad vial para que puedan circular mayor número de vehículos. Y aunque exista desarrollo económico y mejoren las condiciones de educación e industrialización; empeora el medio ambiente, la accesibilidad, el tiempo de viaje y la calidad de vida de las personas. La infraestructura para los automóviles generalmente se usa como una solución a la congestión; pero, generalmente, la nueva capacidad vial induce a la congestión en proporción directa a la cantidad del nuevo espacio vial (Cairns, Hass-Klau y Goodwin, 1998) y, si bien es posible proporcionar mayor velocidad de operación al aumentar la capacidad de las vialidades, esto solo serviría en el corto plazo, y puede traer saturación dentro de los primeros cinco años de utilización (Duranton y Turner, 2011).

Actualmente, algunos países han detenido la proliferación de carreteras y, por el contrario, han recuperado espacios en los que se habían construido. Por ejemplo, se tiene el caso del *Waterfront Freeway* de San Francisco; *Harbour Drive* en Portland, Oregón; *Park East Freeway*, Milwaukee, Wisconsin; *Pompidou Expressway* en París, Francia; *West Side Highway*, en Nueva York y; el *Inner Ring Expressway* en Bogotá, Colombia.

Uno de los casos más emblemáticos, es el Río Chenggyecheon de Seúl, en Corea del Sur, en el que no sólo se recuperó el Río, sino que se crearon zonas peatonales, y se cambió la imagen gris del concreto por una vista verde producto de la vegetación.

La “vía verde”, con 16 metros de ancho y 5.8 kilómetro de largo, que atraviesa la ciudad de Seúl sustituyó una autopista elevada de cuatro carriles, construida a mediados de los años 60’s, y en la que, antes de que fuera cerrada en el año 2003, transitaban cerca de 1.5 millones de automóviles por día (Bocarejo, LeCompte y Zhou, 2012). A pesar de que las y los conductores expresaron su preocupación por la congestión, y los grupos empresariales por la

reducción de sus propiedades y la capacidad de atraer negocios, el alcalde Lee Myung-bak que prometió restaurar el Cheonggyecheon, llegó a ser elegido presidente de Corea del Sur.

Una vez que la autopista fue demolida, se implementó una política de restricción de automóviles y se establecieron varios kilómetros de ciclovías y de carriles para transporte colectivo. Finalmente, con el proyecto que costó cerca de US \$ 281 millones de dólares, disminuyó la congestión vehicular en el centro de la ciudad y los automóviles alrededor de la ciudad viajan a mayor velocidad (Keenan, 2015).

Sin embargo, Bocarejo et al. (2012) indican que las ciudades no están eliminando todas las carreteras debido a la conciencia ambiental o la comprensión de que son malas las costumbres en torno de los vehículos de combustión, sino por determinados contextos, que contienen: 1) Costos de reconstrucción y reparación; 2) revitalización económica: para eliminar los efectos de ruptura o aislamiento de localidades que disminuyen los valores de las propiedades; 3) mayor valor de la propiedad; 4) Hacer que las bahía y frentes de agua sean accesibles y; 5) ofrecer mejores soluciones para satisfacer las necesidades de movilidad.

No obstante, se han impuesto valores y creencias en torno al transporte privado. El automóvil no es considerado únicamente como un modo de transporte, sino, también, como indicador del estrato o clase social de las y los individuos; por lo que muchos usuarios prefieren la congestión antes que dejar el automóvil (Bull, 2003). Así, lograr que las y los usuarios del automóvil cambien de modo de transporte, o reducir la infraestructura destinada a estos vehículos es un paradigma difícil de combatir. Sin embargo, así como ocurrió al demoler el segundo piso de la autopista del embarcadero de San Francisco, donde -la gente no quería que se demoliera, pero, una vez que vieron la alternativa- la carretera se convirtió en un recuerdo que se desvanecía con rapidez y, actualmente, la idea de reconstruirla parece absurda e impensable. Hoy en día, el restaurado Ferry Building es un bullicioso mercado de comida artesanal, atestado todos los días de la semana con turistas, corredores y gente de negocios comiendo o tomando café y mirando las colinas al otro lado del agua. Los viejos tranvías se encuentran en una vía de acceso junto a seis carriles de tráfico de automóviles y carriles para bicicletas verdes. Los amplios paseos de acera albergan marcadores históricos entre patios de restaurantes que atraviesan algunos de las jurisdicciones de mayor desarrollo en la ciudad (Keenan, 2015).

El automóvil, en comparación con otros modos de transporte, tienen mejor movilidad y factores cualitativos -satisfacción, comodidad, entre otros- y aunado a la deficiente calidad del servicio de transporte público, la delincuencia, las pésimas condiciones de los vehículos, la falta de cultura vial, la mala cualificación de las y los choferes y la alta ocupación o saturación de los modos de transporte en horas de máxima demanda; crean un círculo vicioso que desincentiva el transporte público y hace proliferar el uso del automóvil que -cuya comodidad, que se cambia por estrés y contaminación- hace que los problemas continúen creciendo junto con el número de automóviles. Así, las acciones de disminuir la infraestructura carretera dentro de las ciudades, debe ir acompañada de un eficiente sistema de transporte público y sostenible.

## **1.2. Tendencias globales en el transporte público urbano**

Si comparamos un vehículo particular con el transporte colectivo se pueden encontrar varias diferencias; por ejemplo, un automóvil tiene cerca de cuatro metros de largo y transporta 1.5 personas, mientras que en un autobús, equivalente al largo utilizado por tres vehículos, se transportan sesenta personas en promedio (Fulton, Hardy y Schipper, 2002). Evidentemente, el automóvil exige mayor consumo de tierra para su infraestructura, por lo que el transporte colectivo es mejor en términos de utilización de la superficie. Además, en general, los sistemas masivos ofrecen mejor rendimiento en la utilización de recursos, consumen menor cantidad de energía por pasajeros transportado y, por tanto, emiten menor cantidad de contaminantes.

La Tabla 1 muestra un comparativo entre el consumo de combustible y las emisiones contaminantes entre un vehículo particular y un autobús de doce metros. Se puede observar que, el automóvil consume 7.2 veces más combustible por pasajero-kilómetro que el autobús y, por tanto, también genera mayor cantidad de emisiones contaminantes, llegando ser hasta 29.9 veces mayor para el monóxido de carbono (CO) y 28.6 veces más para los hidrocarburos (HC).

De esta forma, el transporte público resulta favorable para la movilidad en las ciudades, por lo que las tendencias internacionales para los sistemas de transporte se enfocan en promover los sistemas de transporte masivos. Que entre sus opciones se tienen: Los Buses de Tránsito

Rápido (*Bus Rapid Transit, BRT*), los trenes ligeros (*Light Rail Transit, LRT*), los trenes urbanos (metros) y los suburbanos.

Tabla 1. Emisiones contaminantes por vehículo y por pasajero.

Descripción	Unidad	Autobús		Automóvil		Automóvil / Autobús
		Veh	60 pas	Veh	1.5 pas	
Rendimiento	Lt/100km	50	0.83	9	6.00	7.2
Hidrocarburos (HC)	grs/km	2.1	0.04	1.5	1.00	28.6
Monóxido de carbono (CO)	grs/km	12.7	0.21	9.5	6.33	29.9
Óxido nítrico (NOx)	grs/km	10	0.17	1.9	1.27	7.6
Material Particulado (PM)	grs/km	2	0.03	0.2	0.13	4.0

Veh: por un vehículo. Pas: número de pasajeros promedio.

Lt: litros. grs: gramos. km: kilómetros.

Fuente: Elaborado con datos de Fulton et al. (2002).

### 1.2.1. Los Buses de Tránsito Rápido (*Bus Rapid Transit, BRT*)

Los Buses de Tránsito Rápido (BRT) o *Busway* que surgieron, a principios de la década de los setentas, en la ciudad de Curitiba, en Brasil, han sido implementados alrededor de todo el mundo. Incluso esta tecnología ha sido transferida a países altamente desarrollados como Estados Unidos, Japón e Inglaterra.

Los BRT pueden atender corredores de transporte con una demanda de entre 15,000 y 35,000 pasajeros por hora, y con una velocidad de operación que puede ser superior a los 25 kilómetros por hora dependiendo del nivel de confinamiento (Fulton et al., 2002). Entre sus principales características están: carriles exclusivos para sus vehículos, instalaciones limpias, seguras, confortables y que permiten un rápido ascenso y descenso de pasajeros, eficientes sistemas de recaudación y cobro, señalización cómoda y eficiente, información en línea, integración modal en terminales y estaciones, y autobuses con tecnologías amigables al medio ambiente (Wright, 2005). No obstante, una de las mayores ventajas respecto a otros modos de transporte, es que, por ejemplo, los sistemas BRT pueden competir con los sistemas de trenes en términos de capacidad de transporte de pasajeros (pasajeros movidos por hora, por dirección), y mientras que la construcción de un sistema de trenes urbanos (metro) cuesta entre 15 y 180 millones dólares por kilómetro -dependiendo si es elevado, superficial o subterráneo- los sistemas BRT cuestan sólo entre uno y ocho millones por kilómetro (Fulton et al., 2002); además, usualmente, en América Latina, los sistemas BRT tienen un costo de operación menor a US\$ 0.50 por viaje, por lo que a diferencia de los sistemas férreos, no

necesitan subsidio y las tarifas cubren los costos de operación. Es así, que los sistemas BRT incorporan una de las principales opciones para mejorar el transporte en las ciudades.

### **1.2.2. Los trenes ligeros (*Light Rail Transit*, LRT)**

De acuerdo con el *Swansea Museum* (2018), el tranvía (*streetcar*) de pasajeros tiene sus orígenes en el Tren Mubles que se construyó como un vehículo guiado por rieles y tirado por caballos entre 1804 y 1805. Posteriormente, en 1807, fue el primer ferrocarril del mundo en transportar pasajeros regularmente. En Inglaterra, los vehículos tirados por caballos fueron utilizados hasta 1896, y subsistieron con los vehículos eléctricos que comenzaron a usarse desde 1877.

Los trenes ligeros comenzaron como un desarrollo del tranvía para permitir velocidades más altas y una mayor capacidad. El servicio puede ser operado con uno o varios vagones con gran versatilidad en la operación y en diferentes tipos de derecho de vía; es decir puede circular de forma confinada, semiconfinada o en tránsito mixto, es decir circular en conjunto con el automóvil o con otros modos de transporte. Además, generalmente, son vehículos eléctricos que obtienen la potencia de tracción de un sistema de cableado elevado en forma de catenaria, por lo que no se requiere un tercer riel para transmitir la energía, y que los instaure como un sistema flexible y con bajos costos de construcción (TCRP, 1999).

Los trenes ligeros (LRT) son comparables a los sistemas de autobuses BRT en términos de capacidad, aunque tienen la ventaja de ser eléctricos y no producir emisiones contaminantes a nivel local (Wright y Fjellstrom, 2015). Además, en términos económicos, el costo inicial se encuentra entre diez y treinta millones de dólares por kilómetro, mucho más que el costo de los BRT que se encuentra en el rango de entre uno y ocho millones por kilómetro (Fulton et al., 2002), por lo que no son muy populares en países en desarrollo. Sin embargo, este modo de transporte resulta cómodo y atractivo para las y los usuarios por lo que se ha promovido en ciudades europeas y en los Estados Unidos. Además, estos sistemas de transporte combinados con proyectos de transporte público han servido para reactivar la economía del centro o periferias de las ciudades al utilizar sus instalaciones como centros comerciales y de entretenimiento (Wright y Fjellstrom, 2015).

### 1.2.3. Los trenes metropolitanos (metros o subterráneos)

El 10 de enero de 1863 se inauguró, en Londres, la primera línea del metro, el *Metropolitan Railway*, que tenía vagones de madera iluminados con gas transportados por locomotoras de vapor y seis kilómetros de longitud (Day y Reed, 2008, p. 8). Circulaba por el centro financiero del imperio británico con la finalidad de aprovechar y competir por los flujos de tránsito que habían desarrollado los ómnibuses<sup>1</sup> (Jackson, 1986, p. 18). Posteriormente, estos sistemas fueron implementados en ciudades europeas y los Estados Unidos, pero fue hasta el siglo XX cuando los metros fueron construidos en Latinoamérica, África, Asia y Oceanía.

Actualmente, la Unión Internacional de Transporte Público (UITP, 2018) indica que hay “metros” en 182 ciudades de 56 países en todo el mundo, y que transportan un total de 53,768 millones de pasajeros por año (viajes-persona-año). Sin embargo, esta cifra ha sido elevada muy recientemente ya que desde el año 2000 se han abierto 75 nuevos metros, principalmente en pocos países de Asia.

Actualmente, el metro, conocido así por la apócope de metropolitano, o también nombrados como subterráneos (*subway*, *underground* o *tube*), ferrocarriles metropolitanos, trenes urbanos, o sistemas de transporte ferroviario pesado (*Heavy Rail Transit*, HRT), son sistemas de transporte público de trenes pesados que utilizan energía eléctrica como fuerza tractiva y que operan en derechos de vía exclusivos, es decir, son separados por desniveles o puentes de otros vehículos, para evitar interferencia en los cruces y, así, alcanzar mayores velocidades de operación. Los trenes se forman con hasta 11 vagones (TCRP, 1999), algunos de arrastre y otros tractivos que obtienen su energía a través de un tercer riel o desde cables conocidos como catenarias. Los vehículos pueden ser con ruedas neumáticas o férreas, de uno o doble piso y gálibo extendido; pero tienen la característica de tener intervalos de paso reducidos, con rápidos ascensos y descensos de pasajeros, esto debido a que las estaciones tienen andenes o plataformas al nivel del piso del vehículo para facilitar el movimiento.

No obstante, los sistemas HRT tienen un costo de entre 15 y 30 millones de dólares por kilómetro (US\$/km) en construcciones al nivel de la superficie, de entre 30 y 75 millones

---

<sup>1</sup> De acuerdo con la Real Academia Española, la palabra ómnibus del latín *omnibus* 'para todos' y se refiere a un vehículo de transporte colectivo para trasladar personas, originalmente cerrado y tirado por caballos.

US\$/km para los que se construyen elevados y de entre 60 y 180 millones US\$/km para los subterráneos, por lo que es el sistema de transporte público más costoso en términos de costos iniciales (Fulton et al., 2002) y normalmente requieren subsidios para cubrir sus costos de operación (Wright y Fjellstrom, 2015). Sin embargo, su velocidad de operación se encuentra entre los 30 y 40 kilómetros por hora y tienen una capacidad de 60,000 pasajeros por hora en cada dirección (Fulton et al., 2002).

Así, a pesar del costo de inversión, es posible que los sistemas de trenes metropolitanos sean percibidos por los usuarios como el mejor modo de transporte colectivo en términos del costo generalizado; principalmente por utilizar menor tiempo en los traslados, la conectividad de la red, la seguridad y la comodidad. Además, a pesar de que es posible que las y los viajeros de otros modos de transporte en sistemas superficiales se sientan más cómodos y disminuyan su nivel de estrés por observar el entorno mientras viajan, y no sólo el oscuro túnel de los subterráneos; los HRT que son construidos de bajo la superficie tienen poco impacto en el plano del espacio público, no crean barreras urbanas, que dividen la ciudad y lazos sociales, y no son percibidos como invasores del espacio de otros modos de transporte, debido a que no se reduce el número de carriles y, por tanto, la capacidad de la vía por la que circulan los automóviles.

#### **1.2.4. Los trenes suburbanos**

El tren suburbano, tren para ir al trabajo o tren de cercanías (*Commuter Rail*) es un modo de transporte de larga distancia que, para transportar exclusivamente pasajeros, puede utilizar parte del sistema ferroviario y acceder al sistema por acuerdo con un ferrocarril de carga (TCRP, 1999). Estos sistemas, al igual que los sistemas metropolitanos, tienen la característica de que requieren conexiones modales y coordinación con otros sistemas de transporte para suministrar a las y los usuarios a sus terminales. Sin embargo, su operación puede ser distinta. Por ejemplo, dado que estos trenes son utilizados para ir al trabajo, es probable que la demanda se concentre en los horarios de inicio y término de las jornadas laborales -es decir, periodos por la mañana y por la tarde- y que en otros horarios no sean requeridos, por lo que las salidas se concentran en esos periodos; con tendencias a vehículos más grandes y mayor cantidad de vagones por tren, para transportar grandes volúmenes de pasajeros en menor tiempo. Si bien, puede haber más horarios en las salidas, la densidad de

usuarios hace que los intervalos de tiempo sean mayores en comparación con los servicios urbanos. Asimismo, tienen la característica de que las distancias entre estaciones son más largas y el factor de revolencia (cantidad de veces que se utilizan los lugares o asientos) es cercano a uno, ya que las y los pasajeros generalmente viajan desde los suburbios hasta los centros económicos, y extraordinariamente ocurren descensos en estaciones intermedias.

La distancia y el bajo número de ascensos y descensos entre estaciones son características que hacen posible aumentar la velocidad comercial o incluso utilizar servicios de tipo exprés; por lo que los trenes suburbanos pueden ayudar a disminuir la pobreza debido a que ofrecen una opción rápida y eficiente, que combate la marginación y conecta a la gente de menores ingresos que generalmente vive alejada del centro de la ciudad (Wright y Fjellstrom, 2015).

### **1.3. El transporte en la Ciudad de México**

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015) indica que la población en la Ciudad de México es superior a los 8.9 millones de personas, de las cuales 99.5% es población urbana y 0.5% población rural; representa 7.5% de la población total del país, en sólo 0.08% del territorio nacional; y junto con algunos municipios conurbados del Estado de México forman la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Asimismo, la Encuesta Origen-Destino (INEGI, 2018b) indica que, de los 19.38 millones de habitantes mayores de seis años de edad que viven en la ZMVM, 15.63 millones de personas realizan, con un tiempo promedio de 43 minutos, por lo menos un viaje entre semana; y dado que se sabe que el número de habitantes influye en la movilidad, tanto de forma directa - porque son las y los habitantes los que generan los desplazamientos diarios- como indirecta, puesto que son las mismas personas las que conforman la demanda y son la principal razón del comercio (Inglada i Renau y Teixidó Medina, 2010); la movilidad en la Ciudad de México es uno de los retos más importantes para mejorar la calidad de vida sus habitantes.

Tabla 2 Viajes realizados un día entre semana por la población de 6 años y más, y su distribución porcentual por tipo y modo de transporte

Tipo y modo de transporte	Viajes	%
<b>Total<sup>2</sup></b>	<b>34 558 217</b>	<b>100.0</b>
<b>Transporte público <sup>3</sup></b>	<b>15 569 247</b>	<b>45.1</b>
Colectivo	11 543 302	74.1
Taxi solicitado con Aplicación de Internet	156 429	1.0
Taxi de sitio, calle u otro	1 479 937	9.5
Metro	4 468 576	28.7
Autobús RTP o M1	408 507	2.6
Autobús	907 350	5.8
Trolebús	146 479	0.9
Metrobús o Mexibús	1 105 235	7.1
Tren ligero	112 992	0.7
Tren suburbano	187 958	1.2
Mexicable	7 401	0.0
Bicitaxi	90 023	0.6
Mototaxi	274 166	1.8
<b>Transporte privado <sup>4</sup></b>	<b>7 288 819</b>	<b>21.1</b>
Automóvil	6 603 982	90.6
Motocicleta	371 970	5.1
Transporte escolar	281 613	3.9
Transporte de personal	36 429	0.5
<b>Sólo caminar en la calle <sup>5</sup></b>	<b>11 147 585</b>	<b>32.3</b>
<b>Bicicleta <sup>6</sup></b>	<b>720 000</b>	<b>2.1</b>
<b>Otro <sup>7</sup></b>	<b>42 051</b>	<b>0.1</b>

El día de la semana observado pudo haber sido martes, miércoles o jueves.

La suma por modo de transporte utilizado puede ser mayor que el total porque en un viaje la persona puede emplear más de un medio de transporte.

El porcentaje de los transportes se obtiene con respecto al transporte público.

El porcentaje de los transportes se obtiene con respecto al transporte privado.

Se consideran tramos de caminata de cualquier duración cuando el viaje se realizó únicamente de este modo

Debido a la forma en que se captó la bicicleta, no es posible distinguir si es transporte público o privado.

En Otro modo de transporte se incluye trajinera y lancha, entre otros.

Fuente: Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México INEGI (2017).

En la Tabla 2, se puede observar que en la ZMVM se realizan 34.56 millones de viajes en un día entre semana, 45.1% en transporte público, 21.1% en transporte privado y 32.3% caminando.

Asimismo, en la ZMVM 77% de los hogares tienen por lo menos un automóvil, y este tipo de transporte representa 90.6% de los viajes de transporte privado. Tan sólo en la ciudad de México hay más de cinco millones de automóviles y la tasa de crecimiento media anual, para este tipo de vehículos, es de 4.7% en la última década. En la Figura 1 se puede observar el rápido crecimiento de automóviles y motocicletas, tanto en la Ciudad de México como en para el Estado de México. Así, se puede observar que la tasa de crecimiento de motocicletas es todavía mayor, y llega a ser hasta de 35.3% para el Estado de México.

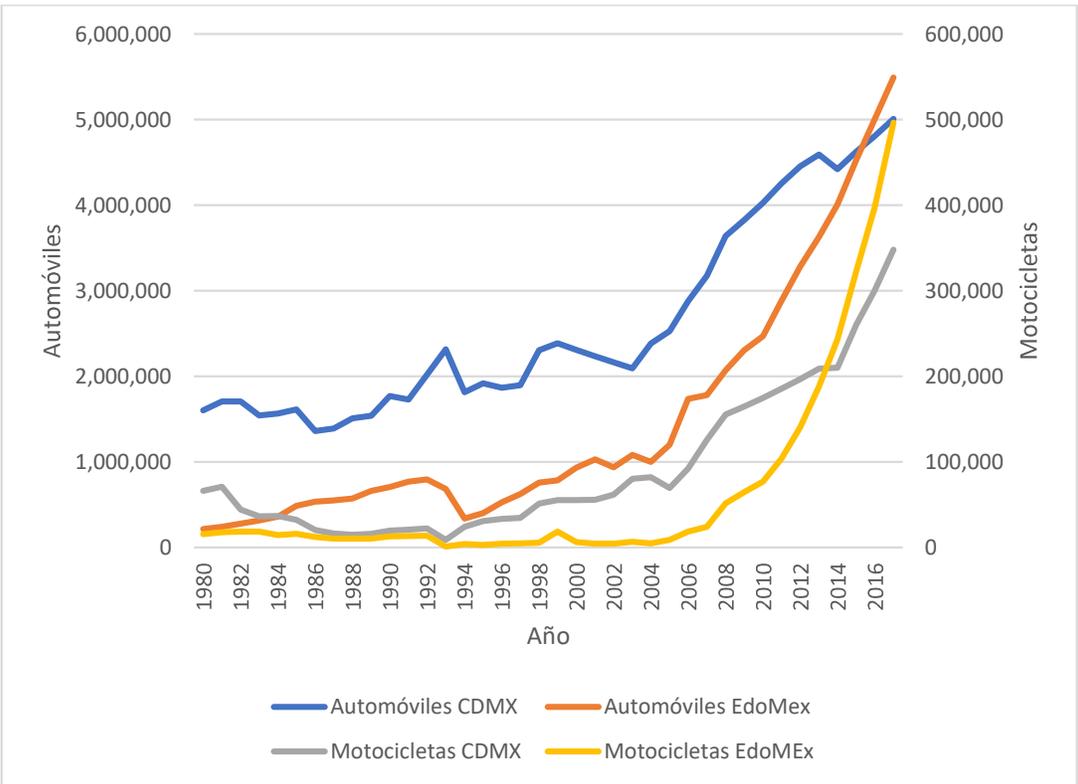


Figura 1. Parque vehicular de automóviles y motocicletas en la Ciudad de México y el Estado de México.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2017c).

### 1.3.1. Los taxis

En la Ciudad de México, para el transporte público de pasajeros se utilizan más de 200 mil vehículos y, por tanto, hay por lo menos 215,378 conductores de Taxi (Berrones Sanz, 2010). Aunque la Encuesta Origen-Destino realizada en el año 2017 (INEGI, 2017b) indica que los taxis participan con 6.9% de la distribución modal, lo que representa cerca de 1.07 millones de personas transportadas por día en la ciudad de México, el número continúa en aumento

debido a los servicios de transporte público individual tipo taxi que ofrecen sus servicios a través de aplicaciones de teléfonos móviles, tales como Uber o Cabyfy. Ya que tan sólo la empresa Uber registra cerca de 55 mil vehículos (Pogliaghi y Aunis, 2019).

Además, en la Ciudad de México existen otros servicios tipo taxi propulsados con motocicletas y bicicletas, conocidos como mototaxis y bicitaxis. Al respecto, se sabe que existen más de 20 mil vehículos de este tipo dedicados a esta actividad (Berrones Sanz, 2018). Aunque generalmente estos vehículos dan servicio en distancias cortas, son muy utilizados y su popularidad continua en aumento en ciertas zonas de la ciudad.

### **1.3.2. La bicicleta**

La bicicleta como modo de transporte es un sistema que, cada vez, se va haciendo más popular, no sólo de manera recreativa sino como forma principal de movilidad en la ciudad. De acuerdo con la Encuesta Origen-Destino realizada en el año 2017 cerca de 340 mil personas se movilizan de forma cotidiana en bicicleta, representa 2.2% de los viajes y el número continua en aumento (INEGI, 2017b).

En México, la demanda de bicicletas supera los 1.4 millones de bicicletas por año, por lo que la bicicleta representa un impórtateme cambio social y cultural, que además trae beneficios al medio ambiente (Berrones Sanz y Muro Báez, 2016). Actualmente, las bicicletas pueden ser privadas o ser utilizadas en sistemas de bicicletas compartidas, que pueden ser públicos como es el caso de la empresa paraestatal Ecobici o con oferentes de carácter privado que incluye a las nuevas empresas que ofrecen sus servicios a través de aplicaciones para teléfonos móviles.

### **1.3.3. El transporte colectivo**

En la Ciudad de México existen más de 121 mil conductores de transportes colectivos, tales como vagonetas, microbuses o autobuses. En general, los vehículos destinados para este servicio tienen características precarias, la flota vehicular es antigua -con más de 22 años de antigüedad (Hernández, 2014)- y una característica de las y los conductores profesionales es que laboran largas jornadas y bajo condiciones inadecuadas de trabajo; por lo que se exponen a enfermedades laborales, de carácter físico y psicosocial, además de riesgos como los

accidentes de tránsito (Berrones Sanz, Cano Olivos, Sánchez Partida y Martínez Flores, 2018; Berrones Sanz y González Peña, 2018).

Así, en la Ciudad de México ocurren casi 13 accidentes diarios, lo que ligado a comportamientos descorteses de las y los conductores crean una imagen negativa de este tipo de servicios (Berrones Sanz, 2014). A pesar de esto, cerca de 39% de los viajes, 6.09 millones de viajes personas por día, se realizan en el transporte colectivo.

#### **1.3.4. El Metrobús**

El Metrobús es el sistema de Buses de Tránsito Rápido (*Bus Rapid Transit, BRT*) de la Ciudad de México. Actualmente transporta más de 620 mil pasajeros (INEGI, 2017b), se conforma por una red de 280 kilómetros de recorrido (Metrobús, 2019), y continúa creciendo ya que es un sistema que representa una relativa baja inversión y es un sistema que cuenta con gran aceptación entre las y los pasajeros.

De acuerdo con datos del Metrobús, este sistema contribuye con un ahorro de 50 millones de litros de gasolina, equivalentes a 100,000 viajes en automóvil particular (Metrobús, 2019) y sus vehículos cuentan con tecnología que cumplen con certificación ambiental que va de la EURO III a la EURO VI, dependiendo el modelo de sus vehículos.

#### **1.3.5. El Servicio de Transportes Eléctricos**

El denominado Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, es una empresa considerada como organismo público descentralizado, creada en el año 1947 (STE, 2021). Esta empresa opera diferentes modos de transporte que tienen en común utilizar la energía eléctrica como medio de propulsión. Se incluyen nueve líneas de trolebuses, una de tren ligero y, recientemente, dos líneas de sistemas de teleféricos nombradas Cablebús.

Actualmente esta empresa está siendo renovada debido a la promoción y aceptación de los sistemas de propulsión de energía eléctrica. No obstante, a pesar de que se presumen corredores “Cero emisiones”, se debe recordar que aunque en los corredores viales por donde transitan los vehículos no se generan gases de efecto invernadero, la producción de energía eléctrica en México continúa siendo a través de carboeléctricas en una gran proporción (22%)

(SENER, 2021), por lo que la producción de energía es altamente contaminante y produce una fuerte cantidad de emisiones en el lugar de producción.

### **1.3.6. El Sistema de Transporte Colectivo Metro**

Actualmente, el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México cuenta con 226.43 kilómetros de vías y 390 trenes (STC, 2018); con lo que transporta a 2.39 millones de pasajeros por día (INEGI, 2017b). El Metro, por utilizar energía eléctrica, es considerado un transporte limpio y su consumo de energía por pasajero, de acuerdo con los indicadores de operación, se encuentra alrededor de 0.51 *kilowatts* (KW) (STC, 2018).

Es posible que el metro, aunque hay que indagar en esto, sea el sistema de transporte público preferido entre las y los habitantes de la Ciudad de México. El metro tiene una red que prácticamente conecta toda la ciudad, son 195 estaciones que pueden ser recorridas con un bajo costo (actualmente cinco pesos) y en vías separadas del tránsito vehicular (sistema de transporte confinado) por lo que su velocidad comercial es superior a cualquier otro modo de transporte.

Sin embargo, a pesar de sus bondades, la energía que propulsa al metro es generada por termoeléctricas que generan la energía a través de combustibles fósiles; por lo que contrariamente a lo que se dice popularmente, el Metro sí provoca emisiones contaminantes, solo que no lo hace en el punto donde se mueven sus vehículos. Además, el Metro enfrenta problemas que afectan a las y los pasajeros, tales como la saturación y las condiciones físicas de los vehículos, que no sólo afectan la comodidad -como la temperatura y la ventilación- sino la seguridad de las y los usuarios. Así, se requiere evaluar las externalidades, especialmente el nivel de emisiones contaminantes, que genera el Metro y establecer indicadores que permitan compararlo con otros modos de transporte.

## **1.4. Resumen analítico**

Este capítulo comienza con un apartado en el que se señala la importancia de movilidad en las ciudades, como parte fundamental para el desarrollo de las actividades propias de la gente y el desarrollo de las comunidades. Asimismo, se destaca el problema de la motorización y el uso de los automóviles particulares como sistema de transporte para las ciudades.

De manera específica, la segunda sección se enfoca en mostrar los sistemas de transporte público, su evolución y las tendencias globales como forma de eficientizar la movilidad, y para disminuir las externalidades. En esencia, los países tienden a promover la utilización del transporte público masivo como la mejor alternativa de movilidad de larga distancia para la ciudad. Además, se muestran casos de éxito en los que el transporte privado (automóvil) ha perdido terreno en comparación con sistemas de transporte público; ya que se han demolido carreteras, convirtiéndolas en espacios para transportes colectivos o senderos, con áreas verdes y adecuados para el transporte no motorizado.

Finalmente, el capítulo incluye una descripción del contexto del transporte en la Ciudad de México; y se puede observar el crecimiento en la tasa de motorización para automóviles y motocicletas, por lo que se vislumbra una fuerte cultura en el uso del transporte particular. Esto debido, principalmente, al círculo vicioso generado por la mala calidad del transporte público, concebido con factores cualitativos negativos -insatisfacción, incomodidad, entre otros- y que aunado a la delincuencia, el alto número de accidentes de tránsito, y la falta de capacitación y las malas condiciones laborales de las y los conductores -que generan una mala atención al usuario- hacen más atractivo el uso del automóvil; por lo que, mientras continúa creciendo el número de vehículos, se continúan generando externalidades y menoscabando el medio ambiente.

No obstante, a la fecha no hay instrumentos que ayude a evaluar los sistemas de transporte de pasajeros en la Ciudad de México, por lo que resulta de importancia crear instrumentos que permitan evaluar y comparar los diferentes modos de transporte público en la Ciudad de México; de tal forma que se puedan ir cuantificando las mejoras, y que estén alineados a los objetivos del desarrollo sostenible.

## Capítulo 2

---

---

Análisis de los sistemas de transporte  
y los indicadores de sostenibilidad:

Enfoque teórico

# Capítulo 2

---

## **2. Análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad: Enfoque teórico**

El transporte es una necesidad derivada de las actividades de las personas, tales como trabajo, escuela, diversión, y salud, entre otras; por lo que tiene repercusiones en ámbitos políticos, económicos, sociales y ambientales. Así, mientras un transporte eficiente permitirá y fomentará el flujo de actividades económicas y, por tanto, el desarrollo de una sociedad; un transporte ineficiente frenará el crecimiento económico, limitará las actividades sociales y recreativas de la sociedad, enfermará a su población -de forma física y mental- y contribuirá a la degradación ambiental global.

En este sentido, el transporte es una actividad esencial para la humanidad, por lo que las naciones alrededor del mundo se han preocupado por conectar sus localidades a rutas comerciales, y mejorar la movilidad de sus habitantes. No obstante, conseguir la movilidad para la gran cantidad de población que habita en las ciudades, es un reto para las y los tomadores de decisión sobre los sistemas del transporte y planeación urbana, ya que tienen que solucionar los problemas de movilidad, al mismo tiempo que se reducen los costos sociales tales como la contaminación, el tránsito vehicular, la accidentabilidad y la accesibilidad a grupos de bajos ingresos o con discapacidades físicas.

Así, en este capítulo se analiza el marco referencial sobre la forma en que se debe realizar el análisis de los sistemas de transporte; se analiza y conceptualiza el transporte sostenible, para finalmente señalar el estado actual de los indicadores de transporte sostenible; incluyendo los indicadores de sostenibilidad que se utilizan en México y otras partes del mundo, y las técnicas utilizadas para la selección de indicadores esto con el propósito de identificar las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad.

### **2.1. El análisis de los sistemas de transporte urbano**

Desde hace varias décadas se habla del reto del análisis de los sistemas de transporte. Manheim (1979) indica que “el reto sustantivo del análisis de los sistemas transporte es

intervenir, delicada y deliberadamente, en el complejo tejido de una sociedad para usar el transporte de manera efectiva, en coordinación con otras acciones públicas y privadas, para lograr las metas de una sociedad” (Manheim, 1979, p. 5). Esta visión sistémica indica que para estudiar los problemas de los sistemas de transporte es necesario considerar todos los modos de transporte de la región; y cada uno de los elementos de los diferentes sistemas (las personas o bienes transportados, los vehículos, la red y las instalaciones, incluyendo terminales y puntos de transferencia; todos los movimientos realizados a través del sistema, los orígenes, los destinos y las características de los flujos.

Además, se considera al sistema de transporte estrechamente relacionado con el total de las actividades sociales, económicas, políticas y, en general, las transacciones que toman lugar en el espacio y tiempo de una región determinada; conocida como el sistema de actividades, y en el que se incluyen las opciones de viaje (con decisiones que toma el usuario o el transportista acerca del servicio que se ofrece, y de cuándo, dónde y cómo viajar); y otras opciones de actividades que incluyen fuerzas económicas externas al sistema de transporte, como políticas económicas nacionales, rápidos cambios sociales, subsidios a la vivienda y políticas hipotecarias, que afectan los patrones de actividades y afectan la demanda de transporte.

Por su parte, Cascetta (2009) indica que el sistema de transporte y de actividades interactúan entre sí, a través tanto la demanda de viajes que producen dentro de un área determinada como de la provisión de servicios de transporte para satisfacer esta demanda. Asimismo, establece que la demanda en el sistema de transporte incluye las instalaciones y servicios, las capacidades de suministrar los elementos, la congestión y el desempeño del servicio; la demanda está integrada por los flujos en las redes modales, la demanda de viajes por modos de transporte y el nivel y distribución espacial de la demanda de viajes; mientras que el sistema de actividades se compone por el nivel y localización de las actividades económicas, el número y localización de los hogares por tipo y la disponibilidad de espacio por área y tipo.

En esencia, los elementos entre ambos autores son los mismos y ayudan a entender el nivel de ocupación de cada modo de transporte en una localidad. Ya sea visto como oferta y demanda, o como el nivel de servicio (S) y volumen de usuarios (V) lo interesante es entender

que, como un conjunto de elementos interrelacionados, cada vez que un sistema de transporte aumenta o disminuye su costo, se presentará una elasticidad en la demanda.

Es importante mencionar que el costo del transporte se mide en términos del costo generalizado ( $C_g$ ) que, en su forma más simple, incluye tres elementos: 1) los componentes monetarios o precios de viaje ( $p$ ), que se compone por todos los desembolsos económicos que realiza el usuario; 2) El valor del tiempo total del traslado ( $t$ ) y: 3) los factores cualitativos que intervienen en la decisión ( $\theta$ ), en los que se incluye la comodidad, la seguridad y otros valores subjetivos. Así, un aumento en el costo generalizado del transporte puede ocasionar la elasticidad cruzada de la demanda, es decir, la forma en que cambia la cantidad de viajeros o mercancías en un modo de transporte cuando se modifican los costos en otro modo de transporte (de Rus Mendoza et al., 2003). No obstante, los factores cualitativos también pueden ser interpretados por el interés de viajar a ciertas zonas para realizar actividades y las alternativas de transporte disponible. Por tanto, el sistema de actividades puede ocasionar cambios en el sistema de transporte.

Para predecir los flujos de transporte, se tiene la hipótesis básica de que la especificación del sistema de transporte y del sistema de actividades en cualquier momento genera el patrón de flujos (Manheim, 1979). Es decir, al establecer el sistema de transporte (T) se establecen las funciones de servicio (J), las cuales indican la forma en que cambia el nivel de servicio en función de las opciones disponibles y del volumen de usuarios (V). Por su parte, al especificar las opciones del sistema de actividades (A), se establecen las funciones de demanda (D) que es proporcionan el volumen de flujos, en función de la demanda de actividades y del nivel de servicio ofrecido en el sistema de transporte. Por lo que la configuración de los flujos (F) dependen del volumen de usuarios (V) y del nivel de servicio proporcionado a las y los usuarios (S).

En la Figura 2, se puede observar que, para la demanda (D), conforme aumenta el nivel de servicio (S) del sistema de transporte, aumenta el volumen de usuarios (V). Por el contrario, las funciones de servicio (J) disminuyen igual que el nivel de servicio (S), mientras aumenta el volumen de usuarios (V).

En suma, al modificar el sistema de actividades o las opciones de transporte de una región se crea un nuevo punto de equilibrio en el sistema y, este a su vez, creará efectos del transporte

que se verán reflejados en el total de las y los agentes implicados, ya sea el usuario, el operador de transporte, el gobierno o agentes externos en forma de costos sociales.

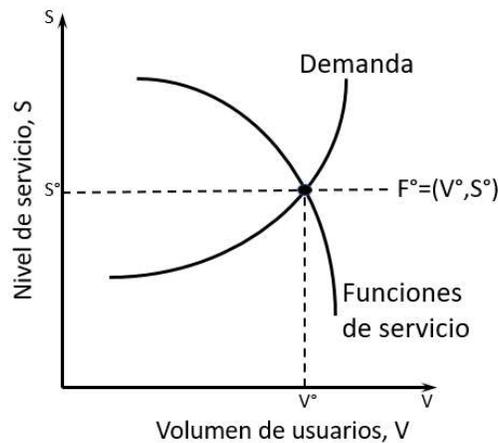


Figura 2. Equilibrio simple del mercado de transporte.  
 $F$ =patrones de Flujo;  $S$ = nivel de Servicio;  $V$ = Volumen de usuarios.  
 Fuente: Manheim (1979, p. 20).

De aquí la importancia de identificar en que forma las modificaciones -ya sean mejoras o deterioros- a los diferentes modos de transporte influirán en el comportamiento de otros modos de transporte y, la elasticidad cruzada, creará perjuicios o beneficios a la ciudad. De esta forma, las estrategias de movilidad en las ciudades se encaminan en desincentivar el uso del automóvil (elasticidad cruzada) y dirigir esa demanda hacia el transporte público o las opciones de movilidad amigables con el medio ambiente, planear el uso del suelo y las actividades de la ciudad, el aprovechamiento eficiente de la energía, los sistemas de gestión ambiental, y la utilización de diversas tecnologías que ayuden a lograr la sostenibilidad, es decir, convertir las ciudades en inteligentes (*smart city*).

## 2.2. El transporte sostenible

El concepto de sostenibilidad tiene su origen en el Manifiesto Ecologista para la supervivencia (*The Ecologist's Blueprint for Survival*) publicado en 1972 -primero en la revista *The Ecologist* y luego como libro- en la que los autores Goldsmith, Allen, Allaby, Davoll y Lawrence (1972) denominaron el colapso de la sociedad y la interrupción irreversible de los sistemas de soporte vital en el planeta, con el objetivo de concientizar acerca del medio ambiente, con una visión holística, y regenerar los sistemas de crecimiento económico. Sin embargo, fue hasta el año 1987 cuando el concepto se popularizó a través

del informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo llamado “Nuestro futuro común” y mejor conocido como Informe de Brundtland, en la que se define el desarrollo sostenible cuando “se satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias” (Organización de las Naciones Unidas, 1987).

Posteriormente, se fueron popularizando los tres elementos de la sostenibilidad: 1) el ambiental, interpretado como los principios ecológicos; 2) el social, enfocado a la calidad de vida de las y los individuos; y 3) el económico, que busca ser eficiente en la generación de la riqueza; ubicando a la sostenibilidad en el punto de equilibrio entre esos elementos. De esta forma, se busca que los principios de la sostenibilidad sean aplicados a todas las áreas industriales, principalmente en el sector transporte, que es uno de los que consumen mayor cantidad de energía y, por tanto, de los que más emisiones contaminantes genera. Así, se ha popularizado el término de transporte sostenible o sustentable<sup>2</sup> que, aunque tienen diferente significado, se han usado de manera indistinta; y, por tanto, se ha definido al transporte sostenible como aquel que genera “bajas emisiones de carbono, proporciona una infraestructura y una operación económicamente viables que ofrece un acceso seguro tanto para las personas como para los bienes, a la vez que reduce los impactos negativos a corto y largo plazo, en los entornos locales y globales” (Dalkmann y Huizenga, 2010, p. 13).

De esta forma, Bongardt, Schmid, Huizenga y Litman (2011) señalan que los principales retos para un transporte sostenible se encuentran en la contaminación del aire, el cambio climático, la congestión vehicular, la intensidad energética y consumo de recursos naturales, la seguridad en los precios de los energéticos, equidad en el acceso, fragmentación del hábitat y consumo de la tierra, el ruido, y la seguridad vial. Asimismo, señalan que es indispensable evaluar la sostenibilidad en un sistema de transporte, y que esto se logra a través de indicadores.

---

<sup>2</sup> Sustentable se refiere a conservar algo en su estado o defender con razones.

### 2.3. Los indicadores para el desarrollo sostenible

Anteriormente se describió la forma en que se concibe el costo de manera generalizada para las y los usuarios de los sistemas de transporte. En esencia se incluyen tres elementos fundamentales el costo económico, el temporal y los factores cualitativos. Sin embargo, los sistemas de transporte deben ser evaluados no sólo desde la perspectiva del usuario sino, también, por el impacto que generan en la ciudad y las afectaciones a todos las y los ciudadanos sin importar si utilizan o no el sistema de transporte. Estos impactos ocasionados por el productor del servicio, y cuyo costo es asumido por toda la sociedad, son conocidos como externalidades, que pueden ser positivas o negativas dependiendo de si perjudican o benefician a la ciudad. Así, para medir las externalidades de un sistema de transporte de una manera objetiva y que permita de manera cuantitativa o cualitativa proveer una base empírica para conocer los problemas, calcular el impacto ambiental, social o económica, se utilizan los indicadores.

Los *indicadores* son sistemas de evaluación que sintetizan información y que facilitan la toma de decisiones, la información puede ser cuantitativa o cualitativa, pero tienen la característica de precisar el objetivo que se pretende en el momento de iniciar el proceso de evaluación, es decir, deben definir claramente qué y para qué debe ser medido determinado fenómeno, de tal manera que se determinen las características o aspectos esenciales de una cosa (López, 2004). Los indicadores son utilizados, prácticamente, en todos los ámbitos del ser humano, por mencionar algunos, hay indicadores que miden el desempeño de las industrias, de tipo biológicos, financieros, sociales, económicos, políticos, ambientales o de sostenibilidad.

Aunque los indicadores de sostenibilidad ambiental ya existían, fue hasta que se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Rio de Janeiro en 1992, cuando se comenzó a considerar instrumentos para el desarrollo sostenible (Quiroga Martínez, 2001). De esta forma, Quiroga (2001) clasifica a los indicadores de sostenibilidad de acuerdo con su enfoque sistémico en indicadores ambientales e indicadores de desarrollo sostenible. Los primeros hacen referencia a sólo a la dimensión ecológica, mientras que los segundos, incluyen todas las dimensiones de la sostenibilidad. No obstante, los objetivos de

desarrollo sostenible forman parte y son una clasificación de los indicadores de sostenibilidad.

De forma específica, los *indicadores de desarrollo sostenible* “son un sistema de señales que facilitan evaluar el progreso de los países y regiones hacia el desarrollo sostenible”. Así lo define Quiroga (2001) quien, además, comenta que algunas naciones ampliamente industrializados han implementado indicadores ambientales desde hace más de 30 años, mientras que otros países que se han integrado posteriormente a la creación de indicadores se han centrado en el desarrollo sostenible, es decir, incluyendo -aunque no relacionando- las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

Quiroga (2001) clasifica y define los indicadores de sostenibilidad ambiental en tres generaciones: 1) La primera correspondiente a los indicadores desarrollados en los años de la década de los ochentas, y que fueron implementados para evaluar desde un sector productivo (como por ejemplo: el de salud o agricultura) o desde un número limitado de variables de la polución, como los indicadores de la calidad del aire, los de contaminación del agua o los de deforestación. 2) La segunda generación de indicadores comenzó en la década de los noventas, y corresponde al desarrollo de indicadores con un enfoque multidimensional, en el que se incluyen aspectos de tipo ambiental, social, económico e institucional; pero, a pesar de que los indicadores de las diferentes dimensiones se presentan de forma simultánea, estos realmente no se vinculan en forma esencial. 3) La tercera generación corresponde a los indicadores que se enfocan hacia el Desarrollo sostenible en forma efectiva y, estos indicadores, representan el desafío actual para el mundo, por lo que deben lograr vincular un número limitado de indicadores que desde su origen incorporen y potencien sinérgicamente los diferentes sectores y dimensiones.

De manera más específica, y desde otra perspectiva, los indicadores de sostenibilidad se engloban en dos corrientes de sostenibilidad, la débil y la fuerte.

### **2.3.1. Indicadores de sostenibilidad débil**

La sostenibilidad débil es definida como “la suma del capital natural y del capital hecho por los humanos” (Van Hauwermeiren, 1999). Esta visión se basa en que se puede estimar el detrimento de los recursos naturales en términos monetarios, por lo que cuando un recurso

llega a ser escaso, su precio aumenta y, por tanto, se busca un recurso sustituto; además, se contempla una visión positivista con la utilización de nuevas tecnologías y que, en conjunto, darán la disminución del consumo de los recursos; por lo que se asevera que si a lo largo del tiempo el capital no se reduce entonces el consumo tampoco lo hará (Hartwick, 1977). Los principales indicadores de este enfoque son 1) El producto nacional neto ajustado ambientalmente; 2) Sistema de cuentas ambientales y económicas; y 3) El ahorro neto ajustado.

### **El producto nacional neto ajustado ambientalmente**

De acuerdo con Arias (2006), el producto nacional neto ajustado ambientalmente es un indicador consiste en cuantificar el Producto Nacional Neto, que es el total de ingreso de una economía, menos la depreciación hecha por el hombre en un periodo de tiempo determinado. El ajuste consiste en deducir, del Producto Nacional Neto, la forma de explotación social y económica de los recursos no renovables, en la que las y los agentes involucrados -en la utilización de los recursos no renovables- toman la decisión entre extraer los recursos y vender con la utilidad actual, o no extraer y obtener un aumento futuro del valor de los bienes si se dejan sin explotar (Hotelling, 1991). Por lo que, el producto nacional ambiental es la cantidad de inversión en capital producido (edificios, carreteras y conocimiento entre otros) que se necesita para compensar exactamente las existencias en disminución de recursos no renovables (lo que se conoce como la regla de Hartwick).

### **Sistema de cuentas ambientales y económicas**

Este método consiste en utilizar estructuras contables consistentes con estándares internacionales -como la balanza de pagos, la clasificación de las actividades económicas e industriales y la clasificación central de productos- para obtener series de tiempo de las estadísticas económicas, sociodemográficas y ambientales, que faciliten la evaluación, y comparación entre las diferentes naciones, de las tendencias de uso y disponibilidad de los recursos naturales, la intensidad de las emisiones contaminantes y las descargas en el ambiente resultantes de la actividad económica (Oleas-Montalvo, 2013).

### **El ahorro neto ajustado**

Para este método primero se obtiene el ahorro nacional neto, deduciendo del Ingreso Nacional Bruto la depreciación del capital hecha por el hombre, luego se acredita el gasto en

educación (para invertir en capital humano) y se sustrae el agotamiento de los recursos -energéticos, minerales y forestales, entre otros- y la degradación del medio ambiente (World Bank, 2011). Aunque la regla de interpretación de este método es simple -ya que cuando el ahorro neto ajustado es negativo se está agotando el capital, y cuando es positivo se está añadiendo riqueza- la obtención de información se ha dificultado por la obtención de información, por lo que las estimaciones se han limitado al daño causado por emisión de partículas (IndexMundi, 2017).

### **2.3.2. Indicadores de sostenibilidad fuerte**

La sostenibilidad fuerte se define como la capacidad de la economía humana de mantener el capital crítico; este último, entendido como las funciones que no son reemplazables por el capital hecho por lo humanos y que son esenciales para la vida -como las especies vivas o la capa de ozono- (Van Hauwermeiren, 1999). Este enfoque busca “sostener la estructura y características de los sistemas ecológicos de la tierra, las funciones de soporte de la vida o el acervo de capital natural” (Arias, 2006, p. 4). Entre los principales indicadores de este enfoque, se encuentran 1) la huella ecológica; 2) Índice del planeta vivo; 3) Índice de bienestar económicamente sostenible; y el 4) Indicador de progreso genuino.

#### **La Huella Ecológica**

La Huella Ecológica (*ecological footprint*) es un indicador del impacto ambiental que, a principios de la década de los noventa desarrollaron y cuantificaron William E. Rees y Mathis Wackernagel para la ciudad de Vancouver. De acuerdo con Chazan y Venetoulis (2015), esta herramienta contabiliza el impacto ambiental y la capacidad futura de la naturaleza para producir los recursos que los humanos utilizan y para absorber los residuos resultantes. La metodología de la huella determina la productividad global anual y la capacidad de asimilación (biocapacidad) para las principales áreas terrestres y, posteriormente, compara la biocapacidad con las demandas que impone el consumo humano y la producción de desechos. La Huella Ecológica ha sido utilizada para evaluar los riesgos y beneficios de acciones alternativas, diseños, fuentes de energía, políticas y productos, y puede utilizarse como criterio para medir el impacto de la humanidad en la tierra en términos de sostenibilidad ecológica (Chazan y Venetoulis, 2015). Sin embargo, uno de los principales

problemas de este método es que el cálculo de la huella ecológica es complicado y en algunos casos imposible.

### **Índice del planeta vivo**

El Índice del Planeta Vivo es un instrumento del Fondo Mundial para la naturaleza (WWF por sus siglas en inglés *World Wide Fund for Nature*) que mide el estado de la biodiversidad mundial; se basa en datos científicos, y compara como cambian a lo largo del tiempo, 16,704 poblaciones monitoreadas de 4,005 especies de vertebrados, en la que se incluyen mamíferos, aves, peces, anfibios y reptiles (WWF, 2018). En el reporte del año 2018, la WWF indica que toda actividad económica depende de los servicios de la naturaleza, con un valor estimado a cerca de 125 billones de dólares por año; sin embargo, el consumo, la sobrexplotación y la agricultura son los elementos más relevantes que intervienen en el menoscabo de la biodiversidad, y que han contribuido a que las especies de vertebrados hayan tenido una disminución general de 60% entre los años 1970 y 2014 (WWF, 2018).

### **Índice de Bienestar Económicamente Sostenible**

El Índice de Bienestar Económicamente Sostenible (ISEW por sus siglas en inglés *Index of Sustainable Economic Welfare*) fue diseñado por Daly y Coob (1989) y trata de describir el cambio de bienestar económico sostenible al paso del tiempo; considerando elementos sociales, económicos y ambientales ponderados para interactuar en una escala única. De acuerdo con Stockhammer et al. (1997) su cálculo se realiza en tres pasos, primero se calcula la base de consumo, considerando el consumo privado y público, la producción nacional, y el futuro aumento del bienestar debido a la inversión; segundo, se calculan los artículos de resta, que incluyen los costos de defensa ambiental y social, y la reducción del bienestar futuro bienestar; y el tercer paso, la distribución, que consiste obtener el ISEW multiplicando los insumos provisionales, que incluyen el cálculo de la desigualdad del ingreso entre trabajadores y empleadores, género y personas empleadas y desempleadas, por la desigualdad en la distribución del trabajo, que incluye la distribución desigual del trabajo remunerado y no remunerado.

### **Indicador de progreso genuino (GPI, *Genuine Progress Indicator*).**

Iniciado por Herman Daly y John Cobb en (1989), la estructura básica y los métodos de cálculo para el Indicador de progreso genuino (GPI, *Genuine Progress Indicator*) han

cambiado relativamente poco a pesar de los refinamientos teóricos que se han sugerido en la literatura reciente y la proliferación de nuevos métodos. y fuentes de datos para muchos de los ajustes básicos del método (Kenny et al., 2019). Sin embargo, a pesar de que este método no está completamente estandarizado, se utilizada para cuantificar el crecimiento económico de una región en un periodo de tiempo determinado (Brown y Lazarus, 2018; Cámara de Diputados, 1966, 1966) y, a través de 26 componentes que ajustan al Producto Interno Bruto (PIB) según la desigualdad, reúnen los aspectos positivos y negativos para examinar si ha beneficiado, o no, a las personas; es decir, toma en cuenta el PIB, pero adiciona cifras que representan los efectos negativos relacionados con la actividad económica, como la delincuencia, los accidentes de tránsito, el agotamiento de los recursos y la destrucción de la capa de ozono, entre otros.

### **Índice de Desempeño Ambiental,**

El Índice de Desempeño Ambiental (EPI, *Environmental Performance Index*) ha sido desarrollado por la Universidad de Yale y tuvo su origen en el Índice de Sostenibilidad Ambiental (ESI, *Environmental Sustainability Index*). En el 2018, el EPI fue utilizado para clasificar el desempeño de 180 naciones, se utilizaron 24 indicadores clasificados en diez grupos que incluyen la salud ambiental y la vitalidad del ecosistema. Con estas herramientas se consigue información a nivel país, de cómo estos cumplen sus metas relacionadas a las acciones sobre el medio ambiente. De esta forma, con el propósito de dar a conocer las mejores acciones y orientar hacia la mejora del desempeño ambiental, el EPI permite realizar comparaciones entre los países que encabezan las acciones en cuestiones de sostenibilidad y los países con menos resultados (Yale Center for Environmental Law & Policy, 2018).

No obstante, a pesar de las diferentes corrientes y los diferentes indicadores de sostenibilidad; actualmente, en la Organización de las Naciones Unidas se han establecido indicadores para la Agenda 2030, conocida también como los Objetivos para el Desarrollo Sostenible que representan la iniciativa de sostenibilidad más importante a nivel mundial, y de los cuales se hablará en el siguiente apartado.

### 2.3.3. Indicadores de los Objetivos del Desarrollo Sostenible: La Agenda 2030

En el año 2015 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (2015) planteó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible; esta consiste en 17 objetivos (Figura 3) y 169 metas, cada una con su respectivo indicador, como “plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad” (Asamblea General, 2015, 2/41) abarcando aspectos sociales, económicos, y ambientales. Algunos indicadores asociados con las metas -como, por ejemplo, la proporción de muertes por lesiones causadas en incidentes viales (indicador 3.6.1), o la cantidad de personas o carga por modo de transporte (indicador 9.1.2)- se relacionan directamente con los sistemas de transporte; otros, no tan evidentes -como la cantidad de personas que mueren por cardiopatías, diabetes, cáncer, o las enfermedades respiratorias crónicas (indicador 3.4.1), o la proporción de tiempo empleado en actividades y tareas del hogar o cuidados no remunerados, desagregado por género, grupo etario y ubicación (indicador 5.4.1)- que forman parte de las condiciones laborales de las y los trabajadores de los sistemas de transporte. Para evidenciar esto, se sabe que las cardiopatías, la diabetes, el cáncer, o las enfermedades respiratorias crónicas tienen mayor prevalencia en las y los conductores profesionales (Berrones Sanz y González Peña, 2018); mientras que, por su parte, las conductoras mujeres tienen peores condiciones laborales, en comparación con sus pares del sexo masculino (Berrones-Sanz y Araiza Díaz, 2019). En este sentido, algunos indicadores establecidos en las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con las externalidades de los sistemas de transporte o las condiciones laborales de sus trabajadores se muestran en la Tabla 3.



Figura 3. Objetivos de Desarrollo Sostenible  
Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2015).

Tabla 3 Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con los sistemas de transporte o las condiciones laborales de sus trabajadores.

---

3.4.1 Tasa de mortalidad atribuida a las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, la diabetes o las enfermedades respiratorias crónicas.
3.6.1 Tasa de mortalidad por lesiones debidas a accidentes de tráfico.
3.8.1 Cobertura de servicios de salud esenciales (definida como la cobertura promedio de servicios esenciales basados en intervenciones con trazadores que incluyen la salud reproductiva, materna, neonatal e infantil, las enfermedades infecciosas, las enfermedades no transmisibles y la capacidad de los servicios y el acceso a ellos, entre la población general y los más desfavorecidos).
3.a.1 Prevalencia normalizada para la edad del consumo actual de tabaco entre las personas de 15 o más años.
4.5.1 Índices de paridad (mujeres/hombres, zonas rurales y urbanas, quintil superior/inferior de recursos económicos, y otras características, como la situación en materia de discapacidad, los pueblos indígenas y los efectos de conflictos, a medida que se disponga de datos) para todos los indicadores de esta lista que puedan desglosarse.
5.4.1 Proporción de tiempo dedicado a quehaceres domésticos y cuidados no remunerados, desglosada por sexo, edad y ubicación.
7.1.2 Proporción de la población cuya fuente primaria de energía consiste en combustibles y tecnología limpios.
8.1.1 Tasa de crecimiento anual del PIB real per cápita.
8.2.1 Tasa de crecimiento anual del PIB real por persona empleada.
8.3.1 Proporción del empleo informal en el empleo no agrícola, desglosada por sexo.
8.5.1 Ingreso medio por hora de mujeres y hombres empleados, desglosado por ocupación, edad y personas con discapacidad.
8.8.1 Tasas de frecuencia de lesiones ocupacionales mortales y no mortales, desglosadas por sexo y situación migratoria.
8.10.2 Proporción de adultos (de 15 años o más) con una cuenta en un banco u otra institución financiera o con un proveedor móvil de servicios monetarios.
9.1.1 Proporción de la población rural que vive a menos de 2 km de una carretera transitable todo el año.
9.1.2 Volumen de transporte de pasajeros y carga, por medio de transporte.
9.4.1 Emisiones de CO2 por unidad de valor añadido.
9.5.1 Gastos en investigación y desarrollo como proporción del PIB.
10.3.1 Proporción de la población que declara haberse sentido personalmente víctima de discriminación o acoso en los 12 meses anteriores por motivos de discriminación prohibidos por el derecho internacional de los derechos humanos.
11.1.1 Proporción de la población urbana que vive en barrios marginales, asentamientos improvisados o viviendas inadecuadas.
11.2.1 Proporción de la población que tiene acceso conveniente al transporte público, desglosada por sexo, edad y personas con discapacidad.
11.6.2 Niveles medios anuales de partículas finas (por ejemplo, PM2.5 y PM10) en las ciudades (ponderados según la población).
11.7.2 Proporción de personas víctimas de violencia física o acoso sexual, desglosada por sexo, edad, grado de discapacidad y lugar del hecho, en los doce meses anteriores.
12.4.1 Número de partes en los acuerdos ambientales multilaterales internacionales relacionados con los desechos peligrosos y otros productos químicos, que cumplen sus compromisos y obligaciones de transmitir información como lo exige cada acuerdo pertinente (ejemplo: grasa).
12.6.1 Número de empresas que publican informes sobre sostenibilidad.
12.c.1 Cuantía de los subsidios a los combustibles fósiles por unidad de PIB (producción y consumo) y como proporción del total de los gastos nacionales en combustibles fósiles.

---

(Continua)

13.2.1 Número de países que han comunicado el establecimiento o la puesta en marcha de una política, estrategia o plan integrados que aumenta su capacidad para adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, y promueven la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos (como un plan nacional de adaptación, una contribución determinada a nivel nacional, una comunicación nacional, un informe bienal de actualización o similar).

16.1.1 Número de víctimas de homicidios dolosos por cada 100.000 habitantes, desglosado por sexo y edad.

16.1.3 Proporción de la población sometida a violencia física, psicológica o sexual en los 12 meses anteriores.

16.1.4 Proporción de la población que no tiene miedo de caminar sola cerca de donde vive.

16.5.1 Proporción de las personas que han tenido por lo menos un contacto con un funcionario público y que pagaron un soborno a un funcionario público, o tuvieron la experiencia de que un funcionario público les pidiera que lo pagaran, durante los 12 meses anteriores.

16.6.2 Proporción de la población que se siente satisfecha con su última experiencia de los servicios públicos.

16.7.1 Proporciones de posiciones (por sexo, edad, personas con discapacidad y grupos de población) en las instituciones públicas (asambleas legislativas nacionales y locales, administración pública y poder judicial), en comparación con las distribuciones nacionales.

16.10.2 Número de países que adoptan y aplican las garantías constitucionales, reglamentarias y/o normativas para el acceso público a la información.

16.b.1 Proporción de la población que declara haberse sentido personalmente víctima de discriminación o acoso en los 12 meses anteriores por motivos de discriminación prohibidos por el derecho internacional de los derechos humanos.

---

Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2015).

### **2.3.4. Indicadores de sostenibilidad en México**

En el año 2000, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) presentaron los resultados del trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sustentable en México. Esta publicación -la primera de su tipo en México (INEGI, 2000)- fue realizada en respuesta a los compromisos adquiridos durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (*United Nations Conference on Environment and Development, UNCED*), conocida como la Cumbre de la Tierra, que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, en 1992; y en la que, en el Capítulo 40, se propusieron las siguientes actividades:

- A) Elaboración de indicadores del desarrollo sostenible (párrafo 40.6).
- B) Promoción del uso mundial de indicadores del desarrollo sostenible (párrafo 40.7).
- C) Mejoramiento de la reunión y utilización de datos (párrafo 40.8).
- D) Mejoramiento de los métodos de evaluación y análisis de los datos (párrafo 40.9).
- E) Establecimiento de un marco amplio de información (párrafo 40.10).
- F) Fortalecimiento de la capacidad de difundir información tradicional (párrafo 40.11).

Con este propósito, la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas propuso 134 indicadores con criterios temáticos que cubren toda la Agenda 21, mismos que se distribuyen en cuatro clases, que incluyen los apartados económicos, sociales, ambientales e institucionales. El número de indicadores clasificados por categoría y capítulo de referencia de la Agenda 21 se muestran en la Tabla 4.

En cuanto a México, a pesar de que inició su participación formal en 1997, ya para el año 2000, se generaron 113 de los 134 indicadores propuestos por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (INEGI, 2000) y; específicamente sobre transporte, los indicadores incluyen el Producto Interno Neto Ajustado Ambientalmente clasificado por sector económico, incluyendo el sector de Transporte, almacenamiento y comunicaciones; las emisiones de bióxido de azufre, de acuerdo con su actividad económica; emisiones nacionales de óxidos de nitrógeno por origen; datos sobre operadores de transporte, como la edad, nivel educativo, horas dedicadas al hogar y comparación del promedio del ingreso de las mujeres respecto al promedio de los hombres; y el consumo por persona de combustibles por la utilización de automóviles.

Tabla 4. Indicadores de desarrollo sostenible según categoría temática

Categoría y capítulo		Número de indicadores
<b>Aspectos Sociales</b>		
3	Combate a la pobreza	6
5	Dinámica demográfica y sustentabilidad	4
36	Promoción de la educación, la concientización pública y la capacitación	11
6	Protección y promoción de la salud humana	12
7	Promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentables	8
<b>Aspectos Económicos</b>		
2	Cooperación internacional para acelerar el desarrollo sustentable en los países y en sus políticas internas	5
4	Cambio de patrones de consumo	8
33	Mecanismos y recursos financieros	6
34	Transferencia de tecnología	4
<b>Aspectos Ambientales</b>		
18	Recursos de agua dulce	7
17	Protección de océanos, todo tipo de mares y áreas costeras	5
10	Enfoque integrado para la planificación y administración de recursos del suelo sustentable y el desarrollo rural Combate a la deforestación	3
12	Manejo de ecosistemas frágiles: Combate a la desertificación y la sequía	4
13	Manejo de ecosistemas frágiles: Desarrollo sustentable en áreas montañosas	3
14	Promoción de la agricultura	7
11	Combate a la deforestación	4
15	Conservación de la diversidad biológica	2
16	Manejo ambientalmente limpio de la biotecnología	2
9	Protección de la atmósfera	6
21	Manejo ambientalmente limpio de desechos sólidos y aspectos relacionados con aguas servidas	5
19	Manejo ambientalmente limpio de sustancias químicas tóxicas	2
20	Manejo ambientalmente limpio de desechos peligrosos	4
22	Manejo seguro y ambientalmente limpio de desechos radioactivos	1
<b>Aspectos Institucionales</b>		
8	Integración del ambiente y el desarrollo en la toma de decisiones	4
35	Ciencia para el desarrollo sustentable	3
39	Instrumentos y mecanismos legales internacionales	2
40	Información para la adopción de decisiones	3
23-32	Fortalecimiento del papel de los grupos principales	3
		Subtotal
		15
		<b>Total</b>
		134

Fuente: United Nations, Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies, Nueva York, 1996, Citado en Inegi (2000).

Tabla 5 Indicadores Claves del Sistema Nacional de Indicadores Ambientales

Conjunto / NIC	Nombre	Descripción
<b>Biodiversidad</b>		
1	Vegetación natural remanente	El indicador denota el estado que guardan actualmente, respecto a su superficie original, los ecosistemas naturales en el país.
2	Superficie protegida y bajo manejo sostenible	Este indicador muestra los avances conseguidos hacia la protección y el uso sostenible de los ecosistemas naturales y sus recursos.
3	Especies en riesgo	El porcentaje de especies en riesgo, para ciertos grupos taxonómicos, es útil como indicador del estado de la biodiversidad nacional.
<b>Residuos</b>		
4	Residuos sólidos urbanos depuestos sin control	El indicador denota, por un lado, el riesgo potencial al ser humano y al ambiente causado por la disposición sin control de los RSU, y por otro, los avances conseguidos en su manejo en el país.
<b>Atmósfera</b>		
5	Días en que se excede el valor de la norma	El indicador permite conocer la frecuencia con la que se exceden los umbrales máximos definidos en las normas existentes para proteger la salud de la población en las principales ciudades del país.
6	Zonas metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire	Se ha seleccionado como indicador aproximado las zonas metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire, el cual denota también el esfuerzo encaminado hacia la ampliación de la cobertura del sistema de monitoreo nacional.
7	Emisión de gases de efecto invernadero	El indicador permite conocer la magnitud y las tendencias de la presión a la atmósfera asociadas a las emisiones de GEI a nivel nacional.
8	Consumo nacional ponderado de sustancias agotadoras del ozono estratosférico	El consumo ponderado de Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO) considera de manera integral el consumo aparente de estas sustancias (producción, importación y exportación), así como su capacidad específica para destruir el ozono, por lo que resulta útil para conocer el papel y los esfuerzos de México para controlar el problema del adelgazamiento de la capa de ozono.
<b>Agua</b>		
9	Grado de presión sobre los recursos hídricos	Su empleo se sugiere también como una medida de la vulnerabilidad del país o de una región particular frente a la escasez de agua.
10	Intensidad de uso del agua subterránea	Este indicador evalúa cuando la extracción excede a la recarga natural de los acuíferos, pueden considerarse como sobreexplotados, lo que puede poner en riesgo el abasto futuro del recurso.
11	Agua residual que recibe tratamiento	El indicador sobre tratamiento de las aguas residuales denota el esfuerzo enfocado a la disminución de los efectos negativos sobre los ríos y lagos a los que se vierten las aguas.
12	Demanda bioquímica de oxígeno en aguas superficiales	El indicador evalúa la proporción de los sitios de monitoreo en cuerpos de agua superficiales que tienen baja calidad evaluada por medio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).
<b>Suelos</b>		
13	Superficie afectada por degradación del suelo	El indicador denota la proporción de la superficie nacional afectada por cuatro procesos de degradación causados por el hombre: erosión hídrica y eólica y degradación física y química.
<b>Recursos forestales</b>		
14	Superficie bajo manejo forestal	El indicador, que reporta la superficie bajo manejo forestal apoyada por la Comisión Nacional Forestal, denota el esfuerzo encaminado a la preservación y uso sostenible de los ecosistemas forestales nacionales.

Fuente: elaboración propia con base en el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SEMARNAT).

Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) presenta 14 indicadores, clasificados en seis conjuntos, para evaluar la conservación y uso del medio ambiente y los recursos naturales en el país (Tabla 5). Estos indicadores, conforman el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) y, evalúan de manera indirecta los efectos del transporte en, por ejemplo, la emisión de contaminantes a la atmosfera o la utilización del suelo por la construcción de infraestructura. Sin embargo, no indican, de manera específica algún modo de transporte.

No obstante, la misma SEMARNAT (2019) presenta el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN), que incluye información estadística categorizadas en 31 temas relacionados al ambiente (Figura 4).



Figura 4. Temas disponibles en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN)

Fuente: SEMARNAT (2019).

EL SNIARN, Incluye aspectos sociales, económicos y ambientales, por lo que se pueden encontrar indicadores como el Producto Interno Bruto, la evolución de la pobreza, el uso y calidad del agua, implicaciones ambientales de la industria manufacturera e indicadores sobre la atmosfera, entre otros. Así, además de la calidad del aire y emisiones contaminantes, uno de los temas disponibles en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) es el Transporte; y, englobado en dos subcategorías, muestra 23

indicadores sobre la infraestructura y los vehículos, y el consumo de energía y emisiones contaminantes del sector transporte (Tabla 6).

Tabla 6. Indicadores clasificados en Transporte en la Consulta Temática del SNIARN

---

<b>Infraestructura y flota vehicular</b>
Longitud de la red carretera por entidad federativa y tipo de vía
Vehículos de motor registrados en circulación
Flota vehicular del servicio público federal de autotransporte de pasaje y turismo
Vehículos de pasajeros por modo de transporte
Flota vehicular del servicio público federal de autotransporte de carga por tipo de unidad
Edad de la flota vehicular del autotransporte público federal de carga
Producción y venta de vehículos automotores
Longitud de vías férreas existentes del transporte ferroviario
Locomotoras y carros en operación del transporte ferroviario
Fuerza tractiva y capacidad de carga del transporte ferroviario
Longitud de atraque por litoral según actividad preponderante
Obras de protección por litoral
Embarcaciones de la flota mercante mexicana
Capacidad de carga de la flota mercante mexicana
Aeronaves registradas por tipo de uso
<b>Consumo de energía y emisiones contaminantes en el sector transporte</b>
Consumo de energía por modo de transporte
Niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes del escape de los vehículos de pasajeros (NOM-041-ECOL-1999)
Niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes del escape de los vehículos que usan gasolina como combustible (NOM-041-SEMARNAT-2015)
Niveles máximos permisibles de emisiones del escape de los vehículos nuevos cuyo peso bruto no exceda los 3,857 kg (NOM-042-SEMARNAT-2003)
Niveles máximos permisibles de emisiones del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible en vehículos nuevos con peso bruto mayor de 3,857 kg (NOM-044-SEMARNAT-2006)
Niveles máximos permisibles de emisiones del escape de los vehículos nuevos con peso bruto mayor de 3,857 kg (NOM-076-SEMARNAT-2012)
Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala (NOM-167-SEMARNAT-2017)
Inventario de emisiones contaminantes atmosféricos debidas al transporte en algunas ciudades de México

---

SNIARN: Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales.

NOM: Norma Oficial Mexicana.

Fuente: Elaboración propia con base en SEMARNAT (2019).

Por supuesto, en México existen otros indicadores que se relacionan con alguna de las dimensiones de la sostenibilidad; así, por ejemplo, se tienen los indicadores de los Objetivos del Milenio, que son entre 60 y 70 indicadores (si se consideran las desagregaciones por geografía o género), que “buscan atender las necesidades humanas más apremiantes y los derechos fundamentales que todos los seres humanos deberían disfrutar” (Organización de

las Naciones Unidas, p. 1), y con los que México participa para cumplir con los compromisos de la Cumbre del Milenio, celebrada en Nueva York en septiembre del año 2000 (Presidencia de la República, 2015).

Además, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) tienen una serie de indicadores muy diversos, que abarcan todas las actividades del país. Así, por un lado, se tienen 219 Indicadores por entidad federativa, clasificados en 11 categorías que abarcan aspectos de calidad de vida, economía, educación, gobierno, información municipal, población, salud, sector agropecuario, seguridad, trabajo y vivienda (INEGI, 2019). Por otro lado, se tienen los indicadores de Bienestar, que son desarrollados para la iniciativa del “Índice para una vida mejor, midiendo el bienestar y el progreso (*Better Life Index*)” por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y las entidades federativas (INEGI, 2014); las categorías correspondientes a este conjunto de indicadores son similares (Tabla 6), la mayoría se repiten, pero se agrega la categoría de Medio Ambiente, aunque sólo se registra la polución del aire y la proporción de residuos vertidos en lugares adecuados.

Asimismo, el INEGI tiene el Banco de Indicadores que presenta en 21 categorías (INEGI, 2018a) que, entre sus categorías, incluyen la de Medio Ambiente y la de Transportes Correos y Almacenamientos. La primera, incluye una serie de indicadores relacionados a las prácticas ambientales, al uso del agua potable y el saneamiento, y a los residuos sólidos. Mientras que la segunda, incluye indicadores sobre ingresos, gastos, personal ocupado, unidades transportadas y parque vehicular de diferentes modos de transporte.

Finalmente, al revisar cada uno de los programas de las diferentes Secretarías de Estado del gobierno federal se pueden encontrar indicadores específicos, algunos relacionados con transporte. Sin embargo, un buen concentrador de los indicadores es el Catálogo Nacional de Indicadores (SNIEG, 2019) que es normado y coordinado por el INEGI; y que, a la fecha, ha incluido 315 indicadores clave. Los Indicadores del SNIEG son actualizados por 20 dependencias de la administración pública federal y cuatro órganos autónomos con el propósito de impulsar su uso y tener mejor conocimiento sobre la realidad del país. Los indicadores están divididos en cuatro temas, 109 indicadores conjuntados en el tema

Demográfico y Social, 90 en el Económico, 50 en el de Medio Ambiente y 66 en el tema de Gobierno, Seguridad Pública e Impartición de Justicia.

Sin embargo, a pesar de que incluyen las dimensiones del desarrollo sostenible, y que en su componente Medio Ambiente atiende temas relacionados a la atmósfera, al agua, al suelo, a la flora, a la fauna, a los residuos sólidos y a los residuos peligrosos; en temas de transporte, en estos indicadores sólo se pueden encontrar indicadores desde la perspectiva económica como el número de pasajeros o la carga transportados por ferrocarril.

Asimismo, la Secretaría de Desarrollo Social y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, elaboraron un documento que reúne indicadores sobre el conocimiento, el ordenamiento y a la caracterización del territorio, en sus diferentes componentes -natural, social, urbano-regional y económico- (Palacio-Prieto et al., 2004). Sin embargo, mientras que, en los países en crecimiento económico, como México, se han tenido avances en el diseño e implementación de los indicadores de sostenibilidad, principalmente de carácter ambiental, los países altamente industrializados han logrado implementar indicadores de sostenibilidad ambiental, y han surgido índices como la Huella Ecológica (*ecological footprint*) y el Índice de Desempeño Ambiental (*Environmental Performance Index*).

En cuanto a las asociaciones civiles, el IMCO (2019) generó un Índice de Movilidad Urbana (IMU), el cual mide y compara las condiciones y el grado de competitividad de la movilidad en veinte ciudades mexicanas, que comprende 203 municipios que concentran 43% de la población nacional y 68% de la actividad económica urbana. EL IMU contiene cien indicadores repartidos siete capítulos organizados de la siguiente manera:

1. Transporte seguro.
2. Accesibilidad y funcionamiento de la infraestructura urbana.
3. Contexto urbano.
4. Aire limpio.
5. Eficiencia y transparencia gubernamental.
6. Regulación y políticas públicas en favor de la movilidad.
7. Economía dinámica y competitiva.

## 2.4. Indicadores Internacionales para el transporte sostenible

En la literatura internacional existe gran cantidad de propuestas de indicadores de transporte sostenible. En la Tabla 7 se muestran diez indicadores para un transporte sostenible propuestos por la *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), estos tienen las características de cubrir las dimensiones de la sostenibilidad (social, ambiental y económica).

Tabla 7: Diez indicadores clave para un transporte más sostenible

Dimensión / Indicador	Objetivo de sostenibilidad subyacente	Tipo de indicador	Disponibilidad actual de datos
<b>Ambiente</b>			
Consumo de tierra por infraestructura de transporte (como% de la superficie total)	Evitar la expansión y destrucción del medio ambiente por la infraestructura de transporte	Efecto / impacto	Bajo
Transporte de emisiones de GEI per cápita	Reducir la contribución del transporte al cambio climático	Efecto / impacto	Medio
Porcentaje de población afectada por contaminantes atmosféricos locales (por ejemplo, concentración de PM <sub>10</sub> , emisiones de hidrocarburos no-metano [NMHC])	Reducir los efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente	Efecto / impacto	Medio
<b>Equidad / Social</b>			
Fatalidades viales	Reducir el número de personas muertas o heridas en accidentes de tránsito	Efecto / impacto	Alto
Participación modal de Transporte público y Transporte no motorizado	Fomentar modos de transporte que sean accesibles para una gran parte de la población y ambientalmente sanos	Consecuencia	Medio
Proporción del costo de transporte del gasto total del hogar	Proporcionar transporte asequible para todos los miembros de la sociedad	Consecuencia	Medio
<b>Economía</b>			
Impuestos mínimos sobre el combustible	Considerar los costos externos causados por el transporte basado en combustibles fósiles (especialmente el autotransporte)	Desempeño	Alto
Inversiones en transporte por modo	Preferentemente en modos de transporte que sean accesibles y respetuosos con el medio ambiente	Desempeño	Alto
Personas y toneladas por kilómetro por Producto Interno Bruto	Desacoplar el crecimiento económico de la demanda de transporte	Efecto / impacto	Medio
<b>Gobernanza</b>			
Planificación participativa del transporte	Involucrar al público en el proceso de decisión de políticas y proyectos de transporte	Desempeño	Bajo

Fuente: Bongardt et al. (2011, p. 8)

Por su parte, Sdoukopoulos et al. (2019) en una extensa revisión bibliográfica, reunieron 78 investigaciones sobre transporte sostenible en sus diferentes modalidades, en la que encontraron 2644 indicadores, que fueron clasificados por tema (Tabla 8), para posteriormente proponer un esquema alternativo de ponderación relativo a los índices. Este trabajo incluye una amplia gama de indicadores, que incluyen las tres dimensiones de la sostenibilidad -social, económico y ambiental- y situados en niveles espaciales tanto de carácter urbano como nacional.

Tabla 8. Temas tomados en consideración por la mayoría de las iniciativas examinadas por nivel espacial de referencia

Tema	Eje vial / Corredor	Urbano	Regional / Nacional
Accesibilidad		••	•
Asequibilidad		•	•
Emisiones contaminantes del aire	••	•	•••
Calidad del aire	••	•	
Consumo de energía de combustibles fósiles		•	
Transporte de mercancías			•
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero		•	•••
Impactos en la salud			•
Impactos a los hábitats			•
Infraestructura		•	•
Consumo de tierra			•
Movilidad	•••	••	••
Modos no motorizados		•	
Gasto público, inversiones y subvenciones en el sistema de transporte			•
Transporte público		•	
La seguridad	•••	•••	•••
Ruido de tráfico		•	•
Urbanismo y usos del suelo	••	•	
Residuos			•

• Tema incluido en el 50–65% de las iniciativas examinadas.

•• Tema incluido en el 66–80% de las iniciativas de indicadores.

••• Tema incluido en el 81–100% de las iniciativas de indicadores.

Fuente: Sdoukopoulos et al. (2019, p. 327).

Específicamente sobre transporte público, Santos y Ribeiro (2013) sintetizaron 14 investigaciones sobre indicadores urbanos sostenibles que incluyen transporte y proponen cerca de 20 indicadores de transporte sostenible aplicados al transporte urbano de pasajeros

(Tabla 9). En esta investigación, los autores clasifican los indicadores de acuerdo al número de veces que aparecen en los estudios; siendo los de mayor frecuencia, para la categoría ambiental, las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) per cápita y la exposición e impactos a la salud por la contaminación por ruido y aire; para la económica, la diversidad y calidad en los modos de transporte; y, para la social, la satisfacción por utilizar modos de transporte sostenible y las muertes o lesiones causadas por los accidentes de tránsito.

Tabla 9 Indicadores de sostenibilidad aplicados al transporte urbano de pasajeros

<b>Dimensión/Indicador</b>
<b>Ambiental</b>
Emisiones de CO <sub>2</sub> per cápita.
Consumo de suelo para infraestructura de transporte (carreteras, estacionamientos, etc.).
Consumo de energía per cápita, por combustible y modo.
Exposición a la contaminación atmosférica y acústica e impactos en la salud.
Viaje en vehículo por modo (no motorizado, automóvil y transporte público).
Densidad de uso de la tierra (personas y empleos por unidad de área de tierra).
<b>Económica</b>
Costos de congestión per cápita (tiempo total dedicado al tráfico).
Gastos totales de transporte (vehículos, estacionamientos, carreteras y servicios de tránsito).
Gastos del hogar asignados al transporte (% presupuesto).
Gastos en transporte para el gobierno local (anual, por PIB).
Transparencia de costos e inversiones Subvenciones nocivas y políticas fiscales verdes Diversidad del sistema de transporte / variedad de transporte.
<b>Social</b>
Calidad de transporte para personas desfavorecidas (discapacitados, bajos ingresos, niños, no conductores, etc.).
Acceso al transporte público (población servida por transporte público cerca de una estación de tren, metro, parada de autobús).
Muerte y heridos de accidentes de tráfico per cápita o persona / km.
Satisfacción de los ciudadanos y variedad y calidad de las opciones de transporte (senderismo, ciclismo, transporte compartido y transporte público).
Seguridad.
Salud.
Igualdad / equidad de género entre sociedades y grupos.

Fuente: Construido con base en Santos y Ribeiro (2013).

Así, ante la gran cantidad de indicadores propuestos, la selección de indicadores de sostenibilidad es un proceso influenciado por una variedad de factores técnicos y normativos. La adecuada selección de indicadores se convierte un reto debido a que los impactos pueden

variar por temporalidad<sup>3</sup> o de una escala geográfica a otra<sup>4</sup> (Perveen, Kamruzzaman y Yigitcanlar, 2018); además, de que los indicadores de transporte sostenible tienen que medir el progreso a lo largo del tiempo y deben incluir la dimensión social, ambiental y económica (Gilbert, Irwin, Hollingworth y Blais, 2003; Li et al., 2009; Santos y Ribeiro, 2013).

Asimismo, a pesar de que los indicadores deben crearse de manera específica para cada región y sistema de transporte, Bongardt et al. (2011) señalan que deben ser, preferentemente, compatibles con indicadores internacionales; creados de manera participativa por expertos y formuladores de políticas, para evitar problemas con la aceptación; deben corresponder a los objetivos de la sostenibilidad; e incluir información e interpretación cualitativa, que se refiere al entorno institucional, como la existencia de dependencias gubernamentales que se ocupen de temas de sostenibilidad. De esta forma, la selección de un indicador se basa en criterios establecidos internacionalmente, ya que se convierten en políticas públicas relevantes, accesibles e informativas que trascienden en fiables indicadores de transporte sostenible (Sdoukopoulos et al., 2019).

En este sentido, tomando en cuenta las recomendaciones internacionales y los factores que determinan las características propias de cada región, se deben seleccionar los indicadores que sean más convenientes para suscitar el desarrollo de la población. Y, específicamente, como métodos para seleccionar indicadores se pueden agrupar en seis grupos que se muestran en la Tabla 10.

Sin embargo, los indicadores para el transporte sostenible presentan el problema de que no pueden ser utilizados como un esquema de evaluación comparables a nivel mundial, ya que la mayoría de las naciones en crecimiento no cuentan con sistemas para la recolección de datos o porque no se han definido los objetivos de sostenibilidad en el transporte (Bongardt et al., 2011). Además, se tienen otras barreras para lograr un transporte sostenible, entre las que se encuentran las políticas, las legales e institucionales, las económicas, las financieras,

---

<sup>3</sup> Por ejemplo, el nivel de contaminación del transporte que a corto plazo no tiene efectos inmediatos, pero a largo plazo los efectos son muy perjudiciales.

<sup>4</sup> Por ejemplo, se tiene el efecto de la congestión que puede ser un problema en zonas urbanas, mientras que en zonas suburbanas no lo es necesariamente.

las individuales, las sociales, las metodológicas, las de capacidad, las comerciales y las de mercado (Dalkmann y Huizenga, 2010).

Tabla 10 Métodos usados para la selección de indicadores

Método	Fortalezas	Debilidades
Ponderación y agregación	Permite el intercambio entre indicadores	Resultados momentáneos o estáticos Falta de participación de los interesados
Análisis empírico (correlaciones y factores)	Comparación estadística de indicadores cuantitativos	Limitaciones en las aportaciones de la literatura para seleccionar indicadores y falta de participación de los interesados
Enfoque evaluativo y lógico para la compilación de indicadores de transporte sostenible (ELASTIC)	Se esfuerza por ser dirigido por las partes interesadas y no incorpora ninguna regla	Mayor sesgo para los indicadores con múltiples dimensiones de implicación
Procedimiento participativo (talleres, seminarios).	Participación directa de los ciudadanos y partes interesadas.	Conflictos de opiniones entre los interesados y los ciudadanos debido a malentendidos y respuestas superficiales
Revisión de literatura	Gran grupo de indicadores disponibles	No hay coherencia entre el conjunto de indicadores debido a diferentes escalas espaciales. Falta de participación de los interesados.
Técnica Delphi	Proceso iterativo, participación de partes interesadas multidisciplinares, anonimato (sin sesgo) o influencia de un experto en los resultados	Se necesita tiempo y esfuerzo para involucrar el número de expertos.

Fuente: Perveen et al (2018, p. 2).

No obstante, a pesar de las barreras para crear indicadores, los gobiernos alrededor del mundo cada vez más se concientizan y esfuerzan para lograr un transporte sostenible, por lo que las tendencias de movilidad se centran en desincentivar el uso del automóvil, promover los sistemas de transporte masivo, el transporte no motorizado y la eficiencia energética. En este sentido, la *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ) propone un enfoque para la movilidad sostenible, en la que se busca cambiar la forma tradicional de basarse en la demanda de transporte, y la provisión del espacio vial adicional, por el enfoque alternativo nombrado A-S-I (*Avoid/Reduce; Shift/Maintain; Improve*). Que consiste en *evitar o reducir* la necesidad de viajar, para lo que se debe lograr eficiencia del sistema, a través de la planificación inteligente de la infraestructura y el uso de suelo; *cambiar o mantener* los

modos de transporte hacia el transporte público o no motorizado, para lograr una eficiencia del viaje; y *mejorar* la eficiencia de vehículos y combustibles, para lograr la eficiencia en los vehículos.

Además, la Agencia Alemana de Cooperación Internacional, *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ, 2015, p. 1)*, indica diez acciones para un transporte sostenible, mismas que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 Acciones para un transporte sostenible de la GTZ.

No.	Acciones
1	Planear ciudades densas a escala humana.
2	Creando ciudades orientadas al transporte público.
3	Optimizar la malla vial y su uso.
4	Fomentar el caminar y el uso de la bicicleta.
5	Implementar mejoras en el transporte público.
6	Controlar el uso de vehículos.
7	Gestionar el estacionamiento.
8	Promover vehículos limpios.
9	Comunicar soluciones.
10	Abordar los retos de manera exhaustiva.

Fuente: GTZ(GTZ, 2015, p. 1),

## 2.5. Resumen analítico

Este capítulo inicia mostrando la importancia de los sistemas de transporte en las actividades diarias de la población, por lo que ya, desde hace varias décadas, se ha planteado que “el reto sustantivo del análisis de los sistemas transporte es intervenir, delicada y deliberadamente, en el complejo tejido de una sociedad para usar el transporte de manera efectiva, en coordinación con otras acciones públicas y privadas, para lograr las metas de una sociedad” (Manheim, 1979, p. 4). Así, debido a la importancia en la sociedad y los impactos que generan los modos de transporte, se plantea un marco teórico sobre la forma en que se analizan los sistemas de transporte, con el propósito de ayudar a entender el nivel de utilización de cada modo de transporte en una localidad y la interacción entre la oferta y la demanda.

Además, los sistemas de transporte deben ser concebidos bajo un enfoque de sostenibilidad, considerando sus dimensiones social, económica y ambiental; así, se entiende al transporte

sostenible, como aquel que genera “bajas emisiones de carbono, proporciona una infraestructura y una operación económicamente viables que ofrece un acceso seguro tanto para las personas como para los bienes, a la vez que reduce los impactos negativos a corto y largo plazo, en los entornos locales y globales” (Dalkmann y Huizenga, 2010, p. 13).

Así, una vez que se plantearon las bases conceptuales del transporte sostenible y la forma en que se analizan los sistemas de transporte, es necesario conocer el estado actual de los indicadores de sostenibilidad y, específicamente, los relacionados a los sistemas de transporte. De manera deductiva, se inicia mostrando los indicadores de sostenibilidad y los indicadores de transporte sostenible que se han utilizado alrededor del mundo; para posteriormente particularizar en los indicadores utilizados en México. De esta forma, los indicadores de sostenibilidad se han clasificado principalmente en indicadores de sostenibilidad débil y fuerte (Arias, 2006); los primeros, entendidos como aquellos que tratan de estimar el detrimento de los recursos naturales en términos económicos; y, los segundos, los que buscan medir la capacidad de la economía humana de mantener el capital crítico; este último, entendido como las funciones que no son reemplazables por el capital hecho por lo humanos y que son esenciales para la vida -como las especies vivas o la capa de ozono- (Van Hauwermeiren, 1999). Aunque estos indicadores ayudan a comprender o dar seguimiento a la depredación ecológica de los seres humanos, las metas y sus indicadores propuestos a nivel internacional por las Naciones Unidas, están contenidos en los Objetivos del Milenio. De aquí que, los indicadores de sostenibilidad en México son alineados con estos objetivos.

En cuanto al transporte sostenible, en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) se muestran indicadores sobre el transporte; aunque solo se consideran dos categorías, la infraestructura y los vehículos; y el consumo de energía y emisiones contaminantes del sector transporte (Tabla 6). Además, de que se tiene un índice de movilidad urbana -que mide las alternativas de transporte atractivo y deseable para la población de algunas ciudades en México (IMCO, 2019)-; este índice que contiene algunos indicadores que pueden ayudar a medir la sostenibilidad en un sistema de transporte, pero que va enfocado a medir la movilidad total en un ciudad, y no está diseñado para medir específicamente un sistema de transporte específico.

De esta forma, a nivel internacional hay investigaciones en las que se encontraron 2644 indicadores relacionados al transporte sostenible (Sdoukopoulos et al., 2019) o, específicamente, para el transporte urbano de pasajeros, y se proponen 20 indicadores de sostenibilidad (Santos y Ribeiro, 2013). A pesar de que estos indicadores, también, son aplicables de manera general a la movilidad de una ciudad, pueden ser utilizados como base para particularizar en un modo de transporte, y ayudar a la construcción de un índice para medir la sostenibilidad en un sistema de transporte específico y, así, analizar su desempeño en cuanto a la sostenibilidad, y comparar y evaluar de forma objetiva los diferentes modos de transporte. Así, se considera que para crear un índice que permita evaluar la sostenibilidad en modo de transporte específico, se deben considerar los indicadores de transporte sostenible (Bongardt et al., 2011; Santos y Ribeiro, 2013; Sdoukopoulos et al., 2019), y crear escalas de manera estandarizada que faciliten la comparación. En este sentido, de manera sintetizada, las categorías que deben ser exploradas se pueden agrupar de acuerdo con la y, partir de estas categorías, indagar en los estándares y unidades de medición.

# Capítulo 3

---

---

## Marco Metodológico

# Capítulo 3

---

## 3. Marco Metodológico

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), sin considerar los viajes caminando, se generan diariamente 23.41 millones de viajes (INEGI, 2017a). Esta cifra aumentó cerca de 6.89% en la década comprendida entre el año 2007 y 2017, y la cifra continúa en aumento. Además, estos viajes se realizan en un sistema de transporte obsoleto, con gran proporción de transporte privado (31.14%) y, por tanto, con altos costos sociales. Es así como las externalidades y, principalmente, las emisiones contaminantes que se generan ponen en riesgo la salud de la población y contribuyen a la degeneración ambiental y al cambio climático mundial.

En cuanto a la dimensiones social y económica, los costos directos y las externalidades tienen la misma importancia que los efectos de la dimensión ambiental. A pesar de no tener muchas consecuencias globales, los efectos sociales y económicos del transporte público van desde altos costos monetarios para las y los usuarios, hasta las muertes que ocasionan los cerca de 13 accidentes diarios que ocurren tan solo en el transporte público de la Ciudad de México (Berrones Sanz, 2014). No obstante, a pesar de que estos indicadores pueden ser observados con relativa facilidad, los modos de transporte en la Ciudad de México son comparados con base en frecuencias absolutas, por lo que no es claro el desempeño de cada uno de estos sistemas.

Es así como, se requieren indicadores que permitan evaluar de manera integral, considerando su desempeño, y bajo las dimensiones de la sostenibilidad a los sistemas de transporte. En este sentido, la literatura internacional indica que los indicadores relativos al transporte se encuentran, por lo general, en el ámbito espacial de nivel nacional o urbano (Sdoukopoulos et al., 2019). Esto crea un vacío en el conocimiento ya que, a pesar de haber más de 2,600 indicadores, se evalúa el impacto ambiental, social o económico desde una perspectiva regional, pero no permite identificar en qué medida un modo de transporte es más sostenible en comparación con otro.

Específicamente en México, son pocos los indicadores sobre transporte y la mayoría son de carácter ecológico (Tabla 5 y Tabla 6). Sólo se conoce uno que incluye las tres dimensiones

de la sostenibilidad, el Índice de Movilidad Urbana (IMCO, 2019) y, como su nombre lo indica, evalúa la forma en que las personas se desplazan en las ciudades mexicanas. Es decir, es un indicador del ámbito urbano, por lo que no permite comparar o evaluar los modos de transporte de manera individual. Así, resulta importante un conjunto de indicadores (o índice<sup>5</sup>) que faciliten la evaluación de los diferentes modos de transporte desde una perspectiva de sostenibilidad, de tal manera que los sistemas puedan ser evaluados y comparados, para que las y los diferentes interesados o agentes implicados puedan tomar decisiones respecto a su operación, implementación o modificación.

De esta forma, esta investigación tiene el propósito de proponer un índice de sostenibilidad que permita mostrar los cambios y avances de las y los prestatarios del servicio de transporte público, y que puedan ser utilizados para tomar acciones encaminadas a lograr modos de transporte alineados al desarrollo sostenible. Así, en este capítulo se aborda el marco metodológico; por lo que aquí se muestra el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, el objetivo y la justificación de la investigación; elementos que de forma resumida se pueden observar en la Tabla 15. Además de que se definen las variables, se explica la forma de aplicación de la encuesta y se indica el tamaño muestral. Finalmente, en la Figura 5 se incluye un diagrama de las variables (con sus indicadores) para describir de forma resumida la operacionalización de variables.

### **3.1. Planteamiento del problema**

Desde hace varias décadas, la contaminación ambiental ha sido una preocupación constante para las diferentes naciones alrededor del mundo. Es así como, en 1997, se realizó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y se acordó la reducción de al menos un 5% de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, de acuerdo con el Banco Mundial (WBG, 2019), más de 20 años después la emisión de estos gases ha aumentado arriba de 50% (de 23.97 a 36.13 miles de millones de toneladas de equivalentes

---

<sup>5</sup> Según Mitchell (1996), un indicador es una herramienta que permite obtener información sobre una realidad determinada. La diferencia con el índice es que este es el valor agregado final de todo un procedimiento de cálculo, donde incluso se utilizan indicadores como variables que lo componen Siche, Agostinho, Ortega y Romeiro (2007).

de Bióxido de Carbono, CO<sub>2</sub> eq. en 1997 y 2014 respectivamente) por lo que algunos ecosistemas vitales, como los arrecifes de coral o el deshielo del Ártico, se enfrentan a una situación crítica debido a los cambios climáticos irreversibles que se han causado.

En este sentido, uno de los sectores que más han contribuido a las emisiones contaminantes es el relacionado a la industria del transporte. Se sabe que, alrededor del mundo, más de 53% del consumo primario de petróleo es utilizado para satisfacer la demanda de energía de este sector (Sims et al., 2014). Asimismo, en México, el transporte tiene una participación de 62% de los 234 Tera gramos de emisiones de CO<sub>2</sub> eq. y su crecimiento ha sido impulsado, principalmente, por el consumo de combustibles en el autotransporte que representa 92% del total (Irastorza Trejo y Fernández Martínez, 2010). Así, el crecimiento de las tasas de motorización y las políticas públicas que privilegian el transporte privado ante el colectivo, el rezago tecnológico en los sistemas de propulsión y la utilización de energías limpias, la antigüedad de la flota vehicular, la desorganización en el transporte público y los fallidos programas de restricciones a la circulación, entre otros; hacen que las ciudades tengan grandes retos en cuestiones de movilidad para disminuir los altos costos sociales y el costo generalizado de transporte, compuesto por los factores que incluyen el costo financiero, el costo temporal y los factores cualitativos.

Para enfrentar los retos de la movilidad, las ciudades tienen que promover un sistema de transporte integral que cubra las necesidades sociales, económicas y ambientales. De esta forma, para mejorar las condiciones de un sistema de transporte se requiere un método que, de manera integral, permita evaluar o comparar el nivel de sostenibilidad de los diferentes modos de transporte. Los indicadores de transporte sostenible son las herramientas que cumplen con estas tareas.

No obstante, los indicadores deben crearse de manera específica para cada región y sistema de transporte, tienen que ser compatibles con indicadores internacionales (Bongardt et al. (2011), creados de manera participativa por expertos y formuladores de políticas para evitar problemas con la aceptación, deben corresponder a los objetivos de la sostenibilidad, e incluir información e interpretación cualitativa; es decir lo que se refiere al entorno institucional, como la existencia de dependencias gubernamentales que se ocupen de temas de sostenibilidad. De esta forma, la selección de un indicador se basa en criterios establecidos

internacionalmente, ya que se convierten en políticas públicas relevantes, accesibles e informativas que trascienden en fiables indicadores de transporte sostenible (Sdoukopoulos et al., 2019).

Sin embargo, los indicadores para el transporte sostenible presentan el problema de que no pueden ser utilizados como un esquema de evaluación comparables a nivel mundial, ya que la mayor parte de los países en desarrollo carecen de sistemas para la recolección de datos o porque no se han definido los objetivos de sostenibilidad en el transporte (Bongardt et al., 2011). Además, se tienen otras barreras para lograr un transporte sostenible, entre las que se encuentran las políticas, las legales, las institucionales, las económicas, las financieras, las individuales, las sociales, las metodológicas, las de capacidad, las comerciales y las de mercado (Dalkmann y Huizenga, 2010). En este sentido, se presenta el reto de crear un índice de sostenibilidad, que permita evaluar los diferentes modos de transporte en términos de las dimensiones del desarrollo sostenible.

### **3.2. Enunciado del problema**

En México hay una serie de indicadores relacionados al transporte, principalmente, de carácter ambiental (Tabla 5 y Tabla 6). Sin embargo, a la fecha no se ha determinado una manera de evaluar y comparar de manera integral -en todas las dimensiones de la sostenibilidad- a los diferentes modos de transporte; por lo que se dificulta la tarea de planear, controlar y mejorar el transporte en términos de sostenibilidad, Así, se presenta el problema de que:

“no se han integrado los factores, ni determinado las ponderaciones, que deben considerarse para integrar un índice<sup>5</sup> para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México”.

### **3.3. Justificación**

Desde una perspectiva subjetiva, el análisis de los sistemas de transporte ha estado presente tanto en mi educación superior (ingeniería en transporte) y de posgrado (maestría en sistemas-transporte), como en mi experiencia profesional. En este contexto, he podido constatar los efectos del transporte desde diferentes puntos de vista: desde el punto de vista del oferente y desde el punto de vista del demandante del servicio. Así, he confirmado el

innegable papel social, económico y ecológico del transporte; y su importancia para la sociedad, y para las empresas públicas y privadas.

No obstante, a pesar de que los efectos y los costos sociales de los sistemas de transporte son reconocidos por las y los agentes implicados, y que la sostenibilidad ha tomado relevancia en las últimas décadas; he podido observar que las empresas y las y los tomadores de decisión carecen de instrumentos que objetivasen la evaluación en términos de sostenibilidad y que al mismo tiempo permitan comparar diferentes modos de transporte. Asimismo, de manera general, he distinguido que en el ámbito empresarial, tanto público como privado -y durante la planeación, organización, dirección y control de los sistemas de transporte- se tiende a confundir las buenas prácticas ambientales con la sostenibilidad.

En este sentido, estos antecedentes personales han motivado este trabajo de investigación para indagar en un instrumento que facilite, en términos de sostenibilidad, la gestión de la oferta del servicio de transporte; de tal manera que faciliten el análisis y comparación de sus características, y que permita tomar acciones para lograr modos de transporte alineados a las necesidades al desarrollo sostenible; no solo en el aspecto ecológico sino, de manera integral, en las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la social, la económica y la ambiental.

Bajo este contexto, surge esta investigación en la que se realiza una propuesta de índice de sostenibilidad para el transporte público de la Ciudad de México. Con esto, se pretende obtener un instrumento que sea utilizado por las y los planeadores urbanos y administradores del transporte para promover sistemas que mejoren la calidad de vida de la población. Así, la propuesta de índice podrá ser empleada para comparar sistemas de transporte público y ayudar a la toma de decisiones; desde una conveniencia social medida de forma objetiva, valorando su impacto al medio ambiente; pero cuidando la seguridad y bienestar de las personas, incluyendo a las y los usuarios y a las y los trabajadores.

Además, el índice de sostenibilidad para el transporte público de la Ciudad de México podría ser utilizado como referente para las y los usuarios en el momento de la selección modal. A pesar de las limitaciones en la oferta de transporte, el índice permitirá que las y los usuarios tengan información objetiva sobre los efectos ambientales, la calidad del servicio, la velocidad y la seguridad durante su operación.

Para las empresas de servicios de transporte público, el índice de sostenibilidad podrá ser utilizado como instrumento de mejora continua. De esta forma, no sólo se promoverá y se permitirá una gestión más eficiente, sino que se podrá medir y evaluar en qué forma van teniendo avances en términos de sostenibilidad, contrastar sus progresos frente a su utilidad, comparar con otros modos de transporte y, en general, lograr sistemas de transporte sostenibles.

De esta forma, la investigación sobre el índice de sostenibilidad para el transporte público de la Ciudad de México resulta *conveniente* debido a que, a la fecha, en México no se ha determinado un sistema que permita evaluar y comparar el nivel de sostenibilidad de los sistemas transporte. En la Ciudad de México, es común que los modos de transporte sean evaluados de manera negativa y que, en general, se perciba un mal servicio de transporte (Delgado, 2016). Sin embargo, a pesar de que existen sondeos de opinión que confirman la inconformidad de los usuarios (Arteaga García, 2009), no hay instrumentos que estandaricen la evaluación, medición o comparación de la sostenibilidad en los diferentes modos de transporte. Así, esta investigación, permitirá contribuir con un instrumento que permita medir de manera cuantitativa la sostenibilidad de los diferentes modos de transporte.

Se espera que la investigación planteada contribuya con dos problemas de conocimiento o de *valor teórico*: la información documentada y la interpretación. De *información documentada*, ya que existe gran cantidad de información acerca de los indicadores de sostenibilidad, pero que se enfocan en temas generales de movilidad y no específicamente sobre los modos de transporte; por lo que no hay instrumentos que permitan evaluar los diferentes sistemas de transporte en México. Y de *interpretación*, porque la mayor parte de las y los agentes implicados, principalmente las y los productores del servicio de autotransporte conciben la sostenibilidad como temas estrictamente ecológicos o de medio ambiente, por lo que dejan de lado la dimensión social y económica de los sistemas de transporte.

Asimismo, se pretende que el índice de sostenibilidad del transporte tenga *implicaciones prácticas* y sea utilizado por las autoridades gubernamentales (Secretaría de Movilidad) y transportistas (productores del servicio de transporte) como instrumento de referencia para evaluar y facilitar la mejora continua del servicio de transporte público. Posteriormente, la

metodología utilizada en la aplicación del índice de sostenibilidad para el transporte público podría ser empleada para evaluar los sistemas de transporte de cualquier ciudad, por lo que la propuesta del índice tendrá *utilidad metodológica*. En suma, el índice de transporte sostenible es un instrumento que facilitará el análisis y la comparación de los factores requeridos para lograr que un sistema de transporte se alinee a las necesidades del desarrollo sostenible.

### **3.4. Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

La presente investigación analiza los indicadores de sostenibilidad, con respecto a un marco referencial que integra planteamientos teóricos relacionados con el análisis de los sistemas de transporte urbano de la Ciudad de México; y mediante una investigación explicativa-causal y un análisis mixto predominantemente cuantitativo, pero de forma complementaria con evaluaciones e interpretaciones cualitativas, con el propósito de identificar las causas que determinan los mayores problemas de sostenibilidad en los sistemas de transporte, de tal manera que se tengan las bases para lograr el siguiente objetivo:

*Determinar los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México, de tal manera que sirva como instrumento para analizar y comparar las condiciones necesarias, y que permita tomar acciones para lograr modos de transporte alineados a las necesidades del al desarrollo sostenible.*

#### **Objetivos específicos**

- a) Analizar la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y las tendencias globales en materia de transporte sostenible.
- b) Definir los planteamientos teóricos sobre el análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad.
- c) Identificar las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad.
- d) Establecer los factores de sostenibilidad en el transporte público y los datos necesarios para su determinación.

- e) Determinar los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público.

### **3.5. Preguntas de investigación**

#### **Pregunta general de la investigación**

¿Cuáles son los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México?

#### **Preguntas específicas de la investigación**

- a) ¿Cuál es la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y cuáles son las tendencias globales en materia de transporte sostenible?
- b) ¿Cuáles son los planteamientos teóricos sobre el análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad?
- c) ¿Cuáles son las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad?
- d) ¿Cómo se deben establecer los factores de sostenibilidad en el transporte público y cuáles son los datos necesarios para su determinación?
- e) ¿Cómo se deben determinar los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público?

### **3.6. Planteamiento de hipótesis**

Para la investigación, se plantea la siguiente hipótesis general:

“Los factores y sus ponderaciones tienen una relación explicativo-causal para la integración de un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México”.

### 3.7. Identificación y definición de variables

La propuesta del índice de sostenibilidad en el transporte público tiene una relación causal del tipo  $C_i \cdot X_i \rightarrow Y$ , por lo que las variables pueden ser clasificadas como dependientes, independientes, e intervinientes<sup>6</sup>.

Para esta investigación, la variable dependiente ( $Y$ ) es el valor resultante, que mide el grado de sostenibilidad en el transporte; en otras palabras, es el valor que toma el Índice de sostenibilidad en el transporte público y cuyo dominio de esta variable incluye todos los números comprendidos entre cero y uno  $[0,1]$ . La operacionalización de la variable independiente se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12 Operacionalización de la variable independiente.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional
Sostenibilidad en el transporte	El transporte sostenible es aquel que genera “bajas emisiones de carbono, proporciona una infraestructura y una operación económicamente viables que ofrece un acceso seguro tanto para las personas como para los bienes, a la vez que reduce los impactos negativos a corto y largo plazo, en los entornos locales y globales” (Dalkmann y Huizenga, 2010, p. 13).	Es el valor entre cero y uno $[0,1]$ que mide en el traslado de personas el grado en que se logra el equilibrio entre el cuidado el medio ambiente, la calidad de vida de las personas y la eficiencia en la generación de la riqueza.
Dimensión	Indicador	Número de ítems*
Ambiental	Contaminación al aire.	1,2,3,4,5,6,7,8
	Contaminación acústica.	1,9,10,11,12,13,14,15
	Contaminación del agua y tierra.	2,9,16,17,18,19,20,21
Económica	Facilidad de acceso al transporte público.	3,10,16,22,23,24,25,26
	Desigualdades en los sistemas de transporte	4,11,17,22,27,28,29,30
	Salud y bienestar de los usuarios de transporte	5,12,18,23,27,31,32,33
Social	Fatalidades y lesiones por accidentes de tránsito.	6,13,19,24,28,31,35,36
	Víctimas de violencia o delincuencia.	7,14,20,25,29,32,34,36
	Puestos de trabajo que cumplen con los derechos laborales.	8,15,21,26,30,33,35,36

\*Corresponden a los ítems del cuestionario (Anexo A).

Fuente: Elaboración propia.

<sup>6</sup> De acuerdo con Espinoza (2018) se consideran variables intervinientes a “aquellas que pueden influir directamente sobre la variable dependiente y en los estudios experimentales son manipuladas por el investigador” (p. 44).

La variable interviniente ( $C_i$ ) representa los valores que toman cada uno de los nueve criterios de sostenibilidad en el transporte público ( $\forall i=1,\dots,9$ ); mismos que fueron categorizados con el marco teórico conceptual y a través del análisis de términos que aparecen con más frecuencia en las investigaciones sobre indicadores de transporte sostenible (ver Figura 9). Su valor se encuentra entre cero y cien por ciento y corresponde a la ponderación de los criterios de sostenibilidad en el transporte que fueron obtenidos con la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés de *Analytic Hierarchy Process*) (ver tema 3.8). Sus indicadores y la operacionalización de la variable interviniente se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Operacionalización de la variable interviniente.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional
Ponderación relativa	La ponderación o pesos se refiere a la importancia que se atribuye a cada uno de los factores (Márquez, 1999).	La ponderación relativa de los factores de sostenibilidad en el transporte es la importancia atribuida a cada factor de sostenibilidad en el transporte. En la propuesta de índice representa un porcentaje en formato decimal, sirven como coeficientes, y son calculados con los criterios de los expertos a través de la técnica del Proceso de Análisis Jerárquico.
Dimensión	Indicador	Número de ítems*
Ambiental	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km).	1,2,3,4,5,6,7,8
	Generación de ruido ( $\geq 65$ db).	1,9,10,11,12,13,14,15
	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.).	2,9,16,17,18,19,20,21
Económica	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA).	3,10,16,22,23,24,25,26
	Velocidad comercial (Tiempo de tránsito y tiempo de espera).	4,11,17,22,27,28,29,30
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.).	5,12,18,23,27,31,32,33
Social	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas).	6,13,19,24,28,31,35,36
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales).	7,14,20,25,29,32,34,36
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones).	8,15,21,26,30,33,35,36

\*Corresponden a los ítems del cuestionario (Anexo A).

Fuente: Elaboración propia.

La variable independiente ( $X_i$ ) simboliza a cada uno de los factores obtenidos a través del registro de datos correspondientes a cada modo de transporte (Anexo B) y algunos cálculos requeridos (Ver tema 4.1). Los indicadores y la operacionalización de la variable independiente se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Operacionalización de la variable independiente.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional
Factores	Un factor es "conjunto de variables que tienen relación de integración entre sí" (Caballero Romero, 2014, p. 211).	Los factores de sostenibilidad en el transporte son un conjunto de variables conformadas por datos e indicadores, correspondientes a cada modo de transporte a evaluar, y que se multiplican por la ponderación relativa.
Dimensión	Indicador	Número de ítem*
Emisiones contaminantes	Tipo de Energía o combustible ( $E$ ).	B1
	Pasajero por viaje-año ( $pas-año$ ).	B2
	Cantidad de energía o combustible utilizado ( $VC$ ).	B3
	Factor de emisión ( $FE$ ).	B4
	Poder calorífico ( $PC$ ).	B5
Generación de ruido	Nivel del ruido en puntos fijos ( $LA_{ni}$ ).	B6
	Nivel del ruido en puntos móviles ( $LA_{ob}$ ).	B7
Eliminación de residuos	Residuos peligrosos ( $H_w$ ).	B8
	Residuos especiales ( $S_w$ ).	B9
	Desecho de vehículos ( $V_s$ ).	B10
Asequibilidad	Tarifa ( $T_f$ ).	B11
	Salario mínimo diario ( $D_w$ ).	B12
Velocidad comercial	Distancia total de ciclo ( $d_c$ ).	B13
	Tiempo total del ciclo ( $t_c$ ).	B14
Calidad en el transporte	De la norma UNE-EN 13816 ( $Q_{une}$ ).	B15
	De la norma ISO ( $Q_{iso}$ ).	B16
Accidentes de tránsito	Fatalidades causadas en tránsito ( $A_{ff}$ ).	B17
	Lesiones causadas en tránsito ( $A_{fi}$ ).	B18
	Daños materiales causados por el tránsito ( $A_{fp}$ ).	B19
Actos violentos	Delitos violentos denunciados ( $Of_v$ ).	B20
	Delitos contra la propiedad denunciados ( $Of_p$ ).	B21
	Arrestos por ofensas o desorden público ( $Of_a$ ).	B22
Condiciones laborales	Tiempo de trabajo limitado ( $\leq 9hr/día$ ) ( $L_{wt}$ ).	B23
	Dispone de Seguridad social ( $S_s$ ).	B24

\*Corresponden a los ítems de la cédula de datos (Anexo B).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para concluir este acápite, se muestra la Matriz de Consistencia Metodológica (Tabla 5). Vera y Lugo indican que la matriz de consistencia “consiste en presentar y resumir en forma adecuada, general y sucinta los elementos básicos del proyecto de investigación, la cual mide, evalúa y presenta una visión panorámica de los principales elementos del proyecto de investigación” (2016, p. 1).

Así, la Tabla 5 proporciona una perspectiva general de la investigación y facilita revisar si se está siendo coherente entre el problema de la investigación, los objetivos, la hipótesis y las variables. Además de que se puede ver de manera resumida las variables dependiente, interviniente e independiente, entre las que se incluyen la Sostenibilidad en el transporte (variable dependiente), la ponderación de factores de Sostenibilidad en el transporte y los Factores de Sostenibilidad en el transporte.

Al respecto, la Figura 5 muestra un diagrama de las variables y sus indicadores para describir de manera más detallada la relación que existe entre las dimensiones de la sostenibilidad, los datos requeridos, así como los factores y coeficientes que conforman el Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público. En suma, con este organizador gráfico se muestra de manera resumida la operacionalización de las variables y sus interrelaciones.

Tabla 15. Matriz de Consistencia Metodológica.

<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Operacionalización</b>	
<p>¿Cuáles son los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México?</p>	<p>Determinar los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México.</p>	<p><b>Variabes e indicadores</b> -Sostenibilidad en el transporte (variable dependiente).</p>	
<p><b>Problemas secundarios</b></p> <p>¿Cuál es la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y cuáles son las tendencias globales en materia de transporte sostenible?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Analizar la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y las tendencias globales en materia de transporte sostenible.</p>	<p>-Ponderación de factores de Sostenibilidad en el transporte. W1: Ponderación factor 1. W2: Ponderación factor 2. W3: Ponderación factor 3. W4: Ponderación factor 4. W5: Ponderación factor 5. W6: Ponderación factor 6. W7: Ponderación factor 7. W8: Ponderación factor 8. W9: Ponderación factor 9.</p>	<p><b>Método</b> -Enfoque mixto. -Observacional y de tipo transversal. -Explicativa-causal.</p>
<p>¿Cuáles son los planteamientos teóricos sobre el análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad?</p>	<p>Definir los planteamientos teóricos sobre el análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad.</p>	<p><b>Hipótesis</b> Los factores y sus ponderaciones tienen una relación explicativo-causal para la integración de un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México.</p>	
<p>¿Cuáles son las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad?</p>	<p>Identificar las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad.</p>	<p>-Factores de Sostenibilidad en el transporte. X1: Emisiones contaminantes. X2: Generación de ruido. X3: Eliminación de residuos. X4: Asequibilidad. X5: Velocidad Comercial. X6: Calidad en el servicio de transporte. X7: Accidentes de tránsito. X8: Crimen y seguridad personal. X9: Condiciones laborales.</p>	
<p>¿Cómo se deben establecer los factores de sostenibilidad en el transporte público y cuáles son los datos necesarios para su determinación?</p>	<p>Establecer los factores de sostenibilidad en el transporte público y los datos necesarios para su determinación.</p>		
<p>¿Cómo se deben determinar los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público?</p>	<p>Determinar los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público.</p>		

Fuente: Elaboración propia.

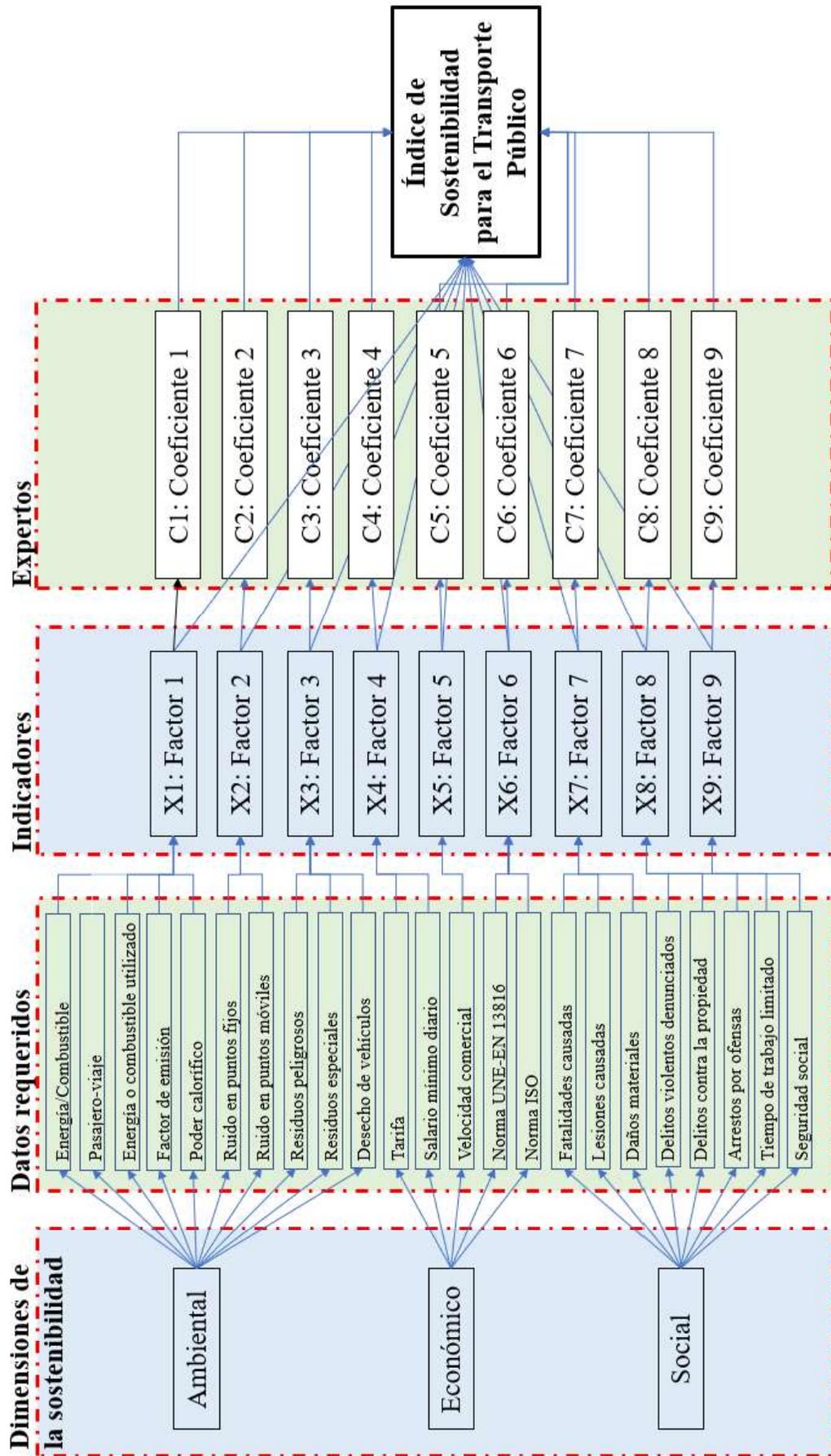


Figura 5. Diagrama de operacionalización de variables.

### 3.8. Método de investigación

Esta investigación que tiene por propósito determinar los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México es de tipo fáctica, explicativa y causal.

Es *fáctica* por que el objeto de la investigación es un fragmento concreto de la realidad del transporte público de la Ciudad de México, evaluado durante el año 2021; a la que se aplican los planteamientos teóricos relacionados con el análisis de los sistemas de transporte, el desarrollo sostenible, el transporte y los indicadores de sostenibilidad que, entre otros subfactores, componen el marco conceptual.

Es *explicativa* debido a que, no sólo se busca explorar y determinar los factores y características para integrar un índice de sostenibilidad sino que, se orienta a identificar las causas y condiciones en las que se relacionan los factores de los sistemas de transporte que determinan la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México.

Y es *causal* porque a través del análisis de las variables del problema, el contexto y el marco conceptual se planteó la hipótesis y se investiga la relación entre los factores del transporte y la sostenibilidad.

### 3.9. Tipo y diseño de la investigación

En un inicio, la investigación tuvo un enfoque *cualitativo* que consistió en el análisis de la literatura que se extrajo de revistas indexadas en bases de datos de la *Web of Science* y *Scopus*, entre otras, y obtenidos a través del Consorcio Nacional de Recursos de Información y Tecnología (Conricyt). Además, se realizó una búsqueda de los indicadores existentes en el país utilizando la *World Wide Web* y a través de sitios de dependencias oficiales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), entre otros. Con esto se identificó el marco teórico y se definió el problema, los objetivos y la hipótesis.

Específicamente, para la elección de los indicadores se llevó a cabo un análisis de términos, se formaron fichas bibliográficas y se buscaron asociaciones entre las palabras. Con esto se agruparon los indicadores que, seguidamente, fueron discriminados de acuerdo con el criterio

de tener información disponible, o de fácil acceso, en los sistemas de transporte de la Ciudad de México.

Asimismo, después de identificar los factores y los indicadores relacionados al transporte sostenible, se concentraron registros y estadísticas acerca de los factores que, no sólo sirvieron como referencia sino que, fueron empleados para establecer los límites para normalizar las variables. Posteriormente, se elaboró el cuestionario (Anexo A) que se envió por medios electrónicos a un conjunto de expertos relacionados al transporte sostenible. Con los resultados se realizó un procedimiento matemático (Proceso Analítico Jerárquico) y se obtuvieron los pesos relativos de cada una de las variables. Asimismo, se elaboró una cédula de datos (Anexo B) para facilitar la recopilación y el registro de información correspondiente a cada uno de los modos de transporte.

En suma, el enfoque de esta investigación es de tipo *mixto*; ya que, aunque predomina el análisis cuantitativo, de forma complementaria se realizaron evaluaciones e interpretaciones cualitativas.

### **3.10. Diseño de la ejecución del plan como desarrollo de la investigación**

El diseño de la investigación se divide en cinco partes, mismas que se pueden observar en la Figura 6. La primera parte es concerniente al contexto del problema, aquí se señala la realidad en la que se encuentra el transporte público de la Ciudad de México y las tendencias mundiales en cuestión de movilidad sostenible como base para analizar el objeto de la investigación.

En la segunda parte, se describió el marco referencial sobre la manera en que se debe realizar el análisis de los sistemas de transporte. Además, en esta sección se consideró y se conceptualizó el transporte sostenible, y luego se presentó el estado actual de los indicadores de transporte sostenible; mostrando los indicadores de sostenibilidad que se utilizan en México y otras partes del mundo, y las técnicas utilizadas para la selección de indicadores.

El marco contextual y de referencia sirvieron como base para elaborar el tercer punto, el marco metodológico. En esta sección, además de mostrar el planteamiento del problema, la

pregunta de investigación, el objetivo y la justificación; también, se describen los métodos de trabajo que incluyen la forma en que se recolectaron y se analizaron los datos.

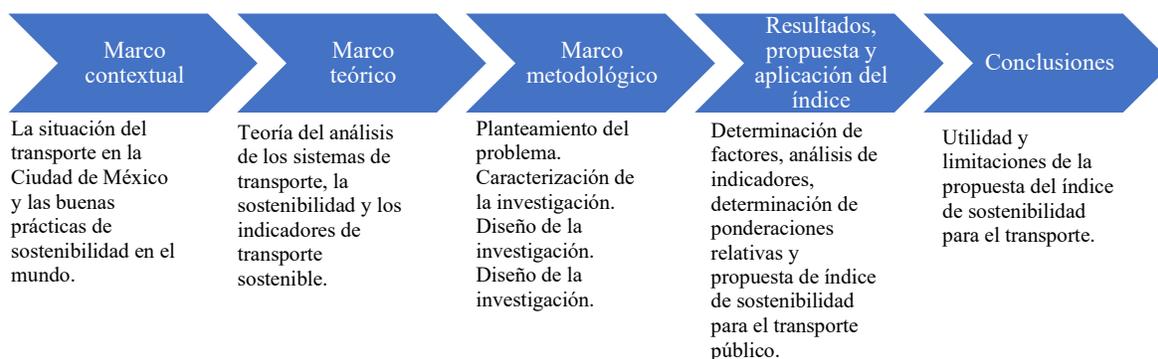


Figura 6. Diseño de la investigación

Fuente: elaboración propia.

En la cuarta etapa se describen los resultados de la elección de los indicadores. Esto se llevó a cabo con un análisis de términos y un agrupamiento jerárquico que, además, sirvió para crear categorías en la construcción del índice propuesto. Asimismo, se creó un instrumento (cuestionario del Anexo A) para hacer comparaciones de importancia relativa entre los indicadores; y, con el propósito de aplicar el Proceso Analítico Jerárquico, se envió a profesionales del transporte, sostenibilidad, urbanismo, entre otros especialistas. Posteriormente, los datos fueron procesados y analizados, y se utilizó el software R para realizar los cálculos de las ponderaciones relativas y, con los pesos, construir la propuesta de índice de sostenibilidad para el transporte público.

En la quinta parte se interpretan los datos obtenidos en relación con el objetivo, la hipótesis y el estado actual de los indicadores de transporte sostenible, es decir, se realiza un análisis y se da significado a los resultados que se obtuvieron en la investigación para, finalmente, plantear propuestas y futuras líneas de trabajo. En suma, se aborda la discusión y las conclusiones de la investigación.

### 3.11. El universo y la muestra

Se recopiló información y se formó un directorio con más de seiscientas personas consideradas con cierto grado de experiencia en tópicos de transporte, energía, desarrollo urbano y sostenibilidad, y que trabajan tanto en el sector privado como en el público; como

por ejemplo en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), y la Secretaría de Energía, entre otras; además de académicos y consultores especialistas en el área.

Así, el universo de estudio se conformó por el total de expertos(as) sobre transporte y sostenibilidad en México, y el cuestionario (Anexo A) fue enviado a las 602 personas que fueron identificadas e incluidas en el directorio; por lo que el muestreo fue de tipo intencional o de conveniencia. No obstante sólo se tuvo tasa de respuesta de 19.6% (n=118) y; posteriormente, se aplicó el criterio de exclusión de tasa de consistencia mínima de 10%, tal y como lo indica el método del del Proceso de Analítico Jerárquico (Saaty, 1987), por lo que finalmente, sólo 13.56% de los respondientes fueron incluidos como datos válidos para aplicar el método.

### 3.12. Instrumentos de recolección de datos

La selección de indicadores y su integración en categorías permitió elaborar un instrumento para obtener ponderaciones. El instrumento consistió en una encuesta que se realizó por correo electrónico (Anexo A) en la que, además de algunos datos de identificación, se pedía comparar entre sí a cada una de las nueve categorías o factores de sostenibilidad en el transporte; por lo que, finalmente, se tuvieron 36 comparaciones en el que se tenía que seleccionar la categoría con mayor trascendencia, y con la importancia relativa de acuerdo con la escala de Saaty (Tabla 16) que va de 1, cuando tienen igual importancia, hasta 9 cuando la importancia relativa es extrema.

Tabla 16 Escala de Saaty

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores

Fuente: Elaborado a partir de Saaty (2004).

Por ejemplo, en el primer ítem (Id=1) se pide realizar la comparación entre los factores de Emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub> eq/pas·km) y de Generación de ruido ( $\geq 65$  db). A

manera de ejemplo, se hará el supuesto de que el participante considera que las Emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub> eq/pas·km) son más importantes que la Generación de ruido ( $\geq 65$ db), por lo que se marca con una “X” a un costado de las Emisiones contaminantes. Luego, se considera que, en comparación las Emisiones contaminantes tienen una “Importancia moderada”, y de acuerdo con la escala de Saaty (Tabla 16), se marca la casilla correspondiente al nivel “3”, como se puede observar en la tabla Tabla 17.

Tabla 17 Ejemplo de comparación de factores don la escala de Saaty

Id	Factores por comparar	X	Importancia relativa									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)	X			X							
	Generación de ruido ( $\geq 65$ db)											

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados de esta encuesta, se pudieron calcular las ponderaciones relativas a través de la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process, AHP*), mismo que, de manera general, se explica en el siguiente acápite.

Asimismo, dado que para la construcción de propuesta de índice se requieren una serie de datos para los factores de transporte sostenible que se relacionan de manera particular con cada uno de los modos de transporte a evaluar (ver tema 4.1), se construyó una cédula de recopilación de información (Anexo B); misma que facilita el procesamiento de datos y el registro individual de información. De forma específica, esta cédula debe ser completada por el evaluador y sirve para facilitar el acceso a los 24 datos e indicadores propios de cada modo de transporte que permiten calcular cada uno de los factores para la construcción del índice (ver tema 4.1).

### 3.12.1. Proceso Analítico Jerárquico

De acuerdo con Saaty (1987), el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica que provee un marco de referencia para realizar comparaciones pareadas en datos discretos y continuos, tomados de medidas actuales o de escalas fundamentales que reflejan la fuerza relativa en las preferencias o los sentimientos; y considerando la consistencia y la dependencia entre los grupos de elementos en su estructura. En otras palabras, el AHP es una técnica estructurada que ayuda a tomar decisiones multicriterio de naturaleza compleja,

generalmente en marcos no lineales, con varios factores a considerar de forma simultánea y que permite retroalimentación con intercambios numéricos para llegar a una conclusión o resultado.

El AHP se ha utilizado para tomar decisiones multicriterio, planear, tomar decisiones de ubicación, asignación de recursos o resolución de conflictos. La técnica consiste en buscar la solución de un problema para tomar una decisión o lograr un objetivo, en la que se tienen una serie de criterios y varias alternativas. Generalmente, el AHP se representa con un diagrama jerárquico, como el mostrado en la Figura 7; y se forma una matriz de comparación de criterios para valorar la importancia relativa, en una escala que va de igual importancia (valor 1) a importancia extrema (valor 9), en donde los valores inversos son recíprocos ( $a_{ij}=1/a_{ji}$ ) y la diagonal principal toma un valor igual a uno ( $a_{ii}=1$ ).

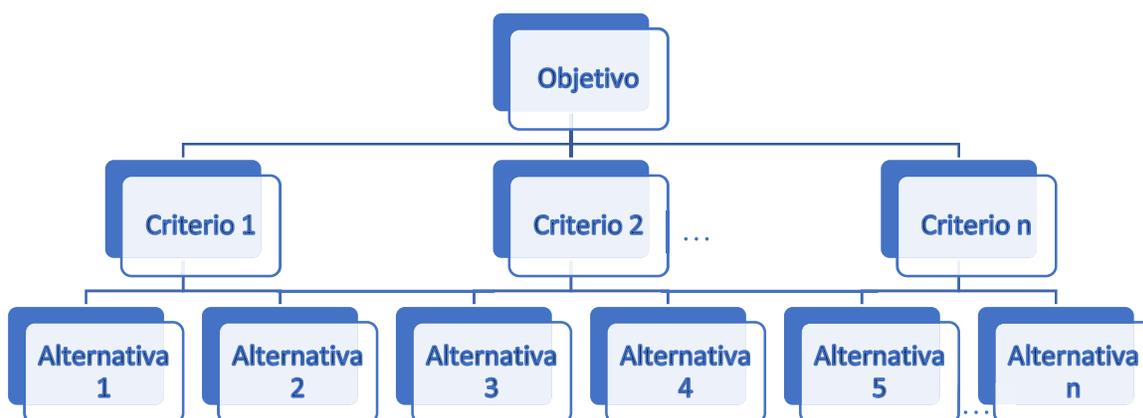


Figura 7. Representación gráfica del AHP.

En otras palabras, se forma una matriz de comparación A en cuyos renglones y columnas se ponen todos los criterios y se compran en importancia de acuerdo con la escala de Saaty (Tabla 16). Esto es, por ejemplo, para la diagonal principal ( $a_{ii}=1$ ) Criterio 2 en comparación con el Criterio 2, tomara un valor de uno ( $a_{2,2}=1$ ). Mientras que Criterio 1 en comparación con el criterio 2, si se considera que el Criterio 1 tiene una importancia muy fuerte en comparación con el Criterio 2, se le asignaría un valor de siete ( $a_{1,2}=7$ ), y su inverso,

comparación del Criterio 2 en comparación con el Criterio 1, tomara el valor reciproco de siete ( $a_{2,1}=1/a_{1,2}=1/7$ ).

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,n} \end{bmatrix}$$

Una vez asignados los valores en la matriz de comparación, se procede a calcular los pesos relativos de los criterios (W). Para esto, primero se obtiene el valor ponderado por columna de la matriz A; es decir, se divide cada elemento entre la suma de los elementos de la columna ( $a_{ij}/\sum a_{ij} \forall i$ ) y se forma la matriz A'.

$$A' = \begin{bmatrix} \frac{a_{1,1}}{\sum a_{i,1}} & \frac{a_{1,2}}{\sum a_{i,2}} & \dots & \frac{a_{1,n}}{\sum a_{i,n}} \\ \frac{a_{2,1}}{\sum a_{i,1}} & \frac{a_{2,2}}{\sum a_{i,2}} & \dots & \frac{a_{2,n}}{\sum a_{i,n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{m,1}}{\sum a_{i,1}} & \frac{a_{m,2}}{\sum a_{i,2}} & \dots & \frac{a_{m,n}}{\sum a_{i,n}} \end{bmatrix}$$

Los pesos  $W_i$  se calculan promediando los renglones en la matriz A', tal y como se muestra a continuación.

$$W = \begin{bmatrix} \left( \frac{a_{1,1}}{\sum a_{i,1}} + \frac{a_{1,2}}{\sum a_{i,2}} + \dots + \frac{a_{1,n}}{\sum a_{i,n}} \right) / n \\ \left( \frac{a_{2,1}}{\sum a_{i,1}} + \frac{a_{2,2}}{\sum a_{i,2}} + \dots + \frac{a_{2,n}}{\sum a_{i,n}} \right) / n \\ \vdots \\ \left( \frac{a_{m,1}}{\sum a_{i,1}} + \frac{a_{m,2}}{\sum a_{i,2}} + \dots + \frac{a_{m,n}}{\sum a_{i,n}} \right) / n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}$$

Seguidamente, se calcula la Tasa de Consistencia (CR) que señala las incoherencias que existen entre las evaluaciones. Esto es, por ejemplo, si se tienen tres criterios A, B y C, y se estima que A es más importante que B, y el criterio B que el C, pero se evalúa al criterio C como más importante que el A, entonces hay cierta inconsistencia. Así, la Tasa de Consistencia se calcula por el cociente formado entre el Índice de Consistencia (CI) y el Índice Consistencia Aleatoria (RI), esto es  $CR = CI/RI$ . Donde  $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ . Lambda máx. ( $\lambda_{max}$ ) es el valor propio más grande o principal cuyo valor se encuentra

multiplicando la matriz de comparación (A) con la matriz de los pesos relativos (W). Seguidamente, cada componente de la matriz  $\lambda_{max} \cdot W$  se divide entre cada componente de la matriz W y, finalmente, se promedian los valores resultantes de acuerdo con la siguiente expresión:  $\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \lambda_{max} W_i / n$ .

Por su parte, el Índice Consistencia Aleatoria (RI) es un valor que se toma de acuerdo con el número de criterios (n) a evaluar, y cuyos valores propuestos por Saaty (1987) se muestran en la siguiente lista:

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>RI</b>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Una vez calculada la Tasa de Consistencia (CR), que es considerada un error en la coherencia de las medidas, se debe inspeccionar que no sea superior al 10% para que la inconsistencia no sea excesiva. En caso de que sea superior a este límite, se recomienda no admitir los pesos relativos hasta revisar las comparaciones entre los criterios.

### 3.13. Procedimiento para el análisis de la investigación

El procedimiento para el análisis de la investigación (resumido en la Figura 8) comienza con un análisis cualitativo en el que se plantean de forma inductiva los fundamentos para la selección de los indicadores que formaron parte del índice de evaluación de sostenibilidad para el transporte. Esta parte de la investigación se utilizó para comprender y profundizar la manera de evaluar en términos de sostenibilidad a un sistema de transporte. Asimismo, se buscó integrar la perspectiva y diferentes visiones de un conjunto de expertos relacionados al transporte y la sostenibilidad en México.

En este sentido, inicialmente se realizó un análisis de la literatura sobre los indicadores en el transporte sostenible. Con esto se identificaron los indicadores aplicables de manera individual a corredores y sistemas de transporte urbanos; y se excluyeron aquellos que proporcionan información relacionada a la movilidad general de una ciudad, como por ejemplo los indicadores sobre la diversidad de sistemas de transporte o la proporción de personas que utilizan modos de transporte no motorizados.

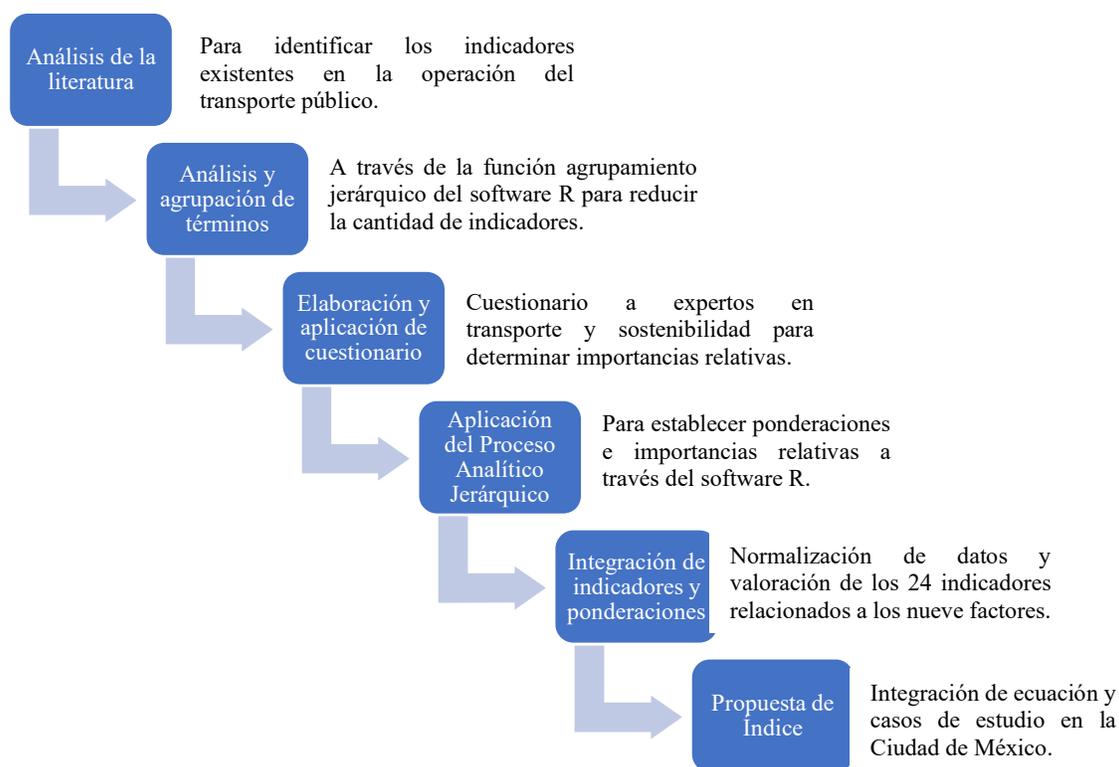


Figura 8. Procedimiento para el análisis de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

Subsiguientemente, con la librería *Text Mining* de R, se realizó un análisis de términos que aparecen con más frecuencia en las investigaciones sobre indicadores de transporte sostenible. Para esto, se formaron fichas bibliográficas y, a partir de la base de datos, se formó un *corpus* de texto para mapear e identificar asociaciones entre las palabras. Luego, se utilizó el análisis de agrupaciones jerárquicas y, finalmente, con una dispersión alta ( $sparse=0.95$ ) se obtuvieron 45 términos divididos en nueve grupos. El dendrograma con los términos y los grupos se realizó con el método Ward, utilizando la función agrupamiento jerárquico [*Hierarchical Clustering* (hclust)] del software R, que se muestra en la Figura 9.

A partir de los nueve grupos se crearon categorías para englobar los temas y los indicadores relacionados a cada término. Algunos de los indicadores aplicables fueron integrados o subordinados como parte de alguna categoría. Un ejemplo de esto es la sumisión del indicador denominado “Proporción de la flota de vehículos que cumple con ciertas normas de emisión al aire” (Euro IV, Euro V, etc.), que fue integrado con nivel taxonómico de menor nivel en el indicador sobre “Emisiones contaminantes” bajo el supuesto de que lo relevante

es la contaminación que generan, como los kilogramos equivalentes de Dióxido de Carbono por pasajero viaje transportado en el sistema de transporte. En este sentido, finalmente, se agruparon 24 indicadores organizados en las nueve categorías descritas en la Tabla 5.

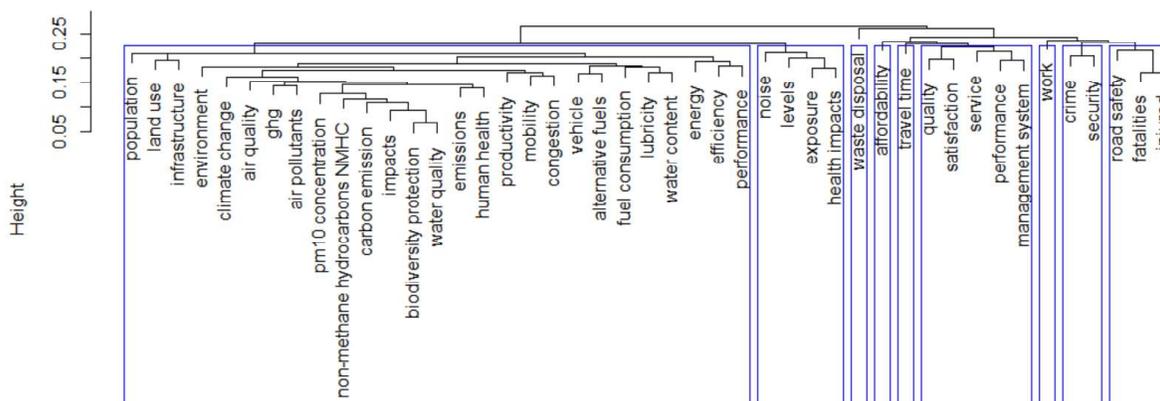


Figura 9. Dendrograma de agrupación (*Cluster dendrogram*).

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores seleccionados cumplen el criterio de tener información disponible, o de fácil acceso, en los sistemas de transporte de la ciudad de México.

La reducción de la cantidad de indicadores, y su integración en categorías permitió elaborar un instrumento para comparar las categorías de acuerdo con su importancia, y obtener ponderaciones relativas a través de la técnica del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El instrumento consistió en una encuesta que se realizó por correo electrónico, en la que se pedía comparar entre sí, a cada una de las nueve categorías; por lo que finalmente se tuvieron 36 comparaciones; en el que se tenía que seleccionar la categoría que tenía mayor importancia y su respectiva importancia relativa de acuerdo con la escala de Saaty (2004) que va de 1 (cuando tienen igual importancia) hasta 9 cuando la importancia relativa es extrema.

La encuesta se envió a más de 600 profesionales del transporte, sostenibilidad, urbanismo, entre otros especialistas; sin embargo, sólo 118 personas respondieron el cuestionario. Los datos fueron procesados y analizados. Se calculó la tasa de consistencia (CR, *Consistency Ratio*) para la respuesta de cada uno de las y los participantes y, como se recomienda para el método AHP (Saaty, 1987), sólo se consideró a las y los participantes que no excedían el  $CR=0.10$ , y cuya diferencia con el promedio no excedían en 0.05. Al igual que para calcular

la tasa de consistencia, se utilizó el software R para calcular los pesos relativos asociados al método AHP.

Finalmente, el índice de sostenibilidad en el transporte público se construyó considerando como coeficientes a los pesos relativos de cada una de las categorías obtenidas de acuerdo con el método del AHP; y como variables los valores normalizados o jerarquizados de los indicadores seleccionados para cada una de las diferentes categorías, y que son datos que se relacionan de manera particular con cada uno de los modos de transporte a evaluar, recopilados a través de la cédula del Anexo B y de acuerdo con lo que se especifica en el tema 4.1 sobre factores de sostenibilidad para el transporte público.

### **3.14. Alcances y limitaciones de la investigación**

El alcance de la investigación es de tipo explicativo-causal, ya que se trata de establecer una relación entre las causas y condiciones en las que se relacionan los factores que intervienen en la operación de los sistemas de transporte y la sostenibilidad. El propósito principal es proponer un índice de sostenibilidad para el transporte público que permita evaluar acciones encaminadas a modos de transporte orientados a la sostenibilidad. En un primer momento, la propuesta de Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP) fue aplicada en dos modos de transporte de la Ciudad de México. Por lo que, hasta el momento, el ámbito de la investigación se reduce a esta ciudad.

No obstante, el contexto en los sistemas de transporte urbano a nivel nacional propicia que la propuesta de índice pueda ser aplicada en todo el territorio nacional. Esto a pesar de que una de las principales limitaciones de la investigación es la participación regional de las y los expertos; ya que se asume que, el contexto de la población en diferentes partes del mundo, con disímiles realidades -por ejemplo en materia de criminalidad- pueden proporcionar prioridades diferentes que eliminan los efectos del transporte en el corto plazo y, por tanto, priorizan los efectos al medio ambiente.

En este mismo sentido, dado que el problema se aborda desde la perspectiva del análisis de los sistemas de transporte, se presenta como limitante, la dificultad de encontrar participantes que sean expertos tanto en sistemas de transporte -en su planeación y operación- como en la sostenibilidad. Esto debido a que en México no son abundantes los especialistas que de

manera transdisciplinaria unifiquen ambas disciplinas. Además de que nos enfrentamos a la falta de cooperación de las y los especialistas en transporte o sostenibilidad para responder los cuestionarios, o para participar en dinámicas para obtención de datos, situación que se incrementa con a la falta de presupuesto para juntar o realizar dinámicas presenciales.

Finalmente, la falta de sistemas de información y la precariedad técnica en la presentación de indicadores de los modos de transporte en la Ciudad de México, son otra limitante que pueden ocasionar diferencias sustanciales con sistemas de transporte de otros países. De aquí que no existan datos suficientes para evaluar la calidad, entre otros atributos del transporte. Además, en México, el transporte es una herramienta política que incluye cientos de miles de trabajadores muchos organizados en asociaciones políticas, por lo que la calidad y los factores cualitativos derivados de la organización del trabajo, junto con la aplicación de la ley, son un tema que las autoridades han dejado de lado para no contrariar a las y los trabajadores del transporte, la mayoría en situación de informalidad laboral, pero que representan un importante apoyo político en esta ciudad. Sin embargo, la ciudad y las y los millones de viajeros por día requieren la implementación de sistemas de evaluación que permitan mejorar la calidad y seguridad de los sistemas de transporte de la ciudad.

## Capítulo 4

---

---

Análisis de resultados y propuesta del  
Índice de Sostenibilidad para el  
Transporte Público (ISTP)

# Capítulo 4

---

## 4. Análisis de resultados y propuesta del Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP)

Este capítulo se conforma de cuatro partes: la primera muestra los indicadores seleccionados a través del análisis del marco teórico y los indicadores de sostenibilidad, y que se obtuvieron a través del análisis de términos y las agrupaciones jerárquicas indicadas en el tema 3.13.

En el segundo punto se describen y analizan los resultados de la aplicación de la encuesta, y se muestran los resultados de los cálculos del proceso analítico jerárquico, con los que se obtuvieron las ponderaciones de la propuesta de índice.

En la tercera parte se muestra la ecuación de la propuesta del índice de sostenibilidad en transporte público y, finalmente, en la última sección se muestra una aplicación de dos casos de estudio en modos de transporte de la Ciudad de México.

### 4.1. Factores de sostenibilidad para el transporte público

Del análisis y agrupamiento jerárquico se obtuvieron 24 indicadores clasificados en nueve categorías; cada una que representa un factor<sup>7</sup> en la construcción del índice. Para cada grupo, se identificaron valores límites o jerarquías, con el propósito de normalizar los datos que, posteriormente, serán multiplicados por los coeficientes o pesos relativos de cada categoría. Los datos requeridos y la manera de calcular cada uno de los valores se muestra a continuación:

#### 4.1.1. Factor $X_7$ : Emisiones contaminantes

Para esta variable se consideran las emisiones equivalentes de Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) por pasajero-viaje ( $\text{pas}\cdot\text{j}$ ) expresadas en kilogramos ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ) por unidad de año. Para obtener este dato es necesario conocer la cantidad de energía o combustible utilizado ( $\text{VC}$ )

---

<sup>7</sup>“Conjunto de variables que tienen relación de integración entre sí, y como variables es un conjunto de datos, un factor es un conjunto de datos” Caballero Romero (2014, p. 211).

que será multiplicado por su factor de emisión (FE), por su poder calorífico (PC) establecido para la región, y por el número de pasajeros transportados por año en el modo de transporte analizado; además de dividirse entre la cantidad de viajes realizados.

$$E_{CO_2e/pas \cdot j} = \frac{VC_i * PC_i * FE_i}{pas \cdot j}$$

Para evaluar de mejor manera a los vehículos que menos emisiones generan por viaje; se estandarizará con la variable  $X_1$  calculada con la siguiente ecuación:

$$X_1 = \max \left\{ 0, \frac{E_{CO_2e/pas \cdot j} - 0.53}{-0.53} \right\}$$

Hay que recordar que el número -0.53 es el límite superior de las emisiones contaminantes registrado (en el proyecto financiado por la Unión Europea co2nnect) para un modo de transporte en kg de CO<sub>2</sub> por km por pasajero y que es un límite que puede ser ajustado posteriormente.

#### 4.1.2. Factor $X_2$ : Generación de ruido

El valor relacionado a la generación del ruido se obtiene a través de dos indicadores: 1) el nivel del sonido en puntos fijos (*fixed points noise levels, LA<sub>nl</sub>*) y 2) el nivel del sonido a bordo del vehículo (*noise levels on board, LA<sub>ob</sub>*). Así, tomado en consideración las pautas para el ruido comunitario (*The guidelines for community noise*) se fijaron límites entre 50 y 100 dB para normalizar el nivel de ruido. Estos valores fueron establecidos, debido a que una comunicación normal es de aproximadamente 50 dB(A) y sólo algunas personas se sienten ligeramente perturbadas con niveles de  $LA_{eq}$  menores de ese nivel; mientras que por el otro extremo, se debe evitar la exposición para más de 100dB  $LA_{eq}$ , incluso en fiestas y eventos recreativos no debe haber exposición de periodos de más cuatro horas y más de cuatro veces al año debido a que genera varios efectos muy nocivos para la salud, que van desde molestias o trastornos del sueño, hasta deficiencias o pérdidas auditivas (Berglund et al., 1999).

La ecuación correspondiente para calcular la variable relacionada a la emisión del ruido se conforma por el promedio de los niveles estandarizados del ruido, y queda de la siguiente forma:

$$X_2 = (LA_{nl} + LA_{ob})/2$$

Donde:

$$LA_i = \begin{cases} 1 & \text{si } L \leq 50 \text{ dB} \\ [0,1] & (LA_{eq} - 100)/(50 - 100) \\ 0 & \text{si } L \geq 100 \text{ dB} \end{cases}$$

#### 4.1.3. Factor $X_3$ : Eliminación de residuos

Para la variable eliminación de residuos se consideran tres acciones que deben realizar los transportistas o, en su caso, los proveedores de servicios. Se asigna un cero o un uno, dependiendo de si no se cumple (0) o si se cumple (1) con el tratamiento adecuado de los residuos peligrosos ( $H_w$ ) (*Hazardous waste*), los residuos especiales ( $S_w$ ) (*Special Waste*) y si los vehículos se chatarrizan o no -es decir, se venden- al final de su vida útil ( $V_s$ ) (*Vehicle Scrapping*). Para asignar la ponderación de cada uno de los elementos, se solicitó comparar entre sí a las categorías y, a través del AHP, se obtuvieron los pesos con una consistencia de 0.0370. Los pesos de las categorías y la ecuación correspondiente a la variable de eliminación de residuos se muestran en la siguiente ecuación:  $(0.637 \cdot H_w + 0.258 \cdot S_w + 0.105 \cdot V_s)$ .

$$X_3 = 0.637 \cdot H_w + 0.258 \cdot S_w + 0.105 \cdot V_s$$

Donde:

$$H_w, S_w \text{ y } V_s = \begin{cases} 1 & \text{si se realiza la acción} \\ 0 & \text{si no se realiza la acción} \end{cases}$$

#### 4.1.4. Factor $X_4$ : Asequibilidad

Para simplificar el cálculo de esta variable se asociará al costo monetario del transporte con el salario mínimo de la población. Además, se hará el supuesto que los viajeros gastan el doble de la tarifa (ida y regreso) y que, en la medida en que el gasto sea más alto en relación con el ingreso, tendrá menor ponderación. Así, el factor de asequibilidad ( $X_4$ ) se calculará restando a uno el cociente del doble de la tarifa ( $F$ ) y el salario mínimo diario ( $D_w$ ) de las y los trabajadores, quedando la siguiente ecuación:

$$X_4 = 1 - \frac{2F}{D_w}$$

#### 4.1.5. Factor $X_5$ : Velocidad Comercial

La variable velocidad comercial (*Commercial speed*,  $C_s$ ) se calcula normalizando la velocidad. Se consideró un límite inferior  $L_i=1$  y un límite superior  $L_s=70$  kilómetros por hora. Si la velocidad es mayor, se considera 1. De esta forma para el cálculo de la variable relacionada a la velocidad comercial, y después de sustituir sus límites en  $\min\{1, (V_c-L_i)/(L_s-L_i)\}$ , queda la siguiente expresión:

$$X_5 = \min \left\{ 1, \frac{V_c - 1}{69} \right\}$$

#### 4.1.6. Factor $X_6$ : Calidad en el servicio de transporte

Debido a la complejidad y heterogeneidad para evaluar la calidad en los servicios de transporte público, el índice de sostenibilidad considera si el modo de transporte ejerce algún sistema de gestión de calidad o no. De esta forma se soslaya la subjetividad, deponiendo el factor de la calidad a la siguiente expresión:

$$X_6 = \max \{ Q_{une}, 0.5Q_{iso} \}$$

Donde  $Q_{une}$  y  $Q_{iso}$  son variables binarias que, respectivamente, indican si el sistema de transporte se encuentra (1) o no (0) certificado por la norma UNE-EN 13816, la ISO 9004, o alguna equivalente.

#### 4.1.7. Factor $X_7$ : Accidentes de tránsito

Considerando los registros de los accidentes clasificados por su severidad (fatal, no fatal y sólo daños) y el promedio de viajes diarios realizados en la Ciudad de México catalogados por tipo y modo de transporte (INEGI, 2017b, 2020); se estimó el número de accidentes por millón de pasajeros transportados por cada categoría de severidad y para cada modo de transporte ocurridos durante el año 2017. Posteriormente, se quitaron los valores atípicos (*outliers*) y se identificó el valor máximo para cada nivel de severidad; siendo 2.48 para accidentes fatales, 46.19 para no fatales, y 455.74 para solo daños (Figura 10).

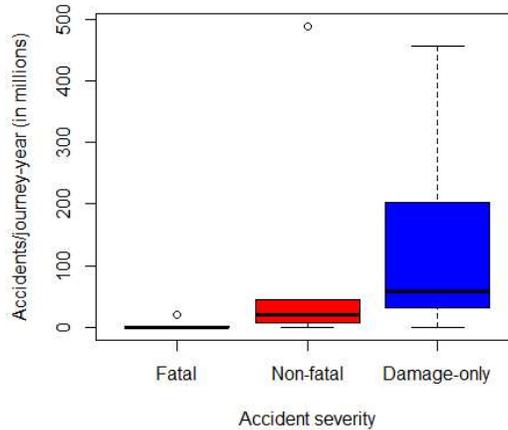


Figura 10. Accidentes por viaje-año de acuerdo con su severidad  
Fuente: Elaboración propia.

Se procedió a normalizar los valores. Además, para beneficiar la menor cantidad de accidentes, se tomó la tasa máxima como límite inferior, cero como límite superior, y cero para los valores atípicos; por lo que las tasas de accidentes normalizadas ( $S_A$ ).

Se calculan con las expresiones siguientes:

$$S_{Ap} = \max \left\{ \frac{A_p - 455.74}{0 - 455.74}, 0 \right\}; \quad S_{Ai} = \max \left\{ \frac{A_i - 46.19}{0 - 46.19}, 0 \right\}; \quad \text{y} \quad S_{Af} = \max \left\{ \frac{A_f - 2.48}{0 - 2.48}, 0 \right\}$$

donde  $A = \{A_p, A_i, A_f\}$ ;  $A_p$ : corresponde a la tasa de accidentes por viajes con sólo daños materiales;  $A_i$ : a la tasa de accidentes con lesionados; y  $A_f$  a la tasa de accidentes con fatalidades, todas en millones de accidentes por viajes.

Asimismo, se jerarquizó la severidad de los accidentes con siguientes valores: 1 para accidentes con sólo daños materiales, 2 para accidentes con lesiones, y 3 para accidentes fatales. Con esto se asignó un peso relativo de acuerdo con su nivel jerárquico y la suma de las tres categorías que se multiplica por la tasa ponderada en millones de accidentes por viajes-año, por lo que la ecuación de la variable relacionada a los accidentes de tránsito queda de la siguiente forma:

$$X_7 = \frac{1}{6}S_{Ap} + \frac{2}{6}S_{Ai} + \frac{3}{6}A_{Af}$$

#### 4.1.8. Factor $X_8$ : Crimen y seguridad personal

De manera similar al acápite anterior, el crimen y la seguridad personal en los sistemas de transporte se puede dividir de acuerdo con su severidad. Para el indicador propuesto, se

normaliza la cantidad de reportes por millones de pasajeros transportados de cada categoría, y se multiplica por el peso ponderado; formado por el cociente de los valores escalares de la gravedad del delito entre la suma de todos los valores y cuya escala es la siguiente: 1= para ofensas o desorden público, 2=delitos contra la propiedad, y 3= crímenes violentos. La ecuación correspondiente para esta variable queda de la siguiente forma:

$$X_8 = \frac{1}{6}O_a + \frac{2}{6}O_p + \frac{1}{3}O_v$$

Donde  $O_a$ : son los arrestos denunciados (*Reported Offenses, Arrests*) que implican desorden público y que, usualmente representan 80% del total de los eventos (Bureau of Transportation Statistics; Ceccato, Uittenbogaard y Bamzar, 2013);  $O_p$ : son los delitos contra la propiedad (*Reported Offenses, Property Crime*); y  $O_v$ : son los delitos violentos (*Reported Offenses, Violent Crime*). Se utilizan datos normalizados del número de delitos reportados por millones de pasajeros-viajes, con límite superior igual a cero y límites inferiores para cada nivel de severidad; calculados para la Ciudad de México, y descontando los valores atípicos, de 22.92, 4.14, y 3.34; también se considera cero para cualquier valor superior al límite.

#### **4.1.9. Factor $X_9$ : Condiciones laborales**

Para la construcción del indicador propuesto sobre condiciones, se consideran dos factores: uno que hace referencia al tiempo de trabajo limitado (*Limited working time,  $L_{wt}$* ), que toma un valor de 1 si las y los trabajadores conducen sólo hasta nueve horas por día, con un descanso de no menos de 45 minutos después de conducir por 4.5 horas, 11 horas consecutivas de descanso diario, y por lo menos un día de descanso a la semana como lo marca la normativa de la Unión Europea (2021); o cero si sale de los límites de las horas de conducción y descanso.

En cuanto a la seguridad social (*Social security,  $S_s$* ), el trabajador debe ejercer el derecho a la seguridad social, tal y como lo establece el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de la Organización de las Naciones Unidas (*The International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights of the United Nations*) (1966); por lo que, entre otras cosas se debe garantizar cobertura médica, acceso a la vivienda, vacaciones pagadas, pensión, y condiciones de trabajo equitativas y satisfactorias. Esta variable también se considera binaria, y toma el valor de uno si el trabajador dispone de seguridad social ( $S_s=1$ ),

y de cero en caso contrario ( $S_s=0$ ). Por tanto, la ecuación correspondiente al factor relacionado a las condiciones laborales de las y los conductores queda de la siguiente forma:

$$X_9 = \frac{L_{wt} + S_s}{2}$$

#### 4.2. Resultados de la encuesta y ponderación relativa de los factores de sostenibilidad para el transporte público

En total, 118 profesionales relacionados al transporte y la sostenibilidad contestaron el cuestionario para identificar la importancia relativa entre los nueve criterios de sostenibilidad en el transporte urbano. Sin embargo, después de identificar la tasa de consistencia (CR, *Consistency Ratio*) en los juicios de cada uno de los participantes (Figura 11), se encontró que sólo 16 obtuvieron valores menores a  $CR < 0.1$ . Para el resto de las y los participantes, de acuerdo con la recomendación de Saaty (1987), la confiabilidad de la consistencia de sus juicios no fue adecuada. Además, para identificar la presencia de respuestas inconsistentes y heterogéneas, se demostró la diferencia de utilizar métodos de agregación aritmética y de valor propiamente dominante y se identificaron las y los encuestados que tienen una diferencia mayor que 0.05 (Cho, 2019), mismos que se muestran en la Figura 12.

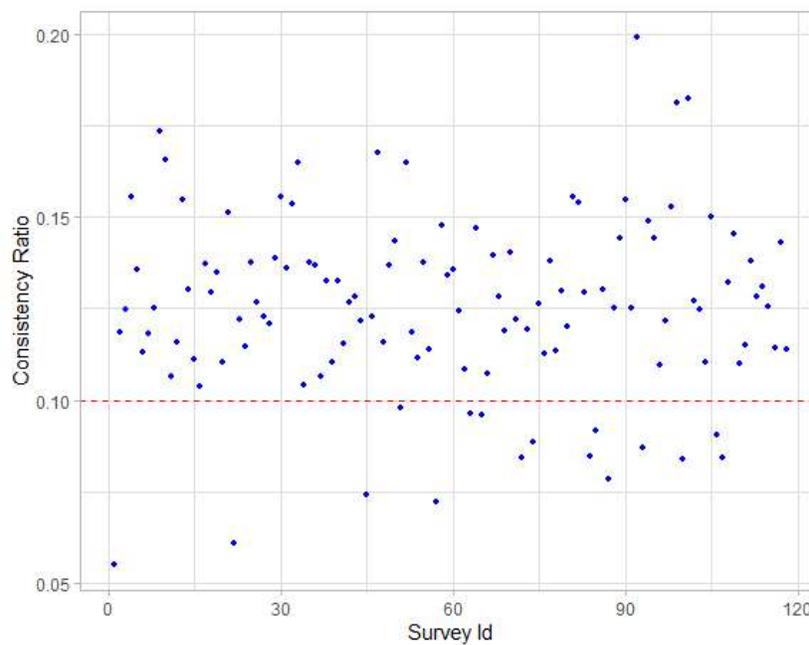


Figura 11. Tasa de consistencia individual.

Fuente: Elaboración propia.

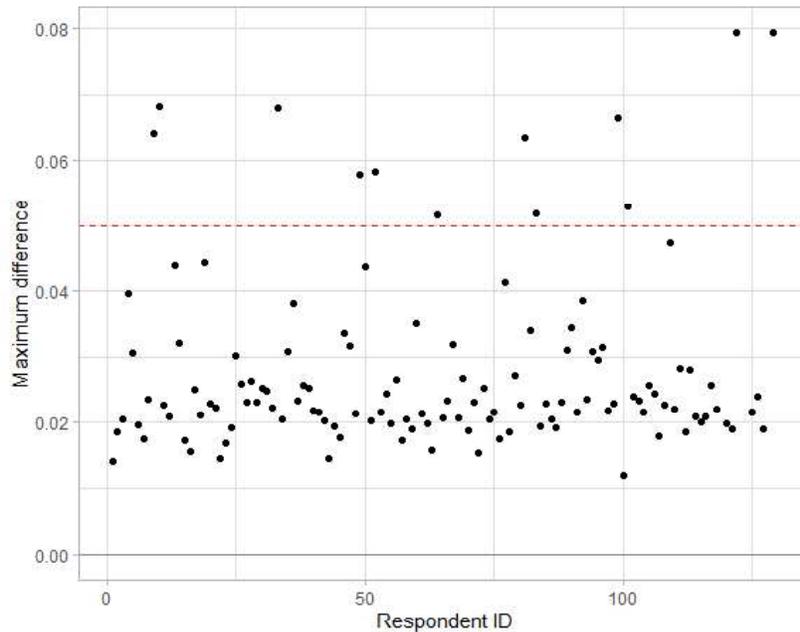


Figura 12. Diferencia máxima entre valor propio y agregación media.

Fuente: Elaboración propia.

Así, considerando sólo a las y los participantes cuya tasa de consistencia fue suficiente ( $CR < 0.1$ ), y cuya diferencia con el promedio no excedían en 0.05, se procedió a crear las matrices de comparación por pares (*pairwise comparison matrices*) y, usando el método de la media aritmética, se calcularon las prioridades agregadas de todos(as) las y los tomadores de decisión (*decision-makers*).

Tabla 18 Matriz de comparación de criterios agregados.

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1.000	7.125	1.000	4.250	1.938	4.250	0.184	0.145	5.188
C2	0.140	1.000	0.140	0.261	0.177	0.223	0.122	0.115	0.646
C3	1.000	7.130	1.000	4.313	2.438	4.313	0.179	0.153	5.750
C4	0.235	3.825	0.232	1.000	0.552	1.031	0.140	0.125	2.875
C5	0.516	5.647	0.410	1.811	1.000	2.250	0.163	0.133	4.188
C6	0.235	4.486	0.232	0.970	0.444	1.000	0.134	0.123	3.188
C7	5.443	8.229	5.600	7.157	6.143	7.467	1.000	0.922	7.938
C8	6.895	8.727	6.531	7.976	7.503	8.154	1.085	1.000	8.688
C9	0.193	1.548	0.174	0.348	0.239	0.314	0.126	0.115	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se construyó una matriz de comparación con los juicios agregados (*comparisonMatrix*) (Tabla 18), con la que se obtuvo una tasa de consistencia de 0.068; y, para identificar la importancia de cada una de las categorías de los indicadores, se calcularon las ponderaciones de los factores, mismas que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Ponderaciones relativas de los factores de sostenibilidad en el transporte público.

<b>Código</b>	<b>Criterio</b>	<b>Ponderaciones</b>
C1	Emisiones contaminantes	0.099
C2	Generación de ruido	0.015
C3	Eliminación de residuos	0.104
C4	Asequibilidad	0.038
C5	Velocidad comercial	0.061
C6	Calidad en el servicio de transporte	0.038
C7	Accidentes de tránsito	0.293
C8	Actos violentos	0.332
C9	Condiciones laborales de los conductores	0.020

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Propuesta de Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP)

Dado que ya se han identificado los criterios, las ponderaciones y los indicadores para cada categoría, se integra una fórmula para el índice de para evaluar la sostenibilidad en los sistemas de transporte urbano, la cual queda de la siguiente forma:

$$I_{ts} = \sum_{i=1}^9 C_i \cdot X_i$$

$$= 0.099X_1 + 0.015X_2 + 0.104X_3 + 0.038X_4 + 0.061X_5 + 0.038X_6 + 0.293X_7 + 0.332X_8 + 0.020X_9$$

#### **4.4. Aplicación del Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público (ISTP)**

Para mostrar el funcionamiento del índice de sostenibilidad en el transporte público se realizaron dos casos de modos de transporte de la Ciudad de México: El sistema de Transporte Colectivo Metro y la aplicación en una ruta de microbuses de la ciudad.

Para cada modo de transporte el proceso se divide en tres partes y se sintetiza en tres tablas: la tabla A: que indica los datos recolectados u observados; la tabla B: que elabora cálculos previos para todas aquellas variables formadas por tasas u otros valores computados; y la tabla C: que incluye los límites inferiores y superiores de cada factor -datos que se utilizan para obtener los valores normalizados- las ponderaciones relativas, la suma producto de estos valores, que dan como resultado, el valor de los factores ( $X_i$ ) y que se multiplica por el peso ponderado ( $C_i$ ) y cuya sumatoria forma el índice.

##### **4.4.1. El caso del ISTP en el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México**

Como se dijo anteriormente, el primer paso es adquirir o registrar los datos necesarios. Aquí se incluyen datos estadísticos generales como la cantidad de pasajeros transportados por año, el combustible o la energía consumida, algunos datos operativos, entre otros. El resto de los datos y los valores correspondientes al año 2018 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20 Valores registrados para el cálculo del ISTP en el Metro de la Ciudad de México.

Descripción	Variable	Valor	Unidad	Fuente
<b>Generales</b>				
Modo de transporte		Metro		
Km/año	Jy	44,075,691	Km/año	(STC, 2021a)
<b>C1 Emisiones contaminantes</b>				
Energía/Combustible		Eléctrica		
pasajero-viaje	pas-j	1,647,475,013	pas/año	(STC, 2021a)
cantidad de energía o combustible utilizado	VC	786,772,431	kw/año	(STC, 2021a)
factor de emisión	FE	0.527	(kgCO2/kWh)	(CRE, 2019)
poder calorífico	PC	1	J/seg	
<b>C2 Generación de ruido</b>				
Nivel del ruido en puntos fijos	$LA_{nl}$	80	dB	(PAOT, 209)
Nivel del ruido en puntos móviles	$LA_{ob}$	70	dB	(PAOT, 209)
<b>C3 Adecuada eliminación de residuos</b>				
Residuos peligrosos	$H_w$	0	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
Residuos especiales	$S_w$	0	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
Desecho de vehículos	$V_s$	0	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
<b>C4 Asequibilidad</b>				
Tarifa	$T_f$	5	[\$]Tarifa	(STC, 2021b)
Salario mínimo diario	$D_w$	88.36	[\$]Salario mínimo	(STPS, 2020)
<b>C5 Velocidad comercial</b>				
Velocidad comercial	$C_s$	36	Km/hr	(STC, 2008)
<b>C6 Cumple estándares de Calidad en el transporte</b>				
De la norma UNE-EN 13816	$Q_{une}$	0	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
De la norma ISO	$Q_{iso}$	0	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
<b>C7 Accidentes de tránsito</b>				
Fatalidades causadas en tránsito	$Af_f$	0	Núm. Accidentes	(INEGI, 2020)
Lesiones causadas en tránsito	$Af_i$	0	Núm. Accidentes	(INEGI, 2020)
Daños materiales causados por el tránsito	$Af_p$	0	Núm. Accidentes	(INEGI, 2020)
<b>C8 Actos violentos</b>				
Delitos violentos denunciados	$Of_v$	379	Núm. Delitos	(FGJ, 2021)
Delitos contra la propiedad denunciados	$Of_p$	2,432	Núm. Delitos	(FGJ, 2021)
Arrestos por ofensas o desorden público	$Of_a$	14,055	Núm. Delitos	(FGJ, 2021)
<b>C9 Condiciones laborales de las y los conductores</b>				
Tiempo de trabajo limitado ( $\leq 9$ hr/día)	$L_{wt}$	1	No=0, Si=1	(STC, 2021a)
Dispone de Seguridad social	$S_s$	1	No=0, Si=1	(STC, 2021a)

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo las emisiones equivalentes de kilogramos de bióxido de carbono y las tasas de accidentes y delitos se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 21 Formulas y cálculo de valores para el ISTP en el Metro de la Ciudad de México.

Descripción	Variable	Unidades	Formula	Valor
Emisiones por viaje	$E_j$	kgCO2e/pas-j	$E_{CO_2e/pas \cdot j} = \frac{VC_i * PC_i * FE_i}{pas \cdot j}$	0.252
Tasa de gasto de transporte	$T_{er}$	%SDM	$T_{er} = \frac{2 \cdot T_f}{D_w}$	0.113
Accidentes fatales por viajes	$A_f$	M·j	$A_f = \frac{Af_f}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.012
Accidentes con lesiones por viajes	$A_i$	M·j	$A_i = \frac{Af_i}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.000
Accidentes daños materiales por viajes	$A_p$	M·j	$A_p = \frac{Af_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.000
Delitos violentos denunciados	$O_v$	M·d	$O_v = \frac{Of_v}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.230
Delitos contra la propiedad denunciados	$O_p$	M·d	$O_p = \frac{Of_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	1.476
Arrestos por ofensas o desorden público	$O_a$	M·d	$O_p = \frac{Of_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	8.531

M·j: Millones-viajes

M·d: Millones de delitos

%SDM: Porcentaje del salario mínimo

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, todas las variables se consolidaron, se realizó la suma producto de sus pesos relativos por sus valores, y se multiplicaron por los pesos ponderados, tal y como se indica en las fórmulas correspondientes a las secciones de la 4.1.1 a la 4.1.9, y en la sección 4.3. Los resultados se muestran en la Tabla 22.

Los resultados muestran que el Sistema de Transporte Colectivo Metro tiene una evaluación de 0.699. El resultado se encuentra penalizado principalmente por cuestiones de seguridad, calidad y eliminación de residuos. Cabe señalar que la evaluación incluye a toda la red integrada por las doce líneas que se encuentran en operación. No obstante, la evaluación podría hacerse de manera independiente, aunque por las características de operación, se puede suponer los resultados sería similares.

Tabla 22 Cálculo del ISTP en el Metro de la Ciudad de México, Tabla C

	Nombre Coeficiente	Indicadores	Unidades	Rango		Valor	Valor Normalizado	Pesos relativos	Xi	Ci	Xi*Ci
				Min	Max						
<b>C1 Emisiones contaminantes</b>											
$E_j$	Emisiones por viaje		kgCO2e/pas-j	0.53	0	0.252	0.525	1	<b>0.525</b>	<b>0.099</b>	<b>0.052</b>
<b>C2 Generación de ruido</b>											
$L_{A_{nl}}$	Nivel del ruido en puntos fijos		dB	100	50	80	0.400	0.5	<b>0.640</b>	<b>0.015</b>	<b>0.010</b>
$L_{A_{ob}}$	Nivel del ruido en puntos móviles		dB	100	50	56	0.880	0.5	<b>0.000</b>	<b>0.104</b>	<b>0.000</b>
<b>C3 Eliminación de residuos</b>											
$H_w$	Residuos peligrosos		Dicotómico	0	1	0	0	0.637			
$S_w$	Residuos especiales		Dicotómico	0	1	0	0	0.258			
$V_s$	Desecho de vehículos		Dicotómico	0	1	0	0	0.105			
<b>C4 Asequibilidad</b>											
$T_f$	Tasa de gasto de transporte		[\$]Tarifa	1	0	0.113	0.887	1	<b>0.887</b>	<b>0.038</b>	<b>0.034</b>
<b>C5 Velocidad comercial</b>											
$C_s$	Velocidad comercial		km/hr	1	70	36	0.507	1	<b>0.507</b>	<b>0.061</b>	<b>0.031</b>
<b>C6 Calidad en el transporte</b>											
$Q_{une}$	Norma UNE-EN 13816		Dicotómico	0	1	0	0	1	<b>0.000</b>	<b>0.038</b>	<b>0.000</b>
$Q_{iso}$	Norma ISO		Dicotómico	0	1	0	0	0.5			
<b>C7 Accidentes de tránsito</b>											
$A_f$	Accidentes fatales por viaje		A/M-pas-j	2.48	0	0.012	0.995	0.500	<b>0.998</b>	<b>0.293</b>	<b>0.292</b>
$A_i$	Accidentes daño materiales por viaje		A/M-pas-j	46.19	0	0.000	1.000	0.333			
$A_p$	Accidentes daños materiales por viaje		A/M-pas-j	455.7	0	0.000	1.000	0.167			
<b>C8 Actos violentos</b>											
$O_v$	Delitos violentos denunciados		O/M-pas-j	3.34	0	0.230	0.931	3/6	<b>0.785</b>	<b>0.332</b>	<b>0.261</b>
$O_p$	Delitos contra la propiedad denunciados		O/M-pas-j	4.14	0	1.476	0.643	2/6			
$O_a$	Arrestos por ofensas o desorden público		O/M-pas-j	22.92	0	8.531	0.628	1/6			
<b>C9 Condiciones laborales de los conductores</b>											
$L_{wt}$	Tiempo de trabajo limitado		Dicotómico	0	1	1	1	0.5	<b>1.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>
$S_y$	Seguridad Social		Dicotómico	0	1	1	1	0.5			
<b>Sumatoria</b>										<b>0.699</b>	

A/M-pas-j: Accidentes por millones de pasajeros viaje. O/M-pas-j: Delitos por millones de pasajeros viaje. Dicotómico: Si=1, No=0

#### **4.4.2. El caso del ISTP en un sistema de microbuses en la Ciudad de México**

En la Ciudad de México hay sistemas de transporte que no tiene información disponible. Aunque se podrían obtener datos promedios de un modo de transporte específico -por ejemplo, a través de la encuesta Origen destino (INEGI, 2018b) o de literatura que hace referencia a datos operativos de los sistemas de transporte (Molinero y Sánchez, 1997)- estos no permitiría comparar entre una línea y otra de un mismo modo de transporte, como diferentes rutas de microbuses.

En este sentido, esta sección mostrara la aplicación en una ruta de Microbuses en la que se obtuvo información a través del registro y medición de los parámetros. Los datos fueron obtenidos a través de un estudio de operación y dimensionamiento de una ruta de microbuses ubicada al oriente de la Ciudad de México y que, entre otras características, tiene cincuenta microbuses que dan el servicio de transporte público.

Este sistema de microbuses puede considerarse un sistema convencional, típico de la Ciudad de México, con características de operación y estándares de calidad promedio. Su sistema de organización es a través de los considerados hombres-camión, es decir que la propiedad del vehículo corresponde a una persona que puede ser o no el conductor del vehículo; pero no están conformados como una sola empresa. Las y los trabajadores por lo general trabajan en la informalidad, jornadas de entre diez y catorce horas y, en general, hay insatisfacción laboral que se ve reflejada en la calidad en el servicio.

El estado de las unidades se encuentra en pésimas condiciones, ya que son vehículos con un promedio de 17 años de antigüedad, que no tiene un programa regular de mantenimiento y que son sometidas al máximo esfuerzo con personal sin capacitación para el cuidado de las unidades.

En cuanto al ruido, se tomaron mediciones en horas de máxima demanda con un sonómetro marca Steren, modelo: HER-402. La toma de datos se realizó agrupando datos cada cinco minutos, con lo que se obtuvo un promedio de 74 dB y 60 dB en puntos fijo.

Sólo los datos necesarios para el cálculo de las emisiones contaminantes, específicamente el factor de emisión y el poder calorífico de la gasolina, fueron obtenidos de fuentes secundarios

(Conuee, 2019). Los valores necesarios para el cálculo de los microbuses del caso de estudio se encuentran en la Tabla 23.

Tabla 23 Valores registrados para el cálculo del ISTP en una línea de microbuses.

Descripción	Variable	Valor	Unidad
<b>Generales</b>			
Modo de transporte		Microbús	
Km/año	Jy	2,268,000	Km/año
<b>C1 Emisiones contaminantes</b>			
Energía/Combustible		Gasolina	
pasajero-viaje	pas-j	7,242,480	pas/año
cantidad de energía o combustible utilizado	VC	1,134,000	Lt/año
factor de emisión	FE	4781	(kgCO <sub>2</sub> /kWh)
poder calorífico	PC	7.212E-05	ton/MJ
<b>C2 Generación de ruido</b>			
Nivel del ruido en puntos fijos	$LA_{nl}$	80	dB
Nivel del ruido en puntos móviles	$LA_{ob}$	56	dB
<b>C3 Adecuada eliminación de residuos</b>			
Residuos peligrosos	$H_w$	0	No=0, Si=1
Residuos especiales	$S_w$	0	No=0, Si=1
Desecho de vehículos	$V_s$	0	No=0, Si=1
<b>C4 Asequibilidad</b>			
Tarifa	$T_f$	6	[\$]Tarifa
Salario mínimo diario	$D_w$	88.36	[\$]Salario mínimo
<b>C5 Velocidad comercial</b>			
Velocidad comercial	$C_s$	22.5	km/hr
<b>C6 Cumple estándares de Calidad en el transporte</b>			
De la norma UNE-EN 13816	$Q_{une}$	0	No=0, Si=1
De la norma ISO	$Q_{iso}$	0	No=0, Si=1
<b>C7 Accidentes de tránsito</b>			
Fatalidades causadas en tránsito	$Af_t$	2	Núm. Accidentes
Lesiones causadas en tránsito	$Af_i$	18	Núm. Accidentes
Daños materiales causados por el tránsito	$Af_p$	31	Núm. Accidentes
<b>C8 Actos violentos</b>			
Delitos violentos denunciados	$Of_v$	1	Núm. Delitos
Delitos contra la propiedad denunciados	$Of_p$	31	Núm. Delitos
Arrestos por ofensas o desorden público	$Of_a$	105	Núm. Delitos
<b>C9 Condiciones laborales de las y los conductores</b>			
Tiempo de trabajo limitado (<=9hr/día)	$L_{wt}$	0	No=0, Si=1
Dispone de Seguridad social	$S_s$	0	No=0, Si=1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 24 se muestran los cálculos necesarios para encontrar los valores empleados por el índice de sostenibilidad en el transporte público. Cabe señalar que, la forma determinística de las fórmulas hace que, los cálculos sean realizados con relativa facilidad. Las tres tablas empleadas, se encuentra sistematizadas en una hoja de Excel®, por lo que el cálculo del índice es de forma automática una vez obteniendo la información.

Tabla 24 Formulas y cálculo de valores para el ISTP en una línea de microbuses.

Descripción	Variable	Unidades	Formula	Valor
Emisiones por viaje	$E_j$	kgCO2e/pas-j	$E_{CO_2e/pas \cdot j} = \frac{VC_i * PC_i * FE_i}{pas \cdot j}$	0.054
Tasa de gasto de transporte	$T_{er}$	%SDM	$T_{er} = \frac{2 \cdot T_f}{D_w}$	0.136
Accidentes fatales por viajes	$A_f$	M·j	$A_f = \frac{Af_f}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.276
Accidentes con lesiones por viajes	$A_i$	M·j	$A_i = \frac{Af_i}{1,000,000 \cdot J_y}$	2.485
Accidentes daños materiales por viajes	$A_p$	M·j	$A_p = \frac{Af_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	4.280
Delitos violentos denunciados	$O_v$	M·d	$O_v = \frac{Of_v}{1,000,000 \cdot J_y}$	0.138
Delitos contra la propiedad denunciados	$O_p$	M·d	$O_p = \frac{Of_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	4.280
Arrestos por ofensas o desorden público	$O_a$	M·d	$O_p = \frac{Of_p}{1,000,000 \cdot J_y}$	14.498

M·j: Millones-viajes

M·d: Millones de delitos

%SDM: Porcentaje del salario mínimo

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los resultados las variables la suma producto de sus pesos relativos por sus valores, y se multiplicaron por los pesos ponderados, tal y como se indica en las fórmulas correspondientes a las secciones de la 4.1.1 a la 4.1.9, y en la sección 4.3. Así, se muestran en la Tabla 25, donde se puede observar que el sistema de microbuses es evaluado con 0.601 en el índice de sostenibilidad.

Tabla 25 Cálculo del ISTP en una línea de microbuses, Tabla C

Nombre Coeficiente		Unidades	Rango		Valor	Valor Normalizado	Pesos relativos	Xi	Ci	Xi*Ci
Indicadores			Min	Max						
<b>C1</b>	<b>Emisiones contaminantes</b>									
	$E_j$ Emisiones por viaje	kgCO <sub>2</sub> e/pas-j	0.53	0	0.054	0.898	1	<b>0.898</b>	<b>0.099</b>	<b>0.089</b>
<b>C2</b>	<b>Generación de ruido</b>									
	$LA_{nl}$ Nivel del ruido en puntos fijos	dB	100	50	80	0.400	0.5	<b>0.640</b>	<b>0.015</b>	<b>0.010</b>
	$LA_{ob}$ Nivel del ruido en puntos móviles	dB	100	50	56	0.880	0.5	<b>0.000</b>	<b>0.104</b>	<b>0.000</b>
<b>C3</b>	<b>Eliminación de residuos</b>									
	$H_w$ Residuos peligrosos	Dicotómico	0	1	0	0	0.637	<b>0.864</b>	<b>0.038</b>	<b>0.033</b>
	$S_w$ Residuos especiales	Dicotómico	0	1	0	0	0.258	<b>0.312</b>	<b>0.061</b>	<b>0.019</b>
	$V_s$ Desecho de vehículos	Dicotómico	0	1	0	0	0.105	<b>0.000</b>	<b>0.038</b>	<b>0.000</b>
<b>C4</b>	<b>Asequibilidad</b>									
	$T_f$ Tasa de gasto de transporte	[\$]Tarifa	1	0	0.136	0.864	1	<b>0.000</b>	<b>0.038</b>	<b>0.000</b>
<b>C5</b>	<b>Velocidad comercial</b>									
	$C_s$ Velocidad comercial	km/hr	1	70	22.5	0.312	1	<b>0.000</b>	<b>0.038</b>	<b>0.000</b>
<b>C6</b>	<b>Calidad en el transporte</b>									
	$Q_{une}$ Norma UNE-EN 13816	Dicotómico	0	1	0	0	1	<b>0.925</b>	<b>0.293</b>	<b>0.271</b>
	$Q_{iso}$ Norma ISO	Dicotómico	0	1	0	0	0.5	<b>0.541</b>	<b>0.332</b>	<b>0.179</b>
<b>C7</b>	<b>Accidentes de tránsito</b>									
	$A_f$ Accidentes fatales por viaje	A/M·pas-j	2.48	0	0.276	0.889	0.500	<b>0.000</b>	<b>0.038</b>	<b>0.000</b>
	$A_i$ Accidentes daño materiales por viaje	A/M·pas-j	46.19	0	2.485	0.946	0.333	<b>0.925</b>	<b>0.293</b>	<b>0.271</b>
	$A_p$ Accidentes daños materiales por viaje	A/M·pas-j	455.7	0	4.280	0.991	0.167	<b>0.541</b>	<b>0.332</b>	<b>0.179</b>
<b>C8</b>	<b>Actos violentos</b>									
	$O_v$ Delitos violentos denunciados	O/M·pas-j	3.34	0	0.138	0.959	3/6	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.000</b>
	$O_p$ Delitos contra la propiedad denunciados	O/M·pas-j	4.14	0	4.280	0.000	2/6	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.000</b>
	$O_a$ Arrestos por ofensas o desorden público	O/M·pas-j	22.92	0	14.498	0.367	1/6	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.000</b>
<b>C9</b>	<b>Condiciones laborales de los conductores</b>									
	$L_{wrt}$ Tiempo de trabajo limitado	Dicotómico	0	1	0	0	0.5	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.000</b>
	$S_s$ Seguridad Social	Dicotómico	0	1	0	0	0.5	<b>0.000</b>	<b>0.020</b>	<b>0.000</b>
<b>Sumatoria</b>									<b>0.601</b>	

A/M·pas-j: Accidentes por millones de pasajeros viaje. O/M·pas-j: Delitos por millones de pasajeros viaje. Dicotómico: Si=1, No=0.

#### **4.4.3. Conclusiones de los casos de aplicación del ISTP**

Los resultados del índice de sostenibilidad para el transporte público muestran evaluaciones de 0.699 para el Sistema de Transporte Colectivo Metro y de 0.601 para la ruta de microbuses. A pesar de las disparidades, como el número de pasajeros transportados por año – 1,647,475,013 y 7,242,480 respectivamente- o las emisiones generadas por el consumo de energía -414,629 tnCO<sub>2eq</sub> y 2,759.79 nCO<sub>2eq</sub>- el indicador permite realizar una comparación y evaluar los diferentes sistemas de transporte de manera objetiva, con base en características independientes, considerando la escala y de manera relativa a su operación.

No obstante, en ambos casos el índice permite identificar los diferentes criterios de evaluación, por lo que se pueden considerar para buscar la mejora continua como base para lograr sistemas de transporte sostenibles.

# Conclusiones

---

---

# Conclusiones de la investigación

---

En primer lugar, una de las principales debilidades de la propuesta del índice para evaluar la sostenibilidad en los sistemas de transporte se encuentra en simplificar los indicadores para cada una de las categorías y factores de sostenibilidad para el transporte. Cada una podría ser ampliamente abordada y evaluada con mayor precisión. Sin embargo, los indicadores utilizados tratan de representar de forma amplia y representativa a cada una de las categorías; además, de que dependen de la información disponible, o que las empresas comparten, mucha de carácter cualitativo que se obtiene a través de encuestas; o cuantitativa, pero que requiere de estudios para registrarla; por lo que es costosa y, en ocasiones, hasta de difícil acceso.

Otro inconveniente está en las ponderaciones. Por ejemplo, aunque resulta interesante que el peso de la seguridad sea de mayor importancia (0.332), esto se asocia con la realidad de violencia e inseguridad de la región, en este caso de México. En otras partes del mundo, es posible que el criterio de seguridad tuviera un menor peso, por lo que resulta necesario indagar en otros países, e incluir a sus especialistas para determinar la aportación de este criterio. Sin embargo, es comprensible por la inmediatez de las consecuencias, y su afectación a la vida y la integridad de las personas, que tanto los actos violentos como la seguridad vial encabecen la prioridad en México.

No obstante, se sabe que el crimen y la seguridad personal es uno de los factores que más influyen en la utilización del transporte público (Newton, 2014), por lo que resulta importante hacer que las y los pasajeros se sientan seguros. La seguridad en el transporte público es un factor importante para la elasticidad cruzada de la demanda; en otras palabras, en la medida en que las personas se sientan seguras en el transporte público, podrían cambiar del uso del automóvil por modos colectivos y, por tanto, reducir las externalidades negativas por el uso del transporte particular. Sin embargo, la criminalidad continua en aumento en países emergentes. Entre las principales causas que provocan el incremento en las tasas de criminalidad, están el desempleo, la pobreza, la desigualdad social, y la ineficiencia en los sistemas judiciales (Shankalia y Kannappan, 2018). Aunque la percepción de la seguridad se encuentra en función de aspectos como las medidas de seguridad, los atributos del servicio, las experiencias negativas con la seguridad, el género, y otras características demográficas

(Yavuz y Welch, 2010); aminorar la delincuencia y aumentar la percepción de la seguridad es un reto para las y los administradores de los sistemas de transporte, debido a que las causas que la originan son exógenas y de dimensiones macroeconómicas. Sin embargo, existe evidencia de que el crimen en los sistemas de transporte suele estar concentrado en ciertos componentes de la red -tramos de rutas o cerca de ciertas estaciones o paradas- que varían según el tipo de delito y la hora del día, y que dependen de la interacción del movimiento de los vehículos y los entornos por los que atraviesan (Newton, 2014). Por lo que regular el acceso, y hacer intervenciones en el ambiente y la administración de las estaciones y paradas a través del diseño de la infraestructura de transporte, puede desincentivar los actos de criminalidad (Ceccato et al., 2013; Felson et al., 1996).

Asimismo, en el análisis y la clasificación de los textos sobre indicadores de transporte sostenible (Figura 9), se puede observar que el crimen y la seguridad en los sistemas de transporte se relacionan con la seguridad vial y con las cuestiones laborales.

En cuanto a la seguridad vial, la propuesta de indicador contempla la severidad o gravedad de la lesión y la exposición en cuanto al número de viajes. A pesar de que los diferentes modos de transporte pueden variar en cuanto a factores de riesgo y que, en el indicador, no se cuantifica la distancia que se recorre por pasajero-viaje; el número de accidentes jerarquizados de acuerdo con su severidad son datos que resultan de fácil acceso, generalmente están presentes y se lleva registro en los indicadores operativos de las empresas; además de que se contabilizan los accidentes de tránsito terrestre a nivel nacional, por lo que, con relativa facilidad, se puede calcular el Riesgo Relativo entre los diferentes modos de transporte. Así, el indicador podría mejorarse si se incluyera los kilómetros recorridos por pasajero-viaje. No obstante, son datos más difíciles de adquirir ya que, en general, en México los sistemas de transporte masivos no utilizan tarifas diferenciadas y el pago se realiza por viaje sin distinguir la distancia de recorrido; por lo que, a pesar de que se pueden calcular los promedios, las empresas de transporte no incluyen datos de pasajero-viaje por kilómetro entre sus registros.

El trabajo, la otra categoría relacionada a la seguridad, tiene el penúltimo lugar en las ponderaciones (0.020) para la construcción del índice de transporte sostenible. A pesar de que la actividad de conducir tiene un fuerte impacto en la salud pública (Berrones Sanz et al.,

2018), se infiere que su posición jerárquica, en la ponderación, se debe a que las y los usuarios invisibilizan a las y los conductores, y no toman en cuenta su importancia y sus efectos directos en la seguridad. Sin embargo, se sabe que más de 71% de los accidentes de tránsito son por causas del factor humano (Toledo, 2006), y que las condiciones laborales de las y los conductores se asocian a los accidentes de tránsito; por lo que los riesgos y las exigencias derivadas de la organización y división técnica del trabajo son determinantes en la seguridad de los sistemas de transporte. Así, a pesar de que las condiciones laborales incluyen cualquier riesgo de lesión o enfermedad, y que las y los conductores no son un grupo homogéneo debido a que las condiciones varían de acuerdo con el tipo de vehículo, la distancia de conducción, y la normativa laboral aplicable (Berrones Sanz y González Peña, 2018); en la investigación sólo se consideran dos indicadores: uno que hacen referencia al tiempo de trabajo limitado (*Limited working time*), y el otro que indica la tenencia de seguridad social. No obstante, estos indicadores incluyen una serie de condiciones bastantes amplias que se relacionan con la salud física y mental. Por ejemplo, para grupos de conductores profesionales, las horas de conducción y extenuantes jornadas laborales se asocian con problemas musculo-esqueléticos (Robb y Mansfield, 2007; Van Der Beek, Frings, van Dijk, Kemper y Meijman, 1993), enfermedades cardiovasculares o metabólicas (Mohebbi et al., 2010), estrés y fatiga, (Sabbagh, Friedman y Richter, 2005; Sang y Li, 2012), entre otros padecimientos psicosociales (Härmä, 2006). Estos últimos, que también se asocian a necesidades o carencias de cobertura médica, acceso a la vivienda, vacaciones pagadas, pensión, y condiciones de trabajo equitativas y satisfactorias. Por lo que, a pesar de las limitaciones, estos indicadores que son relativamente sencillos de obtener pueden evaluar de manera general las condiciones laborales de las y los conductores.

Hasta aquí, sólo se han mencionado los criterios relacionados con la seguridad que, por afectar la integridad de las personas y tener efectos inmediatos, son los de mayor importancia en cuanto a las ponderaciones obtenidas. De esta forma, se observa que aumentar la seguridad en los sistemas es primordial para el nivel de ocupación de cada uno de los modos de transporte. Para entender el cambio en la cantidad de viajeros, se puede retomar a Manheim (1979) y Cascetta (2009), ya sea visto como oferta y demanda, o como el nivel de servicio (S) y volumen de usuarios usuarios (V) lo interesante es entender que, como un conjunto de elementos interrelacionados, cada vez que un sistema de transporte aumenta o

disminuye su costo, se presentará una elasticidad en la demanda. Es importante mencionar que el costo del transporte se mide en términos del costo generalizado ( $C_g$ ) que, en su forma más simple, incluye tres elementos: 1) los componentes monetarios o precios de viaje ( $p$ ), que se compone por todos los desembolsos económicos que realiza el usuario; 2) El valor del tiempo total del traslado ( $t$ ) y; 3) los factores cualitativos que intervienen en la decisión ( $\theta$ ), en los que se incluye la seguridad, la calidad en el servicio, la satisfacción, la comodidad, y otros valores subjetivos (de Rus Mendoza et al., 2003).

Desde esta perspectiva, la seguridad solo es parte de los factores cualitativos. Sin embargo, en el análisis y la clasificación de los textos sobre indicadores de transporte sostenible, cuyos resultados se sintetizan en el dendrograma de la Figura 9, se puede observar cómo los criterios sobre seguridad se relacionan con la asequibilidad, la velocidad comercial, la calidad en el servicio de transporte y la eliminación de residuos. Estos criterios se pueden interpretar como los elementos del costo generalizado de transporte, ya que se relacionan directamente, tal y como se explica en los siguientes puntos:

**1) *Relación del costo de transporte y la asequibilidad.*** Di Ciommo, Monzón, y Wang (2012) refieren que la literatura sobre asequibilidad en el transporte se enfoca en cuanto gastan las y los usuarios para utilizar los sistemas de transporte en proporción con su ingreso. Sin embargo, también se incluye la idea de la distribución del tiempo; por lo que se consideran dos dimensiones de la asequibilidad, la monetaria y la falta de tiempo. Debido a que el tiempo de viaje se relaciona con la estructura urbana, en la operación del transporte la asequibilidad se reduce a la tarifa del transporte, y el tiempo será considerado en puntos posteriores. De esta forma, una medida de la asequibilidad en el transporte es el porcentaje que representa el costo de los viajes en el ingreso de las personas. No obstante, es importante mencionar que este indicador representa un solo un modo de transporte, y un pasajero puede hacer varios viajes o utilizar varios modos de transporte; además, de que también influye el gasto familiar, que depende de la cantidad de individuos y viajes que se realizan.

En definitiva, lo importante del costo del transporte es que no cause algún tipo de exclusión social. El transporte público puede parecer inasequible para un hogar no porque su precio sea excesivo en relación con los costos de suministro, sino simplemente porque los ingresos del hogar son muy bajos (Gwilliam, 2017). Así, algunos sistemas de transporte alrededor del

mundo tienen programas para otorgar tarifas reducidas o gratuitas a grupos vulnerables (*freeness*), además de que muchas ciudades alrededor del mundo han convertido sus redes de transporte público en sistemas de tarifas cero (gratuito) para toda su población (Fare Free Public Transport, 2021). La importancia de estas acciones se encuentra en que en la medida en que el transporte privado motorizado sea sustituido por otros modos de transporte como los colectivos, se reducirán las externalidades, y en la medida en que la movilidad esté al alcance de todos se eliminará la exclusión social.

**2) Relación del tiempo de viaje y la velocidad comercial.** Anteriormente se mencionó que el tiempo depende de la estructura urbana. Evidentemente, el tiempo que las personas dedican al transporte está relacionado con la ubicación de sus viviendas y la localización de sus actividades laborales, sociales o recreativas; por lo que resulta claro que una persona a mayor distancia necesitará mayor tiempo. Por supuesto, esto está en función de la velocidad, que tiene una relación determinística con el cociente formado entre la distancia y el tiempo.

Entonces, para resolver la interrogante de cómo se puede evaluar o comparar el tiempo de viaje en modos de transporte específicos, con usuarios y viajes de pares origen-destino diferentes, se utiliza el concepto de la velocidad comercial. La velocidad comercial es el resultado de la distancia que recorre el vehículo entre el tiempo total, incluyendo tiempos de ascenso y descenso, paradas, semáforos, intersecciones, recorridos y, en general, todas las demoras. Así, la velocidad comercial se puede incrementar a través de mejoras en la infraestructura -andenes faciliten el ascenso-descenso, o derechos de vía (*Right-of-way*)-, o con tecnología aplicadas en los vehículos -sistemas de suspensión neumática para acoplar el vehículo con la altura del borde de la parada, o vehículos con mayor operación- de esta forma, al aumentar la velocidad comercial, el tiempo de viaje se reducirá; por lo que la velocidad comercial parece ser una opción adecuada para evaluar el factor temporal en términos del costo generalizado.

**3) Relación de los factores cualitativos y la calidad en el servicio.** La calidad en los sistemas de transporte es un concepto complejo, difuso y abstracto debido a sus atributos subjetivos y cualitativos (Oña y Oña, 2015). Uno de los métodos más conocidos para evaluar la calidad, el SERVQUAL (Parasuraman, Zeithaml y Berry, 1988), sugiere cinco dimensiones etiquetadas como: elementos tangibles, confiabilidad, sensibilidad, seguridad y empatía

(Tangibles, Reliability, Responsiveness, Assurance, Empathy). Sin embargo, existen una gran cantidad de investigaciones sobre la forma de evaluar la calidad en el servicio de transporte público. Ojo (2017) realizó una revisión de la literatura sobre la calidad en el transporte público en el que clasificó las investigaciones por, entre otros aspectos, el contexto regional y la naturaleza de los datos. En esa investigación se concluye que, por la heterogeneidad de los servicios de transporte público, es conveniente adoptar la dimensión cultural y considerar atributos predominantes en el subsector o país examinado.

Bajo este contexto, es difícil comparar sistemas de transporte que funcionan con atributos y aspectos culturales diferentes. Además, analizar la calidad en los servicios de transporte es una actividad complicada y costosa debido a que, generalmente, se utilizan encuestas con muestras representativas de las y los usuarios. Sin embargo, existen esfuerzos por tratar de incrementar la calidad y de homologar los servicios de transporte, incluso a nivel internacional, tal es el caso de los sistemas de gestión de calidad.

Los Sistema de Gestión de Calidad buscan estandarizar de forma internacional las directrices y requisitos mínimos de calidad. Aquí se encuentran la norma de la Organización Internacional de Normalización ISO 9004 “Sistemas de gestión de la calidad – Directrices para la mejora continua del desempeño” que busca la mejora continua, medida a través de la satisfacción del cliente y de las demás partes interesadas; y la Norma europea “Transporte. Logística y servicios. Transporte público de pasajeros. Definición de calidad del servicio, objetivos y mediciones” UNE-EN 13816 que pone especial interés en las necesidades y las expectativas de las y los clientes, con criterios que incluyen el servicio ofertado, la accesibilidad, la información general del servicio, cumplimiento de horarios y frecuencias, atención al pasajero, confort, y seguridad. La UNE-EN 13816 tiene la ventaja de definir la calidad del servicio en transporte público de pasajeros; a diferencia del conjunto de normas ISO que indican cómo gestionar la calidad, pero no cómo definirla (Fundación CETMO, 2006).

Debido a la complejidad y heterogeneidad para evaluar la calidad en los servicios de transporte público, el índice de sostenibilidad considera si el modo de transporte ejerce algún sistema de gestión de calidad o no. De esta forma se soslaya la subjetividad, deponiendo el factor de la calidad a metodologías que aseguran procesos de mejora continua. A pesar de

que los sistemas de calidad son muy extensos y rigurosos en sus metodologías; de tal forma que promueven una mejora sistemática a través del registro estadístico y la mejora de procesos, y que incluyen o se relacionan con otros sistemas para controlar aspectos como la seguridad vial (ISO 39001) o el manejo de los residuos (ISO 14001); el principal problema de utilizarlos como indicador en el índice de sostenibilidad para el transporte es que la mayoría de las empresas de transporte, en países como México, no tienen exigencias o serias intención de utilizar y trabajar bajo estas normas. Además, la estructura empresarial de trabajo autónomo o conductor propietario del vehículo, conocidos como de hombre-camión, dificultan la implementación de estos sistemas.

Por otra parte, un grupo distinto que podemos hacer dentro de las categorías es el relacionado a la dimensión ecológica; aquí se incluyen las categorías de eliminación de residuos, emisiones contaminantes y generación del ruido. El elemento más representativo (Tabla 18) es correspondiente a la eliminación de residuos. Este elemento se encuentra evaluado con el tercer lugar de jerarquía dentro de las ponderaciones de las y los expertos (0.104). Asimismo, aunque su sitio jerárquico se relaciona con efectos indirectos que no se visualizan de manera inmediata para las y los usuarios, es innegable su importancia por el impacto en el medio ambiente. Sin embargo, en el dendrograma de la Figura 9, se puede observar que la eliminación de residuos se encuentra más relacionada con la calidad en el servicio, que con los otros aspectos ecológicos. Esto se debe a que en los textos evaluados se hacen mención del tratamiento de los residuos como parte de la gestión de la calidad y, por tanto, a pesar de que es una preocupación de dimensión ambiental, en el análisis de textos se encuentra mayor correlación ya que es uno de los puntos que, generalmente, se incluyen en todos los sistemas de calidad.

No obstante, es claro que las empresas de transporte requieren que sus vehículos reciban servicios de mantenimiento con cierta ciclicidad. Sin importar que las empresas tengan su propia área de mantenimiento o subcontraten el servicio, esta actividad genera residuos catalogados como peligrosos y de manejo espacial, que constituyen riesgos para la salud y para el medio ambiente. El tratamiento de estos residuos no sólo es una responsabilidad social de las empresas, sino que existen normativas que obligan su manejo y tratamiento. Desafortunadamente, en México, a pesar de existir leyes y normas que lo regulan, la mayoría de los talleres mecánicos no identifican ni manejan de manera adecuada estos residuos

(Vidal, Acosta, Rueda y García, 2015). En este sentido, para la propuesta del índice, los indicadores utilizados para las empresas de transporte se limitan a registrar de forma dicotómica si las empresas de transporte, o las empresas que efectúan el mantenimiento, realizan el tratamiento correcto de los residuos y están vinculadas con empresas certificadas para el tratamiento final de los residuos.

En cuanto a la contaminación del aire, la propuesta de índice considera las emisiones equivalentes de Bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) por pasajero-viaje (pas-j) expresadas en kilogramos ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ). Algunos de los puntos negativos de utilizar este indicador es que, por ejemplo, al emplear la unidad pasajero-viaje es posible que no se aprecie la distancia como factor comparativo. Puede haber viajes muy cortos, en un modo de transporte que emite muchas emisiones contaminantes, y otro poco contaminante que recorre largas distancias y genera la misma cantidad  $\text{CO}_2\text{e}$ . Sin embargo, se parte del supuesto que cualquier distancia puede ser recorrida por un modo de transporte sustituto con diferente cantidad de emisiones sin importar la distancia.

Finalmente, la categoría de generación de ruido se enfrenta a la problemática de medir el nivel de sonido dentro y fuera de vehículos en movimiento, que son denominados fuentes móviles, y cuyo registro se realiza a través del uso de sonómetros colocados en zonas representativas y donde sea probable que el ruido afecte a las personas utilicen o no el sistema de transporte (Damian, Flores y Flores, Mayra, Téllez, Rodolfo, 2001). De esta forma, para obtener el coeficiente del ruido para el índice propuesto, se obtiene el nivel del sonido en puntos fijos (*fixed points noise levels,  $LA_{nl}$* ) y a bordo del vehículo (*noise levels on board,  $LA_{ob}$* ). De esta forma, si la información no es generada como indicador de la empresa o el servicio de transporte, este deberá ser adquirido para el indicador.

# Conclusiones generales

---

En la Tabla 26, se muestran de manera resumida los objetivos y los logros alcanzados. Se logró alcanzar el objetivo general de construcción de un índice de sostenibilidad para el transporte público. El instrumento propuesto es un paso inicial para instaurar una aplicación imparcial que evalúe de forma sistemática la sostenibilidad en diferentes modos de transporte público de la Ciudad de México y, posteriormente con sus respectivos ajustes, en otras ciudades de México y de otros países.

Además, utilizando la propuesta de índice el transporte público, se evaluaron dos modos de transporte de la Ciudad de México: el Sistema de Transporte Colectivo Metro y una ruta de microbuses. Estos casos de estudio permiten evaluar e identificar los puntos de mejora en términos de sostenibilidad, para cada uno de los modos de transporte. El índice se aplica a todo el sistema de Metro de la ciudad y una sola ruta de microbuses con la intención de explorar el funcionamiento del índice, teniendo como resultado una clara comparación, que como se podría esperar, y a pesar de obtener sólo 69.9% de la evaluación, el Metro resulta mejor evaluado.

En cuanto a los objetivos particulares: a) se realizó un análisis de la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y se comparó con las tendencias globales de sostenibilidad. Se observan rezagos tecnológicos y de organización, y principalmente una fuerte tendencia hacia el fomento del uso del automóvil particular, lo cual constituye un fuerte problema para la sostenibilidad.

b) Se definieron los planteamientos teóricos sobre los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad; con esto se obtuvieron los elementos para realizar el análisis de términos que aparecen con más frecuencia en las investigaciones sobre indicadores de transporte sostenible el agrupamiento de términos, y finalmente se construyó el instrumento aplicado.

c) Con la selección de indicadores se conformaron las categorías de evaluación, y fueron identificadas como las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos de sostenibilidad. Por lo que fueron incluidos como las nueve categorías que conforman el índice de sostenibilidad para el transporte sostenible.

d) Se determinaron los factores que, derivados de la literatura internacional, tienen mayor relevancia para la sostenibilidad en el transporte público; asimismo, se determinaron los datos necesarios y se creó una cédula para facilitar la recolección de información.

e) Se realizó una encuesta a expertos y aplicando el método AHP se determinaron los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público.

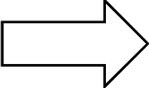
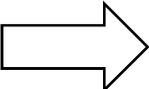
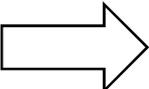
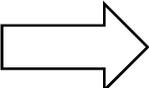
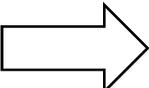
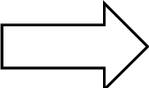
Los objetivos anteriores permitieron la creación y propuesta del índice de sostenibilidad para el transporte público y, de esta forma, se propone una metodología con la ventaja sobre otros índices existentes, de que no se orienta a evaluar la sostenibilidad o la movilidad general de una ciudad. En este caso se enfoca a sistemas de transporte específicos; por lo que permitirá comparar la movilidad en los diferentes modos de transporte, eliminando los sesgos cognitivos de las y los agentes implicados y, especialmente, las y los tomadores de decisión.

Específicamente para México, es importante instaurar un sistema de evaluación para la calidad de los sistemas de transporte en el que, a través de las dependencias gubernamentales encargadas de la movilidad y del transporte, se evalúen los criterios mínimos de calidad que permitan llevar registro y mejorar el servicio de transporte público.

Asimismo, a pesar de que existen programas de verificación ambiental y de condiciones vehiculares, es necesario reforzar estos programas para evitar la corrupción y garantizar la aplicación de la ley (*enforcement*). En este mismo sentido, se requiere fortalecer los procedimientos de desecho y eliminación de residuos peligrosos y especiales. Es importante, considerar que, dado que las tarifas son controladas y deben ser lo más asequibles posible, las y los prestadores del servicio no deben asumir toda la responsabilidad y se deben crear programas gubernamentales que apoyen estos procesos de mejora ambiental.

En cuanto a la seguridad pública, a pesar de que es un problema a nivel nacional, los gobiernos locales y las y los operadores de transporte pueden continuar implementando medidas preventivas, como sistemas de video vigilancia, botones de pánico conectados a corporaciones policiacas, que deben ser complementadas con el establecimiento de intervalos de paso y paradas fijas, además de capacitación y cambios en los procedimientos de actuación policiaca.

Tabla 26 Objetivos y logros de la investigación

OBJETIVOS		LOGROS
<p>Determinar los factores y ponderaciones que deben considerarse para integrar un índice para evaluar la sostenibilidad en el transporte público de la Ciudad de México.</p>		<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Del análisis y agrupación de términos se determinaron indicadores que fueron agrupados y normalizados para formar factores; mismos que, a través de una encuesta aplicada a expertos(as), se determinó su importancia relativa que sirvieron para, posteriormente, integrar un Índice de Sostenibilidad para el Transporte Público. El Índice de Sostenibilidad para el Transporte Sostenible fue aplicado para el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México y para una Ruta de Autobuses. Los resultados 6.99 y 0.601 respectivamente, sirven para analizar y comparar la sostenibilidad en estos modos de transporte.</p>
		<p><b>Objetivos específicos</b></p>
<p>Analizar la situación actual del transporte público de la Ciudad de México y las tendencias globales en materia de transporte sostenible.</p>		<p>En general, el transporte público de la Ciudad de México se encuentra en condiciones de precariedad e informalidad.</p>
<p>Definir los planteamientos teóricos sobre el análisis de los sistemas de transporte y los indicadores de sostenibilidad.</p>		<p>Las tendencias globales sobre transporte público incluyen la recuperación de espacios destinados para el uso del automóvil, el fomento del transporte no motorizado, las energías limpias y los sistemas de transporte masivos.</p>
<p>Identificar las relaciones causales entre los sistemas de transporte y sus efectos en términos de sostenibilidad.</p>		<p>En general el transporte es un sistema que incluye tres elementos: el usuario, el vehículo y la vía. Estos elementos se relacionan entre sí, se ven influidos por la oferta y la demanda que interactúan en un sistema de actividades y las decisiones de viaje establecidas por el costo generalizado de transporte que considera el costo monetario, el tiempo y los factores cualitativos. Actualmente, la oferta de servicio de transporte debe estar alineada a los objetivos del desarrollo sostenible y cumplir con las dimensiones ecológicas, social y ambiental.</p>
<p>Establecer los factores de sostenibilidad en el transporte público y los datos necesarios para su determinación.</p>		<p>Se proponen los factores que, derivados de la literatura internacional, tienen mayor relevancia para la sostenibilidad en el transporte público; asimismo, se determinaron los datos necesarios y se creó una cédula para facilitar la recolección de información</p>
<p>Determinar los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público.</p>		<p>Se realizó una encuesta a expertos y aplicando el método AHP y, con esto, se determinaron los pesos relativos para integrar la índice sostenibilidad en el transporte público.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Como trabajo futuro, se debe incluir especialistas de otras partes del mundo para obtener, analizar y comparar las ponderaciones que componen el índice de sostenibilidad para el transporte público. De esta forma, se podrá establecer si es posible estandarizar de manera global, o si las ponderaciones deben ser ajustadas por región. No obstante, independientemente de las ponderaciones, una actividad en la que se está trabajando para facilitar la utilización del índice, es una aplicación informática, que facilite el cálculo y comparación de las evaluaciones. Ya que, se concluye que, a pesar de las limitaciones, la propuesta es un instrumento promisorio para la evaluación de la sostenibilidad en los sistemas de transporte público urbano.

Asimismo, esta investigación contribuye desde una perspectiva de la Ciencias Administrativas a dos problemas de valor teórico, anteriormente denominados: de información documentada y de interpretación (ver tema 3.3). Para el problema de información documentada, esta investigación contribuye al sintetizar una gran cantidad de información que existe acerca de los indicadores de sostenibilidad en temas de movilidad y transporte; y dado que se indica que no hay instrumentos que permitan evaluar los diferentes sistemas de transporte en México, se aporta un instrumento de medición al realizar la propuesta de índice de sostenibilidad para el transporte público de la Ciudad de México.

Asimismo, en cuanto al problema de interpretación, esta investigación busca ayudar a que las y los productores del servicio de autotransporte y las y los agentes implicados que conciben la sostenibilidad como temas estrictamente ecológicos o de medio ambiente, conciban el transporte bajo las tres dimensiones de la sostenibilidad, la ambiental, la social y la económica. Asimismo, se promoverá que el índice de Sostenibilidad para el Transporte Público de la Ciudad de México que se propone en esta investigación sea utilizado como forma de evaluación de los sistemas de transporte; y que sea empleado tanto por autoridades de tránsito (como la Secretaría de Movilidad) como por las empresas transportistas que busquen tener un instrumento de referencia para evaluar y facilitar la mejora continua del servicio de transporte público.

En suma, esta investigación se exponen las bases para tratar de establecer procesos que faciliten la planeación del transporte público sostenible, explicar las formas de organización que existen en la Ciudad de México, y cómo estos elementos contribuyen al estudio de las

conductas que realizan las y los agentes implicados en las estructuras de los sistemas de transporte de esta ciudad en relación con la sostenibilidad. De esta forma, se determina de una manera generalizada cuáles son las características de sostenibilidad que deben tener los sistemas de transporte público, para saber de qué forma se han organizado las empresas de transporte, y cuáles son las prerrogativas en contraposición a otras formas de buscar la sostenibilidad en el transporte.

Además, se emplean métodos de investigación cualitativa y cuantitativa usando el programa de acceso libre R; tal es el caso del análisis de términos que aparecen con más frecuencia en las investigaciones sobre indicadores de transporte sostenible (librería *Text Mining*), o las librerías que ayudan a resolver el Proceso Analítico Jerárquico (librería AHP), y que, debido a su gratuidad y su fácil uso, deben ser promovidas para que sean más utilizadas para facilitar las actividades entre los investigadores de las Ciencias Administrativas.

# Futuras líneas de investigación

---

La investigación examina la sostenibilidad en el transporte a través del análisis de la literatura internacional y de forma práctica a través de expertos en el área del transporte, la sostenibilidad, el urbanismo, el ambiente, o el desarrollo social. No obstante, se puede asumir que, dado que las y los expertos se sitúan en México, las ponderaciones resultantes de la investigación empírica pueden contener una carga contextual. De aquí, que el instrumento y el proceso de ponderación, será empleado con expertos en otras regiones del mundo.

Así, se buscará aplicar la metodología con expertos en países latinoamericanos, que culturalmente son más parecidos a México, y se analizará si es posible utilizar el indicador como región. Para materializar esta acción, se buscará que las y los organizadores de los congresos sobre transporte más importantes de Latinoamérica faciliten, a través de la correspondencia con investigadores interesados, el trabajo conjunto y evaluación de la propuesta de índice en esta región.

Posteriormente, a partir de los resultados de la red de trabajo con investigadores latinoamericanos, se buscará replicar las actividades en otras regiones del mundo, como Europa y Asia, de forma que se amplíe la red y se pueda desestimar o validar los resultados del índice de sostenibilidad para el transporte público.

Para facilitar la metodología, la interacción y el trabajo en esta propuesta de red actualmente se ha comenzado un manuscrito donde se describe paso a paso la utilización del software R que es empleado, como software libre, para los cálculos del Proceso Analítico Jerárquico y para el análisis de textos. Las librerías utilizadas suplen funciones de programas informáticos tales como Atlas.ti® y Expert Choice®. Por lo que se espera publicar un artículo que muestre los códigos y detalle la utilización de los métodos utilizados.

# Parte complementaria

---

---

# Referencias

---

- Arias, F. (2006). Desarrollo sostenible y sus indicadores. *Sociedad y economía*, (11), 200–229. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/996/99616177008.pdf>
- Arteaga García, A. (2009). *Calidad del servicio de transporte público: Sondeo de opinión*. El Poder del Consumidor A.C. Recuperado de <https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/0906-07-Sondeo-transporte-p%E1%BF%BDblico.pdf>
- Asamblea General. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (núm. A/69/L.85). Recuperado de [https://www.cooperacionespanola.es/sites/default/files/agenda\\_2030\\_desarrollo\\_sostenible\\_cooperacion\\_espanola\\_12\\_ago\\_2015\\_es.pdf](https://www.cooperacionespanola.es/sites/default/files/agenda_2030_desarrollo_sostenible_cooperacion_espanola_12_ago_2015_es.pdf)
- Berglund, B., Lindvall, T. y Schwela, D. H. (1999). *Guidelines for community noise*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Berrones Sanz, L. D. (2010). *Condiciones laborales de los trabajadores del volante del transporte público de pasajeros y su repercusión en la ciudad*. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.
- Berrones Sanz, L. D. (2014). Working Conditions of Microbus Drivers in Mexico City as a Risk Factor in Road Safety. *Social and Behavioral Sciences*, 160, 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.130>
- Berrones Sanz, L. D. (2018). The Working Conditions of Motorcycle Taxi Drivers in Tláhuac, Mexico City. *Journal of Transport & Health*, 8, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.04.008>
- Berrones Sanz, L. D., Cano Olivios, P., Sánchez Partida, D. y Martínez Flores, J. L. (2018). Lesiones, enfermedades y accidentes de trabajo de los conductores del autotransporte de carga en México. *Acta Universitaria*, 28(0). <https://doi.org/10.15174/au.2018.1946>
- Berrones Sanz, L. D. y González Peña, E. C. (2018). Estado del arte de las condiciones laborales y de salud de los choferes profesionales. *Revista Red de Investigación en Salud en el Trabajo*, 1(2), 21–29.
- Berrones Sanz, L. D. y Muro Báez, V. A. (2016). Ciclismo urbano. *Conversus*, (119), 14–15. Recuperado de <http://www.cedicyt.ipn.mx/RevConversus/Paginas/Inicio.aspx>

- Berrones-Sanz, L. D. y Araiza Díaz, E. M. (2019). Working and health conditions of female taxi drivers in Mexico City: A comparative analysis between women and men. *Research in Transportation Business & Management*, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100371>
- Bocarejo, J. P., LeCompte, M. C. y Zhou, J. (2012). *The life and death of urban highways*: Institute for Transportation and Development Policy; EMBARQ.
- Bongardt, D., Schmid, D., Huizenga, C. y Litman, T. (2011). *Sustainable Transport Evaluation: Developing Practical Tools for Evaluation in the Context of the CSD Process Sustainable Urban Transport*.
- Brown, C. y Lazarus, E. (2018). Genuine Progress Indicator for California: 2010–2014. *Ecological Indicators*, 93, 1143–1151. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.072>
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Bureau of Transportation Statistics. *Reports of Violent Crime, Property Crime, and Arrests by Transit Mode*. Recuperado de <https://www.bts.gov/content/reports-violent-crime-property-crime-and-arrests-transit-mode>
- Caballero Romero, A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis: La metodología del cómo formularlos*. México: Cengage Learning.
- Cairns, S., Hass-Klau, C. y Goodwin, P. (1998). *Traffic impact of highway capacity reductions: Assessment of the evidence*. London: Landor Pub.
- Cámara de Diputados. (1966). *Los presidentes de México ante la Nación: informes, manifiestos y documentos de 1821 a 1966. Tomo 4. Informes y respuestas desde el 30 de noviembre de 1934 hasta el 1 de septiembre de 1966*: Editado por la XLVI Legislatura de la Cámara de Diputados.
- Cascetta, E. (2009). *Transportation systems analysis: Models and applications* (2nd ed.). *Springer optimization and its applications: Vol. 29*. New York: Springer.
- Ceccato, V., Uittenbogaard, A. y Bamzar, R. (2013). Security in Stockholm's underground stations: The importance of environmental attributes and context. *Security Journal*, 26(1), 33–59. <https://doi.org/10.1057/sj.2011.32>

- Chazan, D. y Venetoulis, J. (2015). Ecological Footprint. En J. B. Holbrook (Ed.), *Ethics, Science, Technology, and Engineering: A Global Resource* (2ª ed., pp. 19–20). Farmington Hills, MI: Macmillan Reference USA.
- Cho, F. (2019). *Analytic Hierarchy Process for Survey Data in R*. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/ahpsurvey/vignettes/my-vignette.html>
- co2nnect. *Calculation of emissions*. Recuperado de <https://www.co2nnect.org/>
- Conuee. (2019). *Lista de combustibles 2019 que se considerarán para identificar a los usuarios con un patrón de alto consumo, así como los factores para determinar las equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428334/Lista\\_de\\_combustibles\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428334/Lista_de_combustibles_2019.pdf)
- CRE. (2019). *Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional*. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442910/Aviso\\_Factor\\_de\\_Emisiones\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/442910/Aviso_Factor_de_Emisiones_2018.pdf)
- Dalkmann, H. y Huizenga, C. (2010). *Advancing Low-Carbon Transport Through the GEF*. Washington: Scientific and Technical Advisory Panel (STAP).
- Daly, H. E., Cobb, J. B. y Cobb, C. W. (1989). *For the common good: Redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*. Boston: Beacon Press.
- Damian, S., Flores, M. y Flores, Mayra, Téllez, Rodolfo. (2001), *además: Caso II, Jalisco. Publicación Técnica: Vol. 187*. Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte (IMT).
- Day, J. R. y Reed, J. (2008). *The Story of London's Underground* (10th ed.). Middlesex: Capital Transport Pub.
- de Rus Mendoza, G., Campos, J. y Nombela Merchán, G. (2003). *Economía del transporte*. Barcelona: Antoni Bosch.
- Delgado, D. (2016, abril 1). Ve IP mal servicio en transporte público. *El Universal*. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/cdmx/2016/04/1/ve-ip-mal-servicio-en-transporte-publico>

- Di Ciommo, F., Monzón, A. y Wang, Y. (2012). *Una metodología para analizar la accesibilidad al transporte y el riesgo de exclusión social*. X Congreso de Ingeniería del Transporte, Granada, España.
- Duranton, G. y Turner, M. A. (2011). The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. *American Economic Review*, 101(6), 2616–2652.  
<https://doi.org/10.1257/aer.101.6.2616>
- Elvik, R. y Vaa, T. (2006). *El manual de medidas de seguridad vial*. España: Fundación Instituto Tecnológico para Seguridad del Automóvil.
- Espinoza, E. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. *Conrado*, 14, 39–49. Recuperado de  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442018000500039&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442018000500039&nrm=iso)
- European Union. (2021). *Road transportation workers*. Recuperado de  
[https://europa.eu/youreurope/business/human-resources/transport-sector-workers/road-transportation-workers/index\\_en.htm](https://europa.eu/youreurope/business/human-resources/transport-sector-workers/road-transportation-workers/index_en.htm)
- Fare Free Public Transport. (2021). *Cities*. Recuperado de  
<https://freepublictransport.info/city/>
- Felson, M., Belanger, M., Bichler, G., Bruzinski, C., Campbell, G., Fried, C., ... Williams, L. (1996). Redesigning Hell: Preventing Crime and Disorder at the Port Authority Bus Terminal. En R. Clarke (Ed.), *Preventing Mass Transit Crime* (Vol. 6, pp. 5–92). Monsey, New York: Criminal Justice Press.
- FGJ. (2021). *Víctimas en carpetas de investigación PGJ*. Recuperado de  
<https://datos.cdmx.gob.mx/>
- Fulton, L., Hardy, J. y Schipper, L. (2002). *Bus systems for the future: Achieving sustainable transport worldwide*. Paris: OECD/IEA.
- Fundación CETMO. (2006). *Manual de apoyo para la implantación de la gestión de la calidad según norma une-en 13816 en empresas de transporte de viajeros por carretera*.
- Gilbert, R., Irwin, N., Hollingworth, B. y Blais, P. (2003). *Sustainable Transportation Performance Indicators (STPI)*. Transportation Research Board. 82nd Annual Conference, Washington DC.

- Goldsmith, E., Allen, R., Allaby, M., Davoll, J. y Lawrence, S. (1972). The Ecologist's Blueprint for Survival. *The Ecologist*, II.
- GTZ. (2011). *Sustainable Urban Transport: Avoid-Shift-Improve (A-S-I)*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Recuperado de <https://www.sutp.org/publications/sustainable-urban-transport-avoid-shift-improve-a-s-i/>
- GTZ. (2015). *10 Principles for Sustainable Urban Transport*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Gwilliam, K. (2017). *Transport Pricing and Accessibility*. Washington, D.C.: Brookings.
- Härmä, M. (2006). Workhours in relation to work stress, recovery and health. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 32(6), 502–514.  
<https://doi.org/10.5271/sjweh.1055>
- Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *American Economic Review*, 67(5), 972–974.
- Hernández, S. (2014). *Viajar en Chatarra*. Recuperado de [http://archivo.eluniversal.com.mx/graficos/graficosanimados14/EU\\_Rutas\\_Micros/](http://archivo.eluniversal.com.mx/graficos/graficosanimados14/EU_Rutas_Micros/)
- Hotelling, H. (1991). The economics of exhaustible resources. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53(1-2), 281–312. [https://doi.org/10.1016/S0092-8240\(05\)80050-3](https://doi.org/10.1016/S0092-8240(05)80050-3)
- IMCO. (2019). *Índice de Movilidad Urbana: Barrios mejor conectados para ciudades más incluyentes*. México: Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.
- IndexMundi. (2017). *Ahorro neto ajustado, excluido el daño por emisión de partículas (% del ingreso nacional bruto: INB)*. Recuperado de <https://www.indexmundi.com/es/datos/indicadores/NY.ADJ.SVNX.GN.ZS>
- INEGI. (2000). *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática; Instituto Nacional de Ecología.
- INEGI. (2014). *Indicadores de Bienestar por entidad federativa*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/bienestar/>
- INEGI. (2015). *Información por entidad: Ciudad de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me>

- INEGI. (2017a). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/eod/2017/>
- INEGI. (2017b). *Resultados de la Encuesta Origen-Destino en Hogares 2017 de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/#Tabulados>
- INEGI. (2017c). *Vehículos de motor registrados en circulación*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/est/lista\\_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=8](http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=adm&c=8)
- INEGI. (2018a). *Banco de Indicadores*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- INEGI. (2018b). *Encuesta Origen-Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017 EOD: Documento metodológico*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- INEGI. (2019). *Indicadores por entidad federativa*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/estatal/>
- INEGI. (2020). *Accidentes de tránsito terrestres en zonas urbanas y suburbanas*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/>
- Inglada i Renau, L. y Teixidio Medina, N. (2010). *Logística urbana: Ciudad y mercancías* (1ª ed.). *Biblioteca de logística*. Barcelona: Marge Books.
- Irastorza Trejo, V. y Fernández Martínez, X. (2010). Balance nacional de energía y su relación con el inventario nacional de emisiones. *Realidad, datos y espacio revista internacional de estadística y geografía*, 1(1), 44–58.
- Jackson, A. A. (1986). *London's metropolitan railway*. Newton Abbot, North Pomfret Vt.: David & Charles.
- Keenan, E. (2015, mayo 6). San Francisco's waterfront freeway was removed 25 years ago. No one misses it.
- Kenny, D. C., Costanza, R., Dowsley, T., Jackson, N., Josol, J., Kubiszewski, I., ... Thompson, J. (2019). Australia's Genuine Progress Indicator Revisited (1962–2013). *Ecological Economics*, 158, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.11.025>

- Li, F., Liu, X., Hu, D., Wang, R., Yang, W., Li, D. y Zhao, D. (2009). Measurement indicators and an evaluation approach for assessing urban sustainable development: A case study for China's Jining City. *Landscape and Urban Planning*, 90(3-4), 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.022>
- López, I. G. (2004). *Calidad en la Universidad. Evaluación e indicadores*: Ediciones Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=bDuGdMpO1ZUC>
- Manheim, M. L. (1979). *Fundamentals of transportation systems analysis. MIT Press series in transportation studies: Vol. 4*. Cambridge, MA, London: MIT Press.
- Metrobús. (2019). *Metrobús*. Recuperado de <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/>
- Mitchell, G. (1996). Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, 4(1), 1–11. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1719\(199603\)4:1%3C1::AID-SD24%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1719(199603)4:1%3C1::AID-SD24%3E3.0.CO;2-N)
- Mohebbi, I., Matinkhah, M., Nabizadeh, F., Blouri, A., Saba, A. y Shirazi, A. (2010). The Metabolic Syndrome and its Association with Over Time Driving in Iranian Professional Bus Drivers. *International Journal of Occupational Hygiene*, 2(1), 37–41.
- Molinero, A. y Sánchez, L. (1997). *Transporte público: Planeación, diseño, operación y administración* (2. ed.). México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Newton, A. (2014). Crime on Public Transport. En G. Bruinsma y D. Weisburd (Eds.), *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice* (pp. 709–720). New York, NY: Springer New York.
- Ojo, T. K. (2017). Quality of public transport service: An integrative review and research agenda. *Transportation Letters*, 11(2), 104–116. <https://doi.org/10.1080/19427867.2017.1283835>
- Oleas-Montalvo, J. (2013). *El Sistema de Cuentas Ambientales y Económicas (SCAE) 2012: fundamentos conceptuales para su implementación. Estudios Estadísticos: Vol. 84*. Santiago de Chile: Naciones Unidas; CEPAL.
- Oña, J. de y Oña, R. de. (2015). Quality of Service in Public Transport Based on Customer Satisfaction Surveys: A Review and Assessment of Methodological Approaches. *Transportation Science*, 49(3), 605–622. <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0544>

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2002). *Glossary of statistical terms: Gross Domestic Product (GDP)*. Recuperado de <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1163>
- Organización de las Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Recuperado de <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-de-desarrollo-del-milenio/>
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations. Oslo, Norway.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Sustainable Development Goals*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- Palacio-Prieto, J. L., Propin Frejomil, e., Sánchez-Salazar, M. T., Delgado Campos, J., Chias Becerril, L., Ortiz Álvarez, M. I., ... Camacho Ramírez, C. G. (2004). *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial* (1. ed.). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México; SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social; SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología.
- PAOT. (2009). *Evaluación del Ruido Generado en la Red del Sistema de Transporte Colectivo Metro*. Recuperado de <http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EsPA-02-2009.pdf>
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. y Berry, L. (1988). SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality. *Journal of Retailing*, 64(1), 12–40.
- Peñalosa, E. (2005). *The Role of Transport in Urban Development Policy. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities: Module 1a*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Perveen, S., Kamruzzaman, M. y Yigitcanlar, T. (2018). What to assess to model the transport impacts of urban growth? A Delphi approach to examine the space–time suitability of transport indicators. *International Journal of Sustainable Transportation*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1491077>
- Pogliaghi, L. y Aunis, E. (2019). Resistencias, organización y acción colectiva de conductores de Uber en México, Québec y Francia: Un análisis comparativo. En Colmex

- (Ed.), *Primer congreso de tesis sobre trabajo no clásico*. México: Colegio de México.
- Presidencia de la República. (2015). *Los Objetivos de Desarrollo del Milenio en México Informe de avances 2015*. México: Gobierno de la República.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente 5/9/2016.
- Quiroga Martínez, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas. Serie Manuales: Vol. 16*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL/ECLAC, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos.
- Rivas, M., Serebrisky, T. y Suárez, A. (2019). *¿Qué tan asequible es el transporte en América Latina y el Caribe? Nota Técnica: IDB-TN-1588*: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Robb, M. J. M. y Mansfield, N. J. (2007). Self-reported musculoskeletal problems amongst professional truck drivers. *Ergonomics*, 50(6), 814–827.  
<https://doi.org/10.1080/00140130701220341>
- Rodríguez, C. A. (2009). *Los convenios de la OIT sobre seguridad y salud en el trabajo: Una oportunidad para mejorar las condiciones y el medioambiente de trabajo*. Buenos Aires: OIT.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (2004). Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1–35.  
<https://doi.org/10.1007/s11518-006-0151-5>
- Sabbagh, S., Friedman, L. y Richter, E. D. (2005). Working conditions and fatigue in professional truck drivers at Israeli ports. *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 11(2), 110–114.  
<https://doi.org/10.1136/ip.2004.007682>

- Salini, P. (2003). Transport et démocratie durable: Assentiment et dynamique des systèmes. *Revue internationale des sciences sociales*, 176(2), 389.  
<https://doi.org/10.3917/riss.176.0389>
- Sang, Y. y Li, J. (2012). Research on Beijing Bus Driver Psychology Fatigue Evaluation. *Procedia Engineering*, 43, 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.076>
- Santos, A. S. y Ribeiro, S. K. (2013). The use of sustainability indicators in urban passenger transport during the decision-making process: The case of Rio de Janeiro, Brazil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 251–260.  
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.010>
- Sarkar, P. K., Maitri, V. y Joshi, G.J. (2017). *Transportation planning: Principles, practices and policies* (Eastern economy edition). Delhi: PHI Learning Private Limited.
- Sdoukopoulos, A., Pitsiava, M., Basbas, S. y Papaioannou, P. (2019). Measuring progress towards transport sustainability through indicators: Analysis and metrics of the main indicator initiatives. *Transportation Research Part D*, 67, 316–333.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.020>
- SEMARNAT. *Sistema Nacional de Indicadores Ambientales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/clave18/index.html>
- SEMARNAT. (2019). *Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>
- SENER. (2021). *Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional*. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener>
- Shankalia, U. y Kannappan, M. (2018). An Analysis on the Reasons for Increasing Crime Rate in India: A Special Reference on Duration from Year 2010-2016. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119(17), 1411–1423.
- Siche, R., Agostinho, F., Ortega, E. y Romeiro, A. (2007). Índices versus indicadores: Preciões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, 10(2), 137–148. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2007000200009>

- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., ... Tiwari, G. (2014). Transport. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, ... J. C. Minx (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report* (pp. 599–670). Cambridge: Cambridge University Press.
- SNIEG. (2019). *Catálogo Nacional de Indicadores*. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Recuperado de <https://www.snieg.mx/cni/indicadores.aspx?idOrden=1.1>
- STC. (2008). *Características generales del material rodante*. Sistema de Transporte Colectivo Metro. Recuperado de <https://metro.cdmx.gob.mx/operacion/mas-informacion/material-rodante>
- STC. (2018). *Inauguraciones y ampliaciones en orden cronológico*. Sistema de Transporte Colectivo - Metro. Recuperado de <https://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/cronologia-del-metro>
- STC. (2021a). *Cifras de Operación en el STC*. Sistema de Transporte Colectivo Metro. Recuperado de <https://metro.cdmx.gob.mx/operacion/cifras-de-operacion>
- STC. (2021b). *Costo del boleto del Metro*. Sistema de Transporte Colectivo Metro. Recuperado de <https://metro.cdmx.gob.mx/acerca-del-metro/mas-informacion/historia-del-cost-del-boleto>
- STE. (2021). *Acerca de*. Recuperado de <https://www.ste.cdmx.gob.mx/>
- Stockhammer, E., Harald, Obermayr, B. y Steiner, K. (1997). The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian (revised) ISEW calculation 1955–1992. *Ecological Economics*, 21(1), 19–34. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00088-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00088-2)
- STPS. (2020). *Salarios mínimos vigentes a partir del 01 de enero de 2018*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conasami/documentos/tabla-de-salarios-minimos-generales-y-profesionales-por-areas-geograficas>
- Swansea Museum. (2018). *Mumbles Train*. Recuperado de <http://www.swanseamuseum.co.uk/swansea-a-brief-history/mumbles-train>

- TCRP. (1999). *Transit Capacity and Quality of Service Manual. TCRP (Project A-15) Contractor's Final Report: Document 6*. Washington, D.C.: Transit Cooperative Research Program.
- Toledo, F. (2006). *Manual de prevención de accidentes de tráfico en el ámbito laboral: In itinere y en misión*. Valencia, España: INTRAS.
- UITP. (2018). *World metro figures 2018: Statistics brief*. Union Internationale des Transports Publics. Recuperado de <https://www.uitp.org/world-metro-figures-2018>
- United Nations. (1966). *International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights*. Recuperado de <https://www.ohchr.org/EN/ProfessionalInterest/Pages/CESCR.aspx>
- Van Den Berg, R. y Langen, P. W. de. (2015). Environmental sustainability in container transport: The attitudes of shippers and forwarders. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(2), 146–162.  
<https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1164838>
- Van Der Beek, A., Frings, M. H. W., van Dijk, F. J. H., Kemper, H. C. G. y Meijman, T. F. (1993). Loading and unloading by lorry drivers and musculoskeletal complaints. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12(1), 13–23.  
[https://doi.org/10.1016/0169-8141\(93\)90034-B](https://doi.org/10.1016/0169-8141(93)90034-B)
- Van Hauwermeiren, S. (1999). *Manual de economía ecológica (2a ed.)*. Santiago de Chile: Ediciones Abya-Yala; Programa de Economía Ecológica; Instituto de Estudios Ecologistas del Tercer Mundo.
- Vera, B. y Lugo, S. (2016). Matriz de consistencia metodológica. *Ciencia Huasteca Boletín Científico de la Escuela Superior de Huejutla*, 4(8).  
<https://doi.org/10.29057/esh.v4i8.318>
- Vidal, E., Acosta, D., Rueda, B. y García, A. (2015). Residuos generados y su manejo en talleres mecánicos automotrices de Ciudad Valles, San Luis Potosí. *Tectzapic*, 1(2), 1–8.
- WBG. (2019). *CO2 emissions (kt)*. World Bank Group. Recuperado de <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>
- World Bank. (2011). *The changing wealth of nations: Measuring sustainable development in the new millennium. Environment and development*. Washington D.C.: World Bank.

- Wright, L. (2005). *Bus Rapid Transit*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Wright, L. y Fjellstrom, K. (2015). *Mass Transit Options. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities: 3a*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- WWF. (2018). *Living Planet Report - 2018: Aiming Higher*. Gland, Switzerland: World Wide Fund.
- Yale Center for Environmental Law & Policy. (2018). *2018 Environmental Performance Index: Global metrics for the environment: Ranking country performance on high-priority environmental issues*. Recuperado de <https://epi.envirocenter.yale.edu/downloads/epi2018policymakerssummaryv01.pdf>
- Yavuz, N. y Welch, E. W. (2010). Addressing fear of crime in public space: Gender differences in reaction to safety measures in train transit. *Urban studies (Edinburgh, Scotland)*, 47(12), 2491–2515. <https://doi.org/10.1177/0042098009359033>

# Anexo A: Cuestionario “sostenibilidad en el transporte público”

---

Este cuestionario tiene la finalidad de identificar el peso relativo entre diferentes atributos que intervienen en los sistemas de transporte urbano.

Su contestación tiene un tiempo estimado de diez minutos, y consiste en comparar nueve criterios en los sistemas de transporte; cada uno deberá ser evaluado en comparación con su par. Para la evaluación, primero se deberá indicar que característica es la más importante, luego se deberá evaluar de acuerdo con la siguiente escala:

<b>Valor</b>	<b>Definición</b>
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores

## COMENTARIOS:

1. El criterio Seleccionado es igual de importante que el Otro criterio.
2. La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio Seleccionado sobre el Otro.
3. La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio Seleccionado sobre el Otro.
4. El criterio Seleccionado es mucho más importante que el Otro.
5. No hay duda de que el criterio Seleccionado es más importante que el Otro.

Los datos recabados se utilizarán únicamente con fines académicos y no serán compartidos o publicados de manera individual. Para cualquier aclaración podrá comunicarse al 58501902 ext. 14346 o al correo electrónico [luis.berrones@hotmail.com](mailto:luis.berrones@hotmail.com)

**Datos generales:**

Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Grado de Estudios: Licenciatura ( ) Maestría ( ) Doctorado ( )

Área de especialidad: \_\_\_\_\_

Ocupación: Empleado gubernamental ( ) Profesor-Investigación ( ) Organización No Gubernamental ( ) Otros: \_\_\_\_\_

Lugar de trabajo: \_\_\_\_\_

Sector: Público ( ) Privado ( )

País: México ( ) Otro: \_\_\_\_\_

**Comparaciones relativas:<sup>8</sup>**

Instrucciones: Entre los siguientes factores, selecciona la de mayor importancia. Luego indica en qué medida es más importante utilizando la escala de Saaty.

Por ejemplo, para la primera comparación el participante considera que las Emisiones contaminantes (CO<sub>2</sub>eq/pas·km) son más importantes que la Generación de ruido (≥65db), por lo que se marca con una “X” a un costado de las Emisiones contaminantes. Luego, dado que de acuerdo con la escala de Saaty se considera que tiene una “Importancia moderada”, se marca la casilla correspondiente al nivel “3”.

Id	Factores a comparar	X	Importancia relativa								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)	X									
	Generación de ruido (≥ 65db)				X						

---

<sup>8</sup> El cuestionario fue aplicado a través de internet, con la aplicación Google formularios, por lo que el ambiente y la apariencia cambian significativamente.

Iniciar cuestionario

Id	Factores a comparar	X	Importancia relativa								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Generación de ruido ( ≥ 65db)										
2	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
3	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
4	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
5	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
6	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
7	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
8	Emisiones contaminantes (CO <sub>2</sub> eq/pas·km)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
9	Generación de ruido ( ≥ 65db)										
	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
10	Generación de ruido ( ≥ 65db)										
	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
11	Generación de ruido ( ≥ 65db)										
	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
12	Generación de ruido ( ≥ 65db)										
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										

(continua)

Id	Factores a comparar	X	Importancia relativa								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Generación de ruido ( $\geq 65\text{db}$ )										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
14	Generación de ruido ( $\geq 65\text{db}$ )										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
15	Generación de ruido ( $\geq 65\text{db}$ )										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
16	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
17	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
18	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
19	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
20	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
21	Eliminación de residuos (aceite, neumáticos, baterías, vehículos, etc.)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
22	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
23	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
24	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										

(continua)

Id	Factores a comparar	X	Importancia relativa								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
26	Asequibilidad (tarifa de transporte en comparación con el salario, %UMA)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
27	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
28	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
29	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
30	Tiempo de tránsito (Velocidad comercial y tiempo de espera)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
31	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
32	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
33	Calidad de transporte (índice de ocupación, discapacitados, niños etc.)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
34	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
35	Accidentes de tránsito (Personas Lesionadas o muertas)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										
36	Actos violentos (Robos, asesinatos, agresiones sexuales)										
	Condiciones laborales de los conductores (Seguridad social, jornada laboral, vacaciones, etc.)										

# Anexo B: Cédula de datos del transporte urbano

Ítem	Indicador	Unidades	Registro
B1	Tipo de Energía o combustible ( $E$ ).	Energía eléctrica=1, Gasolina=2, Diésel=3, Gas=4, Otro=5	
B2	Pasajero por viaje-año ( $pas$ -año).	pas/año	
B3	Cantidad de energía o combustible utilizado ( $VC$ ).	kw/año	
B4	Factor de emisión ( $FE$ ).	kgCO <sub>2</sub> /kWh	
B5	Poder calorífico ( $PC$ ).	J/seg	
B6	Nivel del ruido en puntos fijos ( $LA_{nl}$ ).	dB	
B7	Nivel del ruido en puntos móviles ( $LA_{ob}$ ).	dB	
B8	Residuos peligrosos ( $H_w$ ).	No=0, Si=1	
B9	Residuos especiales ( $S_w$ ).	No=0, Si=1	
B10	Desecho de vehículos ( $V_s$ ).	No=0, Si=1	
B11	Tarifa ( $T_f$ ).	[\$]Tarifa/viaje	
B12	Salario mínimo diario ( $D_w$ ).	[\$]Salario mínimo/día	
B13	Distancia total de ciclo ( $d_c$ ).	km/ciclo	
B14	Tiempo total del ciclo ( $t_c$ ).	hr/ciclo	
B15	De la norma UNE-EN 13816 ( $Q_{une}$ ).	No=0, Si=1	
B16	De la norma ISO ( $Q_{iso}$ ).	No=0, Si=1	
B17	Fatalidades causadas en tránsito ( $A_{ff}$ ).	Núm. Accidentes	
B18	Lesiones causadas en tránsito ( $A_{fi}$ ).	Núm. Accidentes	
B19	Daños materiales causados por el tránsito ( $A_{fp}$ ).	Núm. Accidentes	
B20	Delitos violentos denunciados ( $Of_v$ ).	Núm. Delitos	
B21	Delitos contra la propiedad denunciados ( $Of_p$ ).	Núm. Delitos	
B22	Arrestos por ofensas o desorden público ( $Of_a$ ).	Núm. Delitos	
B23	Tiempo de trabajo limitado ( $\leq 9$ hr/día) ( $L_{wt}$ ).	No=0, Si=1	
B24	Dispone de Seguridad social ( $S_s$ ).	No=0, Si=1	