

## Notas y comentarios

### Sustentabilidad y transporte desde un enfoque de jerarquización para la ciudad de Mexicali, Baja California

### Sustainability and transport from a hierarchical approach for the city of Mexicali, Baja California

Francisco Javier Peralta Castillo\*

#### Resumen

*El presente trabajo tiene como objetivo general examinar los principios de sustentabilidad en el sistema de transporte de la ciudad de Mexicali, Baja California, desde un enfoque de jerarquización.*

*El transporte como actividad debería conllevar el desarrollo de sistemas sostenibles, incluidos energía eficiente, sistemas multimodales de transportación, sistemas de comunicación –en especial del transporte público–, así como combustibles y vehículos limpios (Zhang y Ferrari, 2013, p. 1).*

*Los resultados muestran que en el sistema de transporte de la ciudad no están integrados los principios de sustentabilidad: accesibilidad, movilidad, planeación urbana, redes, entre otros.*

**Palabras clave:** desarrollo sustentable; jerarquización; transporte sustentable; sistema de transporte.

#### Abstract

*The present work has as general objective to examine the principles of sustainability in the transportation system of the city of Mexicali, Baja California, from a hierarchical approach.*

*Transport as an activity involves the development of sustainable systems, including efficient energy, multimodal mobility systems, communication systems; especially, public transport involves fuels and clean vehicles (Zhang and Ferrari, 2013, p. 1).*

\* Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales. Dirección: Carlos Pacheco 7, CP 22890, Ensenada, Baja California, México. Correo: [peraltaf@uabc.edu.mx](mailto:peraltaf@uabc.edu.mx) ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8516-0860>

*The results show that sustainability principles in the city's transportation system are not integrated: accessibility, mobility, urban planning, networks, among others.*

**Keywords:** sustainable development; hierarchy; sustainable transport; transport system.

## Introducción

El crecimiento económico de las ciudades está condicionado, entre otros aspectos, a la eficiencia del sistema de transporte con el que cuentan, que les debe permitir acceder a los mercados, intercambiar su producción y disminuir sus costos marginales, en un ámbito de competitividad global y de integración económica.

En la actualidad, las políticas de transporte difieren mucho de una ciudad a otra y de un país a otro, al igual que los patrones de viaje de las personas. Pero, a pesar de las diferencias aparentes en sus operaciones y tecnología, tales políticas están cumpliendo con una exigencia básica para el transporte: la movilidad y la accesibilidad.

Sin embargo, durante las dos últimas décadas ha habido una tendencia alarmante en el incremento del uso del automóvil. Los kilómetros-vehículo recorridos (KVR) prácticamente se han triplicado al pasar de 106 millones en 1990, a 339 millones en 2010. Esta tendencia implica un aumento de todos los impactos negativos generados por el automóvil (contaminación, accidentes, enfermedades, congestión, etc.) (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, ITDP México, 2012, p. 24).

La movilidad urbana es uno de los principales retos que enfrentan actualmente las ciudades mexicanas. Para elevar la calidad de vida de sus habitantes y lograr atraer más inversión y talento, las ciudades deben crear redes de movilidad que faciliten el traslado de personas y mercancías.

Esta creciente movilidad de las personas, a través de la aceptación social del vehículo privado, podría suponer que proseguirá con la inversión pública en infraestructura del transporte, con los altos costos que esto conlleva, produciendo áreas de baja densidad, así como mayor consumo energético, por citar algunos efectos.

Esta dualidad provoca, por un lado, la generación de inversión en los sistemas de transporte, infraestructura, etcétera, para mejorar el crecimiento económico, y por otro, mayores costos ambientales y sociales (aumentando el debate de por lo menos los últimos veinte años) (Banister, 2012, p. 10).

Hay un déficit de estudios que se refieran a la evaluación del transporte con un enfoque de sustentabilidad, apegado a casos de estudio para ciudades

y zonas metropolitanas de nuestro país; los existentes más bien se ciñen a planes de desarrollo urbano que integran políticas de movilidad y proyectos de desarrollo orientados al transporte.

La dificultad para medir los efectos y las interacciones que genera el transporte como una actividad básica de conectividad sobre todo en áreas urbanas, incorporando principios de sustentabilidad (como accesibilidad, movilidad, eficiencia económica, planeación urbana y equidad), hace necesario el desarrollar este tipo de análisis como instrumento de referencia.

El presente trabajo tiene como objetivo general implementar una metodología multicriterio para proponer estrategias que favorezcan los patrones de movilidad y accesibilidad en la ciudad de Mexicali, Baja California, desde un enfoque de desarrollo sustentable.

Las preguntas que sustentan este trabajo son: ¿cuáles son los principios que desde el paradigma de la sustentabilidad debe incorporar el transporte?, ¿qué acciones de gestión deben de implementarse para alcanzar los principios de sustentabilidad en el sistema de transporte?

## **Movilidad y accesibilidad**

La accesibilidad puede ser definida en términos de potencial de oportunidades (que podrían ser alcanzados) o en términos de actividad (oportunidades que se alcanzan). Incluso las personas que no utilizan actualmente una forma particular de acceso, pueden valorar tenerlo disponible para su posible uso futuro (valor de opción). Por ejemplo, los automovilistas pueden apreciar el contar con servicios de transporte público disponible en caso de ser incapaces de conducir en el futuro (Litman, 2012, p. 8).

La movilidad se define como una medida de acción humana con la que la gente decide moverse a sí misma y a sus mercancías, y depende del rendimiento del sistema de transporte disponible, así como de las características individuales.

La accesibilidad indica la proximidad física, o la capacidad y la facilidad para llegar a varios destinos o lugares, ofreciendo oportunidades para realizar las actividades deseadas. “Acceso” es una palabra que puede ser confundida con transporte en relación con su uso. En los estudios sobre transporte es en gran parte sinónimo de “accesibilidad”; en la literatura tiene un uso mucho más general relacionado con la capacidad de las personas para obtener y utilizar un activo (Bryceson, Maunder, Mbara, Kibombo, Davis y Howe, 2003, p. 4).

La movilidad se refiere al movimiento físico, medido por los viajes, la distancia y la velocidad, como persona-millas (o persona-kilómetros) para

los viajes personales, y toneladas-milla (o toneladas-kilómetro) para los viajes de mercancías. Todo lo demás es igual: mayor movilidad incrementa la accesibilidad: los que más y más rápido pueden viajar, más destinos pueden alcanzar (Litman, 2012, p. 35).

Parte de la confusión en el uso de estos términos puede derivar de la relación entre ellos. Movilidad —el potencial de movimiento— está relacionado con el componente de impedimento de la accesibilidad; en otras palabras, lo difícil que es llegar a un destino. Las políticas para aumentar la movilidad generalmente aumentan la accesibilidad, por la cual es más fácil alcanzar destinos (Deng, Chan, Ying y Wang, 2011, p. 699).

Es posible tener una buena accesibilidad con poca movilidad. Por ejemplo, una comunidad con congestión grave, pero donde los residentes viven a poca distancia de todo lo necesario y deseado, tiene poca movilidad, pero buena accesibilidad. En este caso, la accesibilidad no depende de una buena movilidad.

Es posible tener buena movilidad, pero mala accesibilidad. Por ejemplo, una comunidad con calles amplias y bajos niveles de congestión, pero con relativamente pocos destinos para ir de compras u otras actividades, o destinos indeseables o inadecuados, tiene buena movilidad, pero poca accesibilidad. La buena movilidad no es una condición suficiente ni una condición necesaria para una buena accesibilidad (Handy, 2002, p. 6).

El debate entonces se está dando sobre qué aspectos son más relevantes o significativos dentro del campo de la sustentabilidad en el transporte con el enfoque al que se le ha dado predominantemente importancia: la movilidad. Las estrategias de movilidad tienen ciertas limitaciones; un creciente cuerpo de evidencia sugiere que, por ejemplo, la construcción de caminos o de infraestructura no es sostenible desde un punto de vista financiero.

## **Transporte sustentable**

El concepto de transporte sustentable emerge desde el informe Brundtland (ONU, 1987), pero es en 1988, en la reunión anual de la Junta de Investigación sobre el Transporte, cuando se aborda de manera más profunda, con las “estrategias de transportación sostenible para el mundo en desarrollo”, haciendo explícita la relación entre el transporte, las necesidades humanas básicas y los efectos ambientales.

Desde entonces se ha visto un mayor número de esfuerzos en busca de definir, diseñar y medir el transporte sostenible (Kennedy, Cuddihy y Engle-Yan, 2007, p. 10; Goldman y Gorham, 2006, p. 265). Según Kennedy et al.

(2007, p. 56), una ciudad sustentable puede solamente ser una en la cual el flujo de entrada de material y energía, y la eliminación de los desechos, no superen en ella la capacidad del entorno circundante de la ciudad.

Para lograr la sustentabilidad del medio ambiente urbano, el consumo debe ser igual o por debajo de lo que el medio ambiente natural –como los bosques, el suelo y los océanos– puede proporcionar, y los contaminantes resultantes no deben ser predominantes a la capacidad del medio ambiente para proveer recursos a los seres humanos y a otros miembros del ecosistema (Comisión Europea, 2015, p. 6).

Así, el concepto del metabolismo urbano, concebido por Wolman (1965, p. 179), es fundamental para el desarrollo de ciudades y comunidades. El metabolismo urbano puede definirse como “la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, lo que resulta en crecimiento, producción de energía y eliminación de residuos” (Kennedy, Cuddihy y Engel-Yan, 2007, p. 44).

En este sentido, a partir de la necesidad de reducir el consumo de los recursos naturales, disminuir el consumo energético, aminorar las emisiones contaminantes, así como mejorar la movilidad y la seguridad, se ha venido construyendo el concepto de transporte sustentable, con esfuerzos institucionales como el de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1996, p. 12), que define inicialmente un sistema de transporte ambientalmente sostenible como aquel que:

[...] no ponga en peligro la salud pública de los ecosistemas y cumpla con la movilidad consistente con *a)* la utilización de recursos renovables por debajo de su tasa de regeneración, y *b)* el uso de los recursos no renovables por debajo de los índices de desarrollo de las energías renovables sustitutas.

El transporte como actividad debería conllevar el desarrollo de sistemas sostenibles, incluidos energía eficiente, sistemas multimodales, sistemas de comunicación (en especial de transporte público), así como combustibles y vehículos limpios; también debería favorecer la mejora de los sistemas de transporte en las zonas rurales (Zhang y Ferrari, 2013, p. 1).

El transporte sustentable puede impulsar el crecimiento económico y mejorar la accesibilidad, logrando una mejor integración económica mientras se lleva a cabo el cuidado del medio ambiente, como un medio para mejorar la equidad social y la salud, y aumentar la productividad de las zonas rurales (Litman, 2012, p. 7).

A partir de estas definiciones, se considera que el concepto que pudiese ser más adecuado sería aquel donde el transporte otorgue oportunidades de

acceder a la movilidad de una forma segura, asequible, eficiente, y que limite las externalidades negativas.

### Estado del arte

El transporte como factor de sustentabilidad ha sido abordado recientemente con gran interés, sobre todo en el ámbito internacional, con el fin de conocer con más detalle las particularidades que conlleva para el desarrollo de las sociedades.

A su vez, las técnicas de evaluación empleadas, a menudo pueden producir estimaciones sesgadas. La valoración o estimación de los costos ecológicos y sociales sumados, hasta donde se sabe, no se ha realizado hasta la fecha. La determinación de accidentes como externalidades encuentra dificultades metodológicas.

Para Parry, Walls y Harrington (2007, p. 379), el gravar al transporte de una manera más severa podría mitigar las externalidades negativas que genera y ayudar a la sostenibilidad. Pocos productos de consumo como el transporte requieren una infraestructura pública gigantesca con el fin de ser útiles; cuesta más de 100 mil millones de dólares al año mantener y crear carreteras y puentes (U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, 2005).

Estados Unidos consume 21 millones de barriles de petróleo al día, de los cuales casi el 60% se importa (por encima del 27% en 1985); la gasolina es la más importante forma de consumo de hidrocarburos, pues representa el 45% de los productos derivados del petróleo (U.S. Department of Energy Information Administration, 2006).

Por otro lado, instituciones internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), aseguran que los sistemas de transporte utilizados en los países que la integran, y en algunos otros, son insostenibles. Han sido implementadas mejoras sustanciales en la tecnología, pero su impacto ha sido más que compensado por el crecimiento en los distintos patrones de movilidad y movimiento de mercancías.

Timilsina y Dulal (2009, p. 7) destacan que el aspecto regulatorio es trascendental en relación con las normas de economía del combustible para reducir la demanda energética del sector transporte, a través de mejoras en la eficiencia en la combustión del vehículo. Varios países tienen introducidas normas de economía de combustible que ayudan a reducir algunos tipos de emisiones, como el CO<sub>2</sub>.

Para el caso de México, Casado (2008, p. 10) encuentra que la movilidad cotidiana de la población es uno de los ámbitos todavía escasamente abordados. Causa fundamental de este abandono relativo es la escasez y dificultad de generar (costo) información sobre este tema; inclusive plantea, por ejemplo, que son nulas las investigaciones que abordan de manera exclusiva los desplazamientos residencia-lugar de estudio, considerados a nivel estadístico los segundos más relevantes después de los desplazamientos residencia-trabajo.

Otros estudios destacan las bondades de instrumentar políticas que ayuden a la reducción de la congestión y la contaminación del aire, así como también otras que mejoren la seguridad vial, ya que pueden producir ahorros económicos equivalentes a varios puntos porcentuales del producto interno bruto (PIB).

En Estados Unidos, las normas de economía del combustible se introdujeron por primera vez en la década de 1970 en un esfuerzo para disminuir los efectos de la primera crisis del petróleo. En la actualidad, tal política también sirve para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pero los resultados en el ahorro de combustible no han mejorado.

La aplicación de las normas de economía de combustible de la Unión Europea resultó en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de vehículos de 186 g/km en 1995 a 140 g/km en 2008. Es decir, las políticas más severas en cuanto al nivel impositivo y de regulación pueden tener efectos positivos en el medio ambiente.

La evaluación del transporte resulta un tema complejo, ya que en algunos casos la información es escasa, incompleta o, a veces, nula. Una de las tendencias para evaluar al transporte es mediante una metodología multicriterio. Esta metodología posee ciertas ventajas al ser comparada con las herramientas de decisión unidimensionales en la medida en que hace posible considerar un número amplio de datos, relaciones, criterios y propósitos, los cuales se presentan dentro de un problema de decisión dado, que se estudia según un modelo multidimensional (Grajales-Quintero, Serrano-Moya y Hahn Von-H, 2013, p. 291).

La determinación de estrategias a partir de la información disponible, y de los costos para generarla, ha permitido recurrir a evaluaciones no tradicionales para poder establecer las prioridades que cada estudio amerita.

Para Novačko, Čavar y Hozjan (2008, p. 171), la mejora en la demanda del transporte a través de la opción intermodal es la alternativa pertinente. Se centra en la elección de una estrategia para la gestión óptima de la demanda de transporte, usando el análisis multicriterio en la ciudad de Zagreb, Croacia.

El hecho de que la Unión Europea esté implicada en la solución de los problemas de tráfico, básicamente por medio de diversas directrices y proyectos de investigación científica, señala la gravedad del problema. La solución para estos problemas últimamente se ha buscado en la gestión de la demanda de transporte (TDM, por sus siglas en inglés).

Individualmente, el transporte intermodal o de tránsito ha demostrado ser la mejor solución para la gestión de la demanda de transporte en Zagreb. En el caso de Taiwán (Shiau y Liu, 2013, p. 365), el propósito de este estudio fue evaluar las estrategias de transporte sostenible para los 23 condados de la isla.

Las tres estrategias mejor clasificadas fueron: intensificar el uso de las motocicletas eléctricas, mejorar los servicios de respuesta a la demanda de transporte (DRTS), e incrementar la accesibilidad de los modos no motorizados. Los resultados analíticos de este estudio enfatizan el adaptar medidas generales y opciones a las condiciones que prevalezcan localmente.

Shiau y Liu (2013) realizan la misma evaluación para la ciudad de Taipéi, donde examinan ciertas estrategias: ordenamiento territorial, modos de desplazamiento y uso de energías limpias. Construyen un índice compuesto de sostenibilidad que incluye los aspectos de la sociedad, la economía y el medio ambiente.

Las cinco estrategias favorecidas por la muestra de los tomadores de decisiones son: mejorar la accesibilidad de los modos no motorizados, promover el uso del biodiesel, mejorar los servicios de demanda de transporte, promover el uso de biogasolina, e incrementar la accesibilidad del transporte para las personas mayores y discapacitadas.

Por otra parte, Dur, Yigitcanlar y Bunker (2009, p. 5) realizan un estudio sobre la diagnosis energética y medioambiental debida al transporte, donde determinan la intensidad del tráfico y la velocidad media de circulación. Para ello, realizan la estimación del consumo y las emisiones por tramo o calle y categoría de vehículo; recurren a métodos *bottom-up* o microescala, y a métodos *top-down* o macroescala.

## Medición de la sustentabilidad en el transporte

En el pasado, las decisiones y la evaluación de los sistemas de transporte se basaron en un enfoque limitado, proporcionado por el análisis económico. Durante los últimos años, se han desarrollado otros métodos para complementar el análisis costo-beneficio (CBA, por sus siglas en inglés) convencional. Hoy en día, el concepto de desarrollo sostenible se utiliza para evaluar



los efectos que no tienen precio y que son cualitativos (La Paix y López, 2011).

Para Rossi, Gastaldi y Gecchele (2012, p. 8), la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de transporte ha sido abordada mediante varios métodos, que pueden agruparse en ocho categorías:

1. Análisis del ciclo de vida (LCA), con aplicaciones limitadas en los sistemas de transporte.
2. Análisis costo-beneficio (CBA) y análisis de costo-efectividad (CEA), que consideran el equivalente monetario de los efectos positivos y negativos de las alternativas del proyecto.
3. Evaluación de impacto ambiental (EIA), a veces incluido en el transporte.
4. Modelos de optimización, aplicados en el contexto del transporte sostenible.
5. Sistema de modelos dinámicos, que describen las relaciones entre los elementos del sistema mediante el examen de los flujos de variables en el tiempo y de los mecanismos de reacción.
6. Modelos de indicadores de evaluación, que se subdividen según el modelo de índice compuesto (por ejemplo, la huella ecológica o el producto nacional bruto verde), los modelos de índices de varios niveles y la matriz multidimensional de los modelos.
7. Método de análisis de datos, que utiliza técnicas estadísticas para evaluar la sostenibilidad.
8. Análisis de decisiones multicriterio (MCDA), que incluyen metodologías conocidas como función de utilidad multiatributo (TUMA), proceso analítico de jerarquías (AHP) y métodos Electre.

Desde el análisis de costo-beneficio se pretende valorar los efectos esperados de una opción en términos monetarios. Estas valoraciones se basan en una teoría económica bien desarrollada al respecto, basada en la disposición a pagar o aceptar. Esta teoría puede actuar como una guía sobre cómo lograr la valoración y servir como árbitro en disputas en torno a la misma.

Las valoraciones se basan en la voluntad de pago de los potenciales ganadores de los beneficios que se reciben como resultado de la opción, y en la disposición de los posibles perdedores a aceptar la indemnización por las pérdidas que tendrán que abonar (Jeon, Amekudzi y Guensler, 2010, p. 22).

Las etapas en las que se divide el desarrollo del CBA son seis: identificación y definición del proyecto; definición de parámetros básicos; definición y estudio de los impactos; valoración monetaria de los mismos; cálculo del indicador de rentabilidad; y análisis de sensibilidad del modelo creado (Tórrres, 2014, p. 4).

Para Eliasson, Börjesson, Odeck y Welde (2014, p. 6), el análisis CBA incluye, con objeto de evaluar proyectos para el transporte, los siguientes parámetros de ganancias y costos: beneficios de accesibilidad para los viajes privados, así como para los viajes de negocios y también para el transporte de mercancías; cambios en las emisiones ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ); seguridad del tráfico (muertes, lesiones graves, lesiones leves, daños materiales); ruido (a menudo se omite debido al costo de calcular sus efectos); excedente del productor para los operadores de transporte (cambio en los ingresos de tarifas menos el cambio en los costos de operación de trenes y transporte público); costos de mantenimiento; costos de inversión; y cambios en los ingresos tributarios relacionados con el transporte (principalmente impuestos al combustible y peajes).

Sin embargo, Valdés (1995, p. 10) menciona que la evaluación CBA presenta una serie de dificultades, incluyendo la naturaleza de los impactos (a menudo difíciles de cuantificar en términos monetarios) y la índole de los objetivos propios (no necesariamente relacionados con la eficiencia económica).

El análisis costo-efectividad (CEA) se deriva de la investigación en las industrias militares y espaciales, y tiene como objetivo seleccionar la opción de menor costo que alcance un nivel predefinido de eficacia. La medida de eficacia refleja la puesta en marcha de un objetivo político específico. Sin embargo, el objetivo en sí es prefijado, y no está sujeto a una evaluación crítica de su conveniencia (por ejemplo, si en realidad los beneficios superan los costos) (De Brucker, Macharis y Verbeke, 2011, p. 843).

El estudio (regional) de impacto económico (REIS) tiene algunas similitudes con la visión clásica de la economía de Adam Smith, que se centró en el papel de la producción. Los intentos del REIS por medir la producción adicional (o valor agregado) están causalmente relacionados con un proyecto (Keeney y Raiffa, 1993, p. 202).

La evaluación de impacto ambiental (EIA) se estableció como una herramienta de evaluación en sí misma, cuando las ideas de Goudzwaard (1970) y las de Hueting (1970) sobre “nueva escasez” fueron ganando terreno. La EIA describe los posibles efectos que un proyecto puede tener sobre el medio natural (fauna, flora, aire, suelo, agua, paisaje, etc.) y en la salud humana, para que los tomadores de decisiones pueden tener en cuenta estos efectos en el momento de decidir sobre la aceptación, la modificación o el rechazo de un proyecto.

Los modelos de sostenibilidad cuantitativos se han aplicado en varios estudios europeos, tales como: Sistemas de Planificación e Investigación de Centros y Ciudades para la Sostenibilidad Urbana (Spartacus, por sus siglas en inglés) y Evaluación Económica de la Sostenibilidad y las Políticas de Transporte (ESCOT).

Spartacus utiliza un sistema integrado de transporte y un modelo de uso del suelo (Meplan) con el fin de evaluar la sostenibilidad de los escenarios de uso de la tierra y del transporte. El modelo, que incluye la interacción del transporte y la interacción de usos del suelo, capta cómo el grado de acceso (accesibilidad) que proporciona el sistema de transporte puede influir en la distribución del territorio, y a su vez, cómo el desarrollo del espacio puede influir en gran medida en los patrones de viajes regionales (De Brucker, Macharis y Verbeke, 2015, p. 850).

Glaister (1999, p. 230) y Prince (1999, p. 223) han utilizado un nuevo enfoque de evaluación (NATA), el cual representa un cambio significativo respecto a los tradicionales análisis de costo-beneficio (CBA). NATA evalúa los impactos en cinco objetivos generales: economía, medio ambiente, seguridad, accesibilidad e integración; al hacerlo, incluye y expande el enfoque de CBA. También divide a los cinco objetivos en subobjetivos (por ejemplo, en medio ambiente se considera el ruido, la contaminación del aire, el paisaje urbano, la biodiversidad, el patrimonio, el agua y los gases de efecto invernadero).

## Principios del transporte sustentable

Los principios son conceptos generales de organización que ayudan a definir las metas, objetivos, prácticas e indicadores. Zheng, Atkinson-Palombo, McCahill, O'Hara y Garrick (2011, p. 15) proponen los siguientes principios para el funcionamiento de un transporte sustentable:

1. Asequibilidad: el transporte es asequible para los individuos.
2. Movilidad: el transporte proporciona movimiento eficiente de personas y mercancías por razones de actividad económica, social y educativa.
3. Equidad financiera: el transporte se financia de manera equitativa.
4. Resiliencia: el transporte es resistente a las fluctuaciones económicas.

En este sentido, el Ministerio de Medio Ambiente de Canadá desarrolló los siguientes principios para la consecución de un transporte sustentable:

- Mejorar el acceso a las personas, bienes y servicios para reducir la demanda de movimiento físico de personas y mercancías.
- Hacer que las decisiones sobre el transporte sean tomadas de manera abierta e inclusiva, y que se tengan en cuenta todos los efectos y las posibilidades razonables.

- Planificar la urbe para que exista expansión del límite, asegurándose de que haya mezclas locales de usos de suelo.
- Fortalecer el transporte público.
- Facilitar el caminar y el andar en bicicleta.
- Proteger los ecosistemas, el patrimonio y los servicios de recreación, así como racionalizar el transporte de mercancías.
- Proteger el medio ambiente mediante la reducción al mínimo de las emisiones, los residuos de la actividad del transporte, el ruido y el uso de los recursos no renovables, en particular los combustibles fósiles; asimismo, garantizar una capacidad adecuada para responder a derrames y otros accidentes.
- Garantizar la viabilidad económica, considerando el internalizar los costos externos del transporte, incluidos los subsidios, y sopesar los beneficios económicos, incluyendo el aumento del empleo que podría ser el resultado de la reestructuración del transporte.
- Formar alianzas con los países desarrollados y en vías de desarrollo con el fin de crear e instrumentar nuevos enfoques para el transporte sostenible.

### **Patrones de movilidad y accesibilidad**

La ciudad de Mexicali se ubica en una zona árida y cuenta con muchas vialidades sin pavimentar. Específicamente, la estación Progreso se asienta en una zona de terracería con intenso flujo vehicular y aledaña a campos agrícolas, lo que puede influir en los niveles registrados en la calidad del aire (Corona Zambrano y Rojas Caldelas, 2009, p. 20). En este sentido, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali (IMIP), en 2011 informó que el porcentaje de cobertura en promedio para el área urbana fue del 50.05%, observándose en la zona céntrica de la ciudad los porcentajes más altos, del 80.72%, y los más bajos en la periferia, Santa Isabel y en la estación Progreso, que en promedio tenían una cobertura apenas del 20%.

Los niveles más altos de contaminación atmosférica se presentan en el poniente de la zona urbana, en la estación Centro de Salud (Progreso), y disminuyen en el centro y el oriente de la red (Instituto Nacional de Ecología, 2011, p. 35).

Mexicali es la ciudad con mayor contaminación atmosférica del país: desde 2010 registró una tasa promedio de 30 muertes relacionadas con los efectos de la contaminación en el aire, como enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2011) y, en particular, ocupa uno de los primeros lugares en contaminación por PM10

en el país, lugar que se disputa con la Zona Metropolitana del Valle de México (Zuk, Tzintzun y Rojas, 2007, p. 12).

El transporte público presenta esquemas de operación tradicionales, los cuales no se ajustan a las nuevas técnicas de programación del servicio y elaboración de roles de trabajo. Los intervalos amplios que se presentan en los itinerarios, debidos a la baja demanda existente, ocasionan amplios tiempos de espera para el usuario (USTRAN, 2007, p. 54).

Asimismo, se observa una disminución considerable de la velocidad de operación, debido al inadecuado trazo geométrico, a las malas condiciones de la carpeta asfáltica y a la sinuosidad en el trazo de las rutas de transporte colectivo (Logit México, 2012, p. 23).

El usuario paga una tarifa alta (16 pesos) que, junto con ciudades del estado de Nuevo León, es de las más altas de México, por un servicio que no cumple cabalmente con sus necesidades, aunados al pago de doble o hasta triple tarifa por supuestos transbordos impuestos por los propios concesionarios.

Existe poca infraestructura no motorizada: en el 62% de la longitud de los corredores urbanos la condición de la vía pública para la movilidad peatonal es mala; son escasas las ciclovías; existen kilómetros de banquetas con distintas calidades para caminar; hay banquetas obstruidas por el comercio; falta señalamiento de protección al peatón o al ciclista en cruces o intersecciones; la intermodalidad ciclista-transporte público prácticamente no existe; también se presenta la obstrucción de las banquetas por automóviles.

Hay un alto número de parque vehicular. El estimado es de 355 813 vehículos registrados en 2015 (sin contar los estadounidenses y los irregulares) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016).

En este sentido, la alta motorización de las ciudades cercanas a la frontera no se debe sólo al grado de desarrollo económico de la región norte del país, sino también a la importación de vehículos usados de Norteamérica. La importación de estos autos, que sólo puede realizarse legalmente si tienen una antigüedad mayor a 10 años, también ha sido un factor fundamental para el crecimiento del parque vehicular en la última década.

La importación de autos usados de Estados Unidos y Canadá podría representar hasta la mitad del incremento en el parque vehicular nacional desde el año 2000 (Islas, Moctezuma, Hernández, Lelis y Ruvalcaba, 2011, p. 37).

Para el caso de la ciudad analizada, de acuerdo a los datos de la Dirección de Administración Urbana de Mexicali (2008), a finales de 2004 existían 20 fraccionamientos cerrados, y en 2008 el número de éstos ascendió a 45, lo que representó un incremento del 225% en sólo cuatro años.

Pérez Brambila (2010, p. 9) destaca los siguientes problemas vinculados a la movilidad que presentan dichos fraccionamientos:

- En la zona con fraccionamientos cerrados existen muy pocos comercios, y están ubicados casi exclusivamente sobre vialidades primarias. En consecuencia, la dificultad para el acceso a estos comercios estimula la utilización del vehículo privado, desincentivando el tránsito peatonal y la interacción comunitaria.
- La falta de diversificación de los medios de transporte, ya que al utilizar los vehículos particulares se genera más contaminación del aire, mayor congestión de las vialidades primarias, incremento en el número de accidentes en los cruces principales de la zona, así como aumento del consumo de combustibles.
- En esta zona los fraccionamientos tienen en promedio un solo acceso. Por su parte, la zona de fraccionamientos abiertos cuenta en promedio con once accesos por colonia.
- Estas zonas tienen muy pocas instituciones escolares, situación que motiva a que la mayoría de los estudiantes deban ser transportados en vehículos a escuelas ubicadas fuera de la zona.
- En toda el área de estudio, el 70% de los vehículos son tripulados sólo por el conductor, lo que evidencia cómo la cultura y el arraigo en el uso del vehículo privado es muy alto, y se incentiva más en la zona de los fraccionamientos cerrados.

Para Mexicali, Corona-Zambrano y Rojas Caldelas (2009, p. 88) proponen, mediante la regulación del uso del suelo, un patrón compacto de ciudad con mayor densidad de población, que tienda a su vez a reducir las distancias entre los espacios habitacionales y de trabajo, acompañado por un incremento en la infraestructura vial primaria y mejores coberturas de pavimentación.

En el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Mexicali 2015-2050 se afirma que para medir el índice de accesibilidad carretera se toman en cuenta dos factores: el índice de accesibilidad del territorio y el índice de accesibilidad de las personas.

La accesibilidad del territorio resulta ser baja. Se observa que 171 699.40 ha tienen 0.12 de accesibilidad; presentan accesibilidad media 196 302.27 ha, con 0.28 de accesibilidad; hay accesibilidad alta en 72 522.39 ha, que tienen 0.16 de accesibilidad; y se tiene una gran cantidad de territorio sin accesibilidad: 953 037.23 ha. Lo anterior muestra un déficit importante, al tener en conjunto sólo 0.56 de accesibilidad, ya que se trata de una porción importante del territorio que no cuenta con accesibilidad adecuada (se incluye a las zonas rurales).

En cuanto al índice de accesibilidad poblacional, con valoración baja hay 8 830 personas que cuentan con 0.01 de accesibilidad; con accesibilidad media, 28 135 individuos con 0.06 de accesibilidad; poseen accesibilidad alta 897 018 habitantes, lo cual implica 2.87 de accesibilidad; mientras que sin accesibilidad sólo hay 2 843 personas. En conjunto, la accesibilidad poblacional es alta, de 2.94, lo que muestra que para la mayoría de la población es adecuada.

## Metodología

La metodología que se propuso para examinar los principios de la sustentabilidad en el sistema de transporte de la ciudad de Mexicali, Baja California, es la evaluación multicriterio; en particular, el proceso analítico jerárquico (AHP), a partir del modelo del Victoria Transport Policy Institute, de Littman (2012), Beria, Maltese y Mariotti (2011), Diappi, Bolchi y Concilio (2010), Tudela, Akiki y Cisternas (2006), Ju (2012), Munda, Nijkamp y Rietveld (1995), así como del *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*, de Pacheco y Contreras (2008), con los siguientes procedimientos.

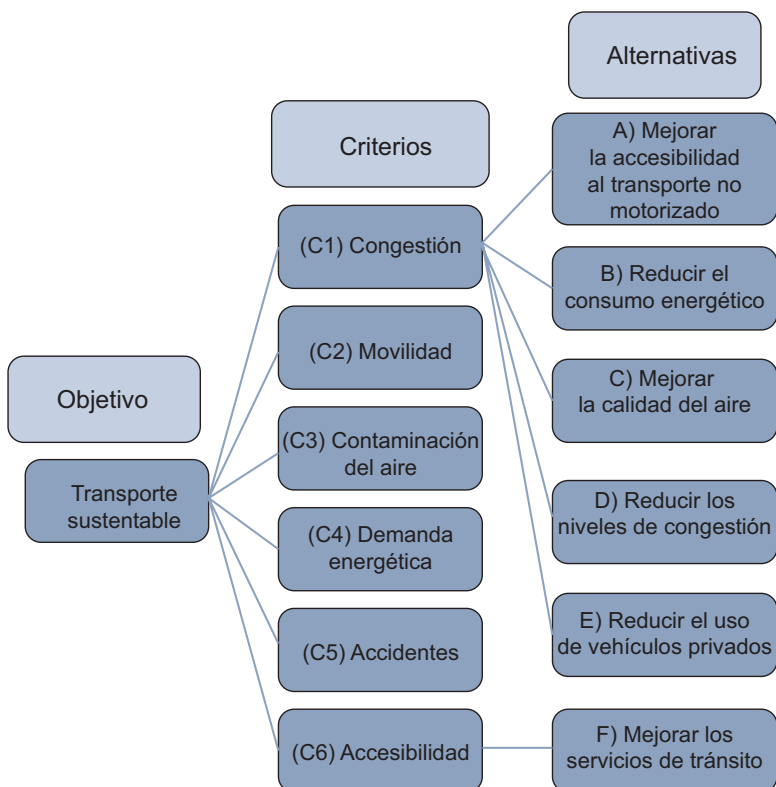
1. Principio de la construcción de jerarquías. El esquema jerárquico está compuesto por objetivo o foco, criterios, subcriterios y alternativas.
2. Establecimiento de prioridades. La escala "AHP".
3. Asignación de pesos. Los pesos o ponderaciones son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Asociado a cada criterio, se asigna un vector de pesos  $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ , siendo  $n$  el número de criterios.
4. Panel de expertos. Se seleccionan expertos en el tema que representan a los distintos sectores que tienen incidencia en el transporte: gubernamental, empresarial, social y académico.
5. Método de asignación directa. A través del panel de expertos, el decisor asigna directamente valores a los pesos. Se pueden atribuir de diferentes formas: por ordenación simple, por tasación simple o por comparaciones sucesivas [Jiménez, 2015, p. 10].

## Desarrollo

El procedimiento que se utiliza en el AHP para normalizar la matriz es por suma, y consiste en que, dada una matriz definida, se sustituya cada elemen-

**Esquema 1**

## Árbol de jerarquías



Fuente: Elaboración propia.

to:  $a_{ij}$  por el cociente entre ese elemento y la suma de todos los elementos de la columna donde está situado  $a_{ij} / \sum a_{kj}$ . Luego de normalizada la matriz de comparaciones pareadas, se suman sus filas y se promedia cada suma para obtener el vector media de sumas o de prioridades globales (Dempster, 1967, p. 365).

Después se realiza el producto de la matriz original por el vector de prioridades globales o media de sumas y se obtiene el vector fila total; éste se divide por el vector de prioridades globales o media de sumas calculado anteriormente, obteniendo de este cociente una matriz columna. Se suman



**Cuadro 1**

Comparaciones pareadas de criterios con respecto al objetivo

<b>Criterio</b>	<b>Criterio</b>						$\Sigma$
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
<b>1</b>	1	1	1/2	1	1/2	1	4.0
<b>2</b>	1	1	1	1	2	1/2	6.5
<b>3</b>	2	1	1	3	1/2	2	9.5
<b>4</b>	1	2	1/3	1	1	1	6.33
<b>5</b>	2	1/3	1	1	2	1/2	6.83
<b>6</b>	1	2	1/2	1	1/2	2	7.0
<b>Total</b>							40.16

Fuente: Elaboración propia a partir del panel de expertos.

todos los elementos de esta matriz y se promedia. El número promedio obtenido es  $\lambda$  max.

En este sentido, se estableció la escala de comparaciones pareadas donde se define la importancia que tiene cada criterio (véase el Cuadro 1), primeramente, respecto al objetivo, definiéndose los valores a través del proceso analítico jerárquico: 1) considerando factores de tipo cualitativo y cuantitativo; y 2) considerando la pluralidad de percepciones de los expertos involucrados en el problema de decisión.

Una vez realizadas las comparaciones, se procedió a calcular el vector propio de la matriz de criterios que representa la importancia relativa de los criterios comparados en cada una de las matrices:

$$A * w = \lambda * w$$

donde:

$A$  = matriz recíproca de comparaciones a pares (juicios de importancia / preferencia de un criterio sobre otro).

$w$  = vector propio que representa el *ranking* u orden de prioridad.

$\lambda$  = máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios.

De esta forma, se estableció el orden de las prioridades o ponderación de las variables. En primer lugar, se encuentra el criterio de contaminación del aire; en segundo, el de movilidad; en tercero, de congestión; en cuarto, de

demanda energética; en penúltimo lugar, el criterio de accesibilidad; y finalmente, el de accidentes.

En el siguiente paso se construyeron las matrices de comparación de las alternativas en función de cada criterio; en estas matrices la escala de valores es la misma que la usada anteriormente, de forma que, al valorar una alternativa respecto a otra, se otorga más valor a aquella que sea prioritaria de acuerdo con el criterio considerado.

Para conocer la jerarquía de las alternativas se multiplica la matriz formada por los autovectores  $W_{ij}$  de las alternativas bajo cada criterio, por la matriz de autovectores  $W$  obtenida para los criterios. El resultado de esta multiplicación es la matriz  $P$ , la cual expone los pesos finales para cada alternativa  $n$ .

Una vez calculado el vector propio de las alternativas de cada matriz respecto a cada criterio, se multiplican ambas matrices; el resultado implicará la ponderación o pesos de las alternativas en función de todos los criterios y su importancia.

Por último, se aplicó el principio de consistencia, el cual implica dos fundamentos: transitividad y proporcionalidad. El primero es que deben respetarse las relaciones de orden entre los elementos, es decir, si  $A$  es mayor que  $C$ , y  $C$  es mayor que  $B$ , entonces la lógica dice que  $A$  es mayor que  $B$ .

El segundo es que las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo, si  $A$  es tres veces mayor que  $C$ , y  $C$  es dos veces mayor que  $B$ , entonces  $A$  debe ser seis veces mayor que  $B$ , lo cual sería un juicio 100% consistente (se cumple la relación de transitividad y de proporcionalidad). En este sentido, Saaty definió un índice que ofrece el cálculo de la relación de consistencia (RC):

$$\lambda \max = V^*B$$

donde:

$\lambda \max$ : máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

$V$ : vector de prioridades o vectores propios, que ya se obtuvo, de la matriz de comparaciones.

$B$ : matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de  $m \times 1$ , donde  $m$  es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

Entonces, calculado  $\lambda \max$  y teniendo en cuenta el número de variables utilizadas ( $n$ ) en la matriz, se calcula el coeficiente de inconsistencia (CI).

$$CI = (\lambda \max - n) / (n-1)$$

## Resultados y discusión

En el desarrollo de esta investigación se encontró la dificultad de evaluar al sistema de transporte de la ciudad desde el paradigma de la sustentabilidad, ya que no existe suficiente información para medir la totalidad de los indicadores ambientales, económicos y sociales a través de las externalidades que genera.

Los principios de un transporte sustentable incorporados por el sistema de transporte de la ciudad son muy limitados, ya que se privilegian estrategias convencionales, como el incremento de infraestructura carretera, con lo cual se incentiva la mayor utilización del vehículo automotor.

En este sentido, en los resultados que se obtuvieron se observa que la alternativa mejor posicionada para lograr el objetivo es la de reducir el uso del vehículo privado, con un índice de consistencia admisible, admitiéndose como válida. Sin embargo, esta alternativa permitiría explorar modos alternos no motorizados de transporte, reorientando los patrones y estilos de vida de los usuarios y un diseño de políticas públicas en este sentido.

Otra de las limitantes de la aplicación de este modelo radica en sus propios actores, como lo pueden ser los concesionarios del transporte público, que operan bajo esquemas tradicionales y sesgados, privilegiando el interés individual o de facciones, con lo que generan poco valor hacia la comunidad.

Respecto al modelo del Victoria Transport Policy Institute (VTPI), se observa que el transporte de la ciudad tiende a visiones unidimensionales o parciales, más que a la planificación coordinada entre diferentes sectores, grupos y dependencias gubernamentales, desvinculando los objetivos a corto plazo de los estratégicos a largo plazo, que pudiesen mejorar al sistema.

El modelo VTPI implica que los viajeros puedan elegir entre varios modos de transportarse, sean modernos, rápidos, dignos, y en particular que sean asequibles, justos y sostenibles en el largo plazo.

La planeación urbana necesita herramientas que incorporen las redes e interacciones entre usuarios, centros de trabajo, centros de enseñanza, lugares de esparcimiento y asentamientos dispersos; asimismo, requiere que se establezcan criterios en su planeación, relativos a: contaminación del aire, consumo energético, prevención de accidentes, uso eficiente del suelo, entre otros.

El establecimiento de esta jerarquización de alternativas o estrategias podría coadyuvar a la integración de una planeación eficiente que propicie un desarrollo más sostenible.

**Cuadro 2**  
*Ranking de alternativas*

<i>Estrategia</i>	<i>Criterio</i>						<i>Prioridad ranking</i>	
	<i>Congestión</i>	<i>Movilidad</i>	<i>Contaminación del aire</i>	<i>Demanda energética</i>	<i>Accidentes</i>	<i>Accesibilidad</i>		<i>Promedio</i>
Mejorar la accesibilidad al transporte no motorizado	0.23 (2)	0.29 (2)	0.17 (2)	0.03 (5)	0.18 (3)	0.08 (5)	0.16	3
Reducir el consumo energético	0.15 (4)	0.11 (4)	0.08 (6)	0.32 (1)	0.15 (4)	0.04 (6)	0.14	5
Mejorar la calidad del aire	0.20 (3)	0.13 (3)	0.39 (1)	0.17 (2)	0.13 (5)	0.14	0.21	2
Reducir los niveles de congestión	0.05 (6)	0.09 (5)	0.15 (3)	0.15 (4)	0.20 (2)	0.19 (3)	0.15	4
Reducir el uso de vehículos privados	0.31 (1)	0.32 (1)	0.09 (5)	0.17 (2)	0.26 (1)	0.34 (1)	0.23	1
Mejorar los servicios de tránsito	0.06 (5)	0.05 (6)	0.12 (4)	0.16 (3)	0.08 (6)	0.21 (2)	0.12	6

*Fuente:* Elaboración propia.

En el último lugar en el *ranking* de alternativas se obtuvo la mejora en los servicios de tránsito; esto tendría que ver con la intensidad de los recursos, lo que implicaría que, desde el punto de vista de la eficiencia, podría no tener efectos para la búsqueda del objetivo.

## Conclusiones

A partir de esta investigación se concluye que no se presentan los principios de sustentabilidad en el sistema de transporte de la ciudad, al no existir políticas públicas que sustenten este proceso; ni siquiera hay suficiencia en los datos básicos necesarios que sirvan de insumos para el diseño de tales políticas, especialmente en esta región con alto índice de motorización y de flujo vehicular, al ser una ciudad fronteriza con Estados Unidos.

El poder establecer distintos enfoques de análisis para perfilar un transporte sustentable puede ayudar a determinar cómo se definen los problemas y cuáles son los impactos que generan. Una opción puede parecer óptima cuando se evalúa usando un conjunto de indicadores, pero perjudicial cuando se juzga con otros. Por lo tanto, se consideró importante ser realista en el momento de seleccionar los indicadores para este trabajo, teniendo en cuenta la disponibilidad de datos, así como su comprensión y utilidad.

La reducción de vehículos privados debe ser una política pública que contenga elementos de estrategias transversales con orientación hacia la eficiencia del sistema mediante el ofrecimiento de modos alternos de transporte, priorizando la accesibilidad de la población.

Las características propias de la ciudad, como su ubicación geográfica, el tipo de clima (árido-seco), o la cultura de uso del vehículo privado, desalientan en algún sentido el uso de bicicletas, la práctica de caminar y la utilización del transporte público, y ello impacta en la conectividad mediante redes de movilidad que ofrece el propio sistema.

Los principios de sustentabilidad en el sistema de transporte de la ciudad no se cumplen en distintos aspectos. En cuanto a la asequibilidad, hay espacios, sobre todo en la periferia urbana, que no están cubiertos por el transporte colectivo, lo que resulta en una ineficiente movilidad, e incrementa los costos sociales y económicos. Además, no se privilegia la pertinencia de los modos alternativos de transporte, al no existir políticas que fomenten la reducción del uso del vehículo privado (hay prevalencia de los vehículos de segunda mano que ya no se utilizan en Estados Unidos).

La tendencia de la ciudad a expandirse provoca una dependencia del vehículo automotor privado, lo cual ocurre por la falta de opciones en su

origen. La capacidad institucional es muy limitada debido a que el Sistema Municipal del Transporte no cuenta con recursos financieros, humanos, jurídicos y técnicos, circunscribiéndose sólo a verificar normas reglamentarias.

Hay una disociación entre la planificación urbana y el transporte: existen políticas contrapuestas, como es el mantenimiento de rutas de transporte público de hace más de veinte años, sin adecuarlas a las nuevas dinámicas en los asentamientos.

## Bibliografía

- Banister, D. (2012). Transport and economic development: Reviewing the evidence. *Transport Reviews*, 32(1), 1-2. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2011.603283>
- Barba-Romero, S. (1996). *Manual para la toma de decisiones multicriterio* (Documento de investigación). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30558/S9610003\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/30558/S9610003_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Beria, P., Maltese, I. y Mariotti, I. (2011). *Comparing cost benefit and multi-criteria analysis: The evaluation of neighborhoods sustainable mobility*. Ponencia presentada en la XIII Riunione Scientifica, Società Italiana degli Economisti dei Trasporti. Messina, Italia, 16 y 17 de junio. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/266869527>
- Bryceson, D. F., Maunder D. A., Mbara, T. C., Kibombo, R., Davis, A. S. y Howe, J. D. (2003). *Sustainable livelihoods, mobility and access needs*. Londres: Department for International Development.
- Casado, J. (2008). Estudios sobre movilidad cotidiana en México. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 12(273). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-273.htm>
- Comisión de las Comunidades Europeas. (2005). *Revisión en 2005 de la estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible: primer balance y orientaciones futuras*. Bruselas, Bélgica.
- Comisión de las Comunidades Europeas. (2015). *Informe sobre movilidad urbana sostenible*. Bruselas, Bélgica: Comisión de Transporte y Turismo. Recuperado de [http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2015-0319\\_ES.html](http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2015-0319_ES.html)
- Corona-Zambrano, E. A. y Rojas-Caldelas, R. I. (2009). Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California.

- Estudios Fronterizos*, 10(20), 79-102. Recuperado de <http://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=53012159003>
- De Brucker, K., Macharis, C. y Verbeke, A. (2015). Two-stage multi-criteria analysis and the future of intelligent transport systems-based safety innovation projects. *The Institution of Engineering Technology Intelligent Transport Systems*, 9(9), 842-850. Recuperado de <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-its.2014.0247>
- Dempster, A. P. (1967). Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping. *The Annales of Mathematical Statistics*, 38(2), 325-339. Recuperado de <https://projecteuclid.org/euclid.aoms/1177698950>
- Deng, Y., Chan, F., Ying, W. y Wang, D. (2011). A new linguistic MCDM method based on multiple-criterion data fusion. *Journal Expert Systems with Applications: An International Journal*, 38(6), 6985-6993. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.016>
- Diappi, L., Bolchi, P. y Concilio, G. (2010). *Assessing sustainability in urban design: The ANP (Analytic Network Process)*. Ponencia presentada en el 5th Congress of Italian Association of System Research, 14 y 15 de octubre.
- Dur, F., Yigitcanlar, T. y Bunker, J. M. (2009). *A decision support system for sustainable urban development: The integrated land use and transportation indexing model*. Actas de la Second Infrastructure Theme Postgraduate Conference 2009, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia. Recuperado de <https://eprints.qut.edu.au/29540/1/c29540.pdf>
- Eliasson, J., Börjesson, M., Odeck, J. y Welde, M. (2015). Does benefit-cost efficiency influence transport investment decisions? *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(3), 377-396. Recuperado de [https://www.academia.edu/21460726/Does\\_Benefit\\_Cost\\_Efficiency\\_Influence\\_Transport\\_Investment\\_Decisions](https://www.academia.edu/21460726/Does_Benefit_Cost_Efficiency_Influence_Transport_Investment_Decisions)
- Glaister, S. (1999). Observations on the new approach to the appraisal of road projects. *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(2), 227-234. Recuperado de [https://www.jstor.org/stable/20053808?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/20053808?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- Goldman, T. y Gorham, R. (2006). Sustainable urban transport: Four innovative directions. *Technology in Society*, 28, 261-273. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.5742&rep=rep1&type=pdf>
- Goudzwaard, B. (1970). *Ongeprijsde schaarste. Exprietale of ongecompenseerde effecten als economischtheoretisch en economisch-politiek probleem*. La Haya, Países Bajos: Van Stockum.

- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. D. y Hahn Von-H, C. M. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, 36, 285-306. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a14.pdf>
- Handy, S. (2002). *Accessibility vs. mobility-enhancing strategies for addressing automobile dependence in the U.S.* University of California at Davis, Department of Environmental Science and Policy.
- Huetting, R. (1970). *Wat is de natuur ons waard? Een econoom over milieu-verslechtering.* Baarn, Países Bajos: Wereldvenster.
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2010). *Índice de Competitividad Urbana 2010.* Ciudad de México: Instituto Mexicano para la Competitividad. Recuperado de <https://imco.org.mx/indices/>
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2010). *Diagnóstico sobre compuestos tóxicos en aire ambiente y caracterización espacial de fuentes de emisión y meteorología en la Región Fronteriza de Baja California.* Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología / Molina Center for Energy and the Environment / Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental / Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera / Universidad Autónoma de Estado de México, Centro de Investigaciones Químicas.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Principales resultados por localidad 2016. Estadísticas de vehículos de motor registrados. Mexicali, B.C.* México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP). (2012). *Transformando la movilidad urbana en México.* Ciudad de México: Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. Recuperado de <http://mexico.itdp.org/documentos/transformando-la-movilidad-urbana-en-mexico/>
- Islas, V., Moctezuma, E., Hernández, S., Lelis, M. y Ruvalcaba, J. (2011). *Urbanización y motorización en México* (Documento de Investigación, núm. 362). Ciudad de México: Instituto Mexicano del Transporte / Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt362.pdf>
- Jeon, C. M., Amekudzi, A. A. y Guensler, R. (2010). Evaluating plan alternatives for transportation system sustainability: Atlanta Metropolitan Region. *International Journal of Sustainable Transportation*, 4(4), 227-247. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15568310902940209?needAccess=true>
- Keeney, R. y Raiffa, H. (1993). *Decisions with multiple objectives. Preferences and value tradeoffs.* Cambridge: Cambridge University Press.



- Kennedy, C., Cuddihy, J. y Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1162/jie.2007.1107>
- La Paix, L. C. y López, M. E. (2011). *Metodología propuesta para la evaluación de planes de movilidad urbana sostenible*. Ponencia presentada en el VIII Congreso de Ingeniería de los Transportes (CIT-2008), La Coruña, España.
- Litman, T. (2012). *Evaluating accessibility for transport planning measuring people's ability to reach desired goods and activities*. Ponencia presentada en el 87th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Logit México. (2012). *Proyecto de modernización del sistema municipal del transporte troncal, línea exprés-1 de la ciudad de Mexicali, B.C. con un sistema de autobuses rápidos troncales BRT*. Mexicali, B.C.: XX Ayuntamiento de Mexicali / Logística Informática y Transporte. Recuperado de [http://www.fonadin.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/ACB\\_MEXICALI.pdf](http://www.fonadin.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/ACB_MEXICALI.pdf)
- Moreno Jiménez, J. M. (2002). El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 28-77. Recuperado de [https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/ExplicacionMetodoAHP\(ve%20paginas11-16\).pdf](https://users.dcc.uchile.cl/~nbaloian/DSS-DCC/ExplicacionMetodoAHP(ve%20paginas11-16).pdf)
- Munda, G., Nijkamp, P. y Rietveld, P. (1995). Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 79-97. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221793E02502>
- Novaćko, L., Čavar, I. y Hozjan, D. (2008). Selection of LRT system track gauge using multi-criteria decision-making (City of Zagreb). *WIT Transactions on the Built Environment*, 101(7), 167-173. Recuperado de <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/101/19398>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (1996). *Towards sustainable transportation. The Vancouver Conference*, Vancouver, British Columbia. Recuperado de <http://www.oecd.org/green/growth/greening-transport/2396815.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1987). *Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Ginebra, Suiza: Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de <https://undocs.org/es/A/42/427>
- Pacheco, J. F. y Contreras, E. (2008). *Manual metodológico de evaluación*

- multicriterio para programas y proyectos* (Documento de Investigación, núm. 58). Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35914/1/manual58\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35914/1/manual58_es.pdf)
- Parry, I., Walls, M. y Harrington, W. (2007). Automobile externalities and policies. *Journal of Economic Literature*, 45(2), 373-399. Recuperado de <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.2.373>
- Pérez Brambila, J. (2010). *Impactos urbanos de los fraccionamientos abiertos y cerrados al oriente de Mexicali desde el enfoque del desarrollo sustentable*. Ponencia presentada en el 6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5 a 7 de octubre.
- Prince, A. (1999). The new approach to the appraisal of road projects in England. *Journal of Transport Economics and Policy*, 33(2), 221-226. Recuperado de [https://www.jstor.org/stable/20053807?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/20053807?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- Rossi, R., Gastaldi, M. y Gecchele, G. (2012). Sustainability evaluation of transportation policies: A fuzzy-based method in a “what to” analysis. En V. Snásel, P. Krömer, M. Köppen y G. Schaefer (eds.), *Soft computing in industrial applications* (pp. 315-326). Springer.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. Recuperado de <http://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aad ea6d.pdf>
- Shiau, T. A. y Liu, J. S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological Indicators*, 34, 361-371. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X1300232X>
- Timilsina, G. R. y Dulal, H. B. (2009). Regulatory instruments to control environmental externalities from the transport sector. *European Transport*, 41, 80-112. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/41174701.pdf>
- Torres, S. (2014). El análisis coste-beneficio aplicado al medioambiente: repaso metodológico, críticas y problemática asociada. *Revista Científica Vozes dos Vales*, 6(3), 2-10. Recuperado de <http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2014/10/El-an%C3%A1lisis-coste-beneficio-aplicado-al-medioambiente.pdf>
- Tudela, A., Akiki, N. y Cisternas, R. (2006). Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analyses. An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A: Policy Practice*, 40(5),

- 414-423. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856405001102>
- U.S. Department of Energy Information Administration. (2006). *Annual Energy Review*. Washington, DC: Office of Energy Markets and End Use.
- U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. (2005). *State transportation statistics*. Washington, DC: Research and Innovative Technology Administration.
- Ustran. (2007). *Diagnóstico sobre la red de transporte público de la ciudad de Mexicali, Baja California*. México: Urbanismo y Sistemas de Transporte, S.A.
- Valdés, M. (1998). *Evaluación de impacto proyecto: gestión de procesos organizacionales en jóvenes mapuche de las unidades vecinales 12 y 13, comuna de Cerro Navia, Chile* (Documento de Investigación Mapumet, núm. 2). Recuperado de <https://www.mapunet.org/documentos/mapuches/evalimpac.pdf>
- Wolman, A. (1965). The metabolism of the cities. *Scientific American*, 213(3), 178-193. Recuperado de [https://www.jstor.org/stable/24931120?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/24931120?seq=1#page_scan_tab_contents)
- Zhang, L., Ji, M. y Ferrari, N. (2013). *Comprehensive highway corridor planning with sustainability indicators* (Informe núm. MD-13-SP109B4Q). Maryland State Highway Administration. Recuperado de [https://www.roads.maryland.gov/OPR\\_Research/MD-13-SP109B4Q-Comprehensive-Highway-Corridor-Planning-with-Sustainability-Indicators\\_Report.pdf](https://www.roads.maryland.gov/OPR_Research/MD-13-SP109B4Q-Comprehensive-Highway-Corridor-Planning-with-Sustainability-Indicators_Report.pdf)
- Zheng, J., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., O'Hara, R. y Garrick, N. (2011). Quantifying the economic domain of transportation sustainability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2242(1), 19-28. Recuperado de <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2242-03>
- Zuk, M., Tzintzun, M. G. y Rojas, L. (2007) *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas*. Ciudad de México: Semarnat / INE. Recuperado de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/3erAlmanaque.pdf>

### Acerca del autor

**Francisco Javier Peralta Castillo** es doctor en Planeación y Desarrollo Sustentable por la Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la

Universidad Autónoma de Baja California (UABC), y maestro en Ciencias Económicas por la Facultad de Economía y Relaciones de la misma institución. Ha sido docente en diferentes instituciones públicas y privadas a nivel licenciatura y maestría, impartiendo asignaturas como: Gestión Estratégica, Desarrollo Económico, Desarrollo Regional, Microeconomía, Finanzas, Desarrollo Sustentable, entre otras. Sus líneas de investigación son: competitividad y desarrollo sustentable, desarrollo regional, planeación y desarrollo. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Administrativas y Sociales de la UABC. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8516-0860>

Entre sus publicaciones se encuentran:

Peralta Castillo, F. J. (2018). Transportation and sustainability for a Mexican north border city. *Best: International Journal of Management, Information Technology and Engineering*, 6(6), 21-26.

Peralta Castillo, F. J. (2013). Desarrollo económico y desarrollo sustentable: una visión introductoria, *Divulgare*, abril-junio.

Recepción: 19 de diciembre de 2018.

Aceptación: 14 de mayo de 2019.