



**UTPL**  
*La Universidad Católica de Loja*

Modalidad Abierta y a Distancia



# Itinerario 2C Tecnologías para la Movilidad y Tráfico: Ecomovilidad

**Guía didáctica**

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Civil

---

## Itinerario 2C Tecnologías para la Movilidad y Tráfico: Ecomovilidad

*Guía didáctica*

Carrera	PAO Nivel
▪ Logística y Transporte	VIII

**Autor:**

Calderón Peralvo Francisco Fernando



Asesoría virtual  
[www.utpl.edu.ec](http://www.utpl.edu.ec)

## **Universidad Técnica Particular de Loja**

### **Itinerario 2C Tecnologías para la Movilidad y Tráfico: Ecomovilidad**

Guía didáctica

Calderón Peralvo Francisco Fernando

#### **Diagramación y diseño digital:**

Ediloja Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418.

San Cayetano Alto s/n.

[www.ediloja.com.ec](http://www.ediloja.com.ec)

[edilojacialtda@ediloja.com.ec](mailto:edilojacialtda@ediloja.com.ec)

Loja-Ecuador

ISBN digital - 978-9942-39-773-7



#### **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons – **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0)**. Usted es libre de **Compartir – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato**. **Adaptar – remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos:** **Reconocimiento-** debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. **No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.** **Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.** No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

# Índice

<b>1. Datos de información.....</b>	<b>8</b>
1.1. Presentación de la asignatura .....	8
1.2. Competencias genéricas de la UTPL.....	8
1.3. Competencias específicas de la carrera .....	8
1.4. Problemática que aborda la asignatura .....	9
<b>2. Metodología de aprendizaje.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje.....</b>	<b>11</b>
<b>Primer bimestre .....</b>	<b>11</b>
<b>Resultado de aprendizaje 1.....</b>	<b>11</b>
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	11
<b>    Semana 1 .....</b>	<b>11</b>
<b>        Unidad 1. Conceptos generales sobre el vehículo, la ciudad y el sistema de transporte.....</b>	<b>11</b>
Una breve historia del vehículo .....	11
1.1. El camino hacia el motor de combustión interna .....	12
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	17
Autoevaluación 1 .....	18
<b>        Semana 2 .....</b>	<b>20</b>
El boom del vehículo y su efecto en la ciudad.....	20
1.2. La era del automóvil .....	20
1.3. La metamorfosis de la ciudad .....	22
1.4. Un breve antecedente histórico de las normativas ambientales....	26
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	28
Autoevaluación 2.....	29
<b>        Semana 3 .....</b>	<b>31</b>
Aspectos técnicos del transporte: oferta, demanda y congestión .....	31
1.5. Antecedentes del transporte y el ambiente .....	31
1.6. Demanda .....	34
1.7. Oferta.....	35

1.8. Congestión .....	35
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	38
Autoevaluación 3.....	39
<b>Semana 4 .....</b>	<b>41</b>
<b>Unidad 2. Externalidades negativas ambientales del transporte.....</b>	<b>41</b>
Emisión de contaminantes en el transporte motorizado.....	41
2.1. El balance de masas y la relación estequiométrica de la mezcla ..	41
2.2. Tipos de contaminantes y sus impactos .....	43
2.3. Tipos de emisiones.....	45
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	46
Autoevaluación 4.....	47
<b>Semana 5 .....</b>	<b>49</b>
2.4. Factores que influyen en las emisiones .....	49
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	54
Autoevaluación 5.....	55
<b>Semana 6 .....</b>	<b>57</b>
Otros problemas asociados con la movilidad y transporte motorizado.	57
2.5. Ruido .....	57
2.6. Accidentes de tránsito .....	58
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	61
Autoevaluación 6.....	62
<b>Semana 7 .....</b>	<b>64</b>
<b>Unidad 3. Movilidad sostenible.....</b>	<b>64</b>
3.1. Movilidad .....	64
3.2. Sostenibilidad .....	68
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	71
Autoevaluación 7.....	72
<b>Semana 8 .....</b>	<b>74</b>
Actividades finales del bimestre .....	74
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	74

<b>Segundo bimestre .....</b>	<b>75</b>
<b>Resultado de aprendizaje 1.....</b>	<b>75</b>
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje.....	75
<b>Semana 9 .....</b>	<b>75</b>
Iniciativas globales hacia la sostenibilidad .....	75
3.3. Objetivos de desarrollo sostenible .....	75
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	86
Autoevaluación 8.....	87
<b>Semana 10 .....</b>	<b>89</b>
3.4. Low-Emission Development Strategies (LEDS) .....	89
3.5. LEDS para el transporte y la movilidad en la Unión Europea.....	90
3.6. LEDS para el transporte y la movilidad en el Ecuador.....	90
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	96
Autoevaluación 9.....	97
<b>Semana 11 .....</b>	<b>99</b>
<b>Unidad 4. Dimensiones de aplicación de la ecomovilidad.....</b>	<b>99</b>
Ecomovilidad y tendencias de la movilidad.....	99
4.1. Movilidad activa.....	99
4.2. Multimodalidad .....	102
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	106
Autoevaluación 10.....	107
<b>Semana 12 .....</b>	<b>109</b>
4.3. Movilidad compartida.....	109
4.4. Movilidad como un Servicio (MaaS).....	111
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	114
Autoevaluación 11.....	115
<b>Semana 13 .....</b>	<b>117</b>
Ecomovilidad y tecnologías .....	117
4.5. “Eco-routing” .....	117

4.6. “Eco-driving” .....	120
4.7. El rol de los vehículos autónomos en la ecomovilidad.....	122
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	125
Autoevaluación 12.....	127
 Semana 14 .....	 129
Ecomovilidad y energía .....	129
4.8. Eficiencia energética: alternativas para la propulsión .....	131
4.9. Eficiencia energética: combustibles alternativos.....	137
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	143
Autoevaluación 13.....	144
 Semana 15 .....	 146
<b>Unidad 5. Consideraciones finales sobre soluciones de ecomovilidad y aspectos regulatorios .....</b>	<b>146</b>
Desafíos de la electromovilidad y revisión técnica vehicular.....	146
5.1. Electromovilidad: desafíos en infraestructura, demanda y generación de energía .....	146
5.2. El mantenimiento vehicular y los mecanismos de control .....	150
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	152
Autoevaluación 14.....	153
 Semana 16 .....	 155
Actividades finales del bimestre .....	155
Actividades de aprendizaje recomendadas .....	155
<b>4. Solucionario .....</b>	<b>156</b>
<b>5. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>170</b>



---

## 1. Datos de información

---

### 1.1. Presentación de la asignatura



### 1.2. Competencias genéricas de la UTPL

- Comunicación verbal y escrita.
- Pensamiento crítico y reflexivo.
- Compromiso e implicación social.
- Organización y planificación del tiempo.

### 1.3. Competencias específicas de la carrera

- Contarás con la formación científico-tecnológica necesaria para diseñar estrategias, evaluar proyectos e intervenir en la administración de almacenamiento y transporte (aéreo, marítimo y terrestre), mirando la rentabilidad privada y los beneficios sociales en el marco del desarrollo sostenible.
- Obtendrás habilidades para planear, diseñar, operacionalizar y administrar las instalaciones de cualquier modo de transporte con

el fin de proveer un movimiento seguro, conveniente, económico y ambientalmente amigable de bienes y personas.

#### 1.4. Problemática que aborda la asignatura

En la actualidad, las ciudades enfrentan grandes desafíos en políticas públicas, planificación y toma de decisiones relacionados con la dependencia y predominancia del automóvil en nuestros patrones de movilidad y transporte. Esta dependencia conlleva congestión, demoras, ruido, uso inequitativo del espacio público, y especialmente la emisión de gases contaminantes y nocivos a la salud pública. La ecomovilidad se entiende entonces como un concepto enmarcado en la movilidad sostenible, bajo el cual se puede formular estrategias para afrontar esta problemática y garantizar una mejor calidad de vida a la población.



---

## 2. Metodología de aprendizaje

---

- **Autoaprendizaje autónomo:** bajo el modelo educativo de la UTPL, el estudiante es el principal actor y será quien lleve a cabo el proceso de aprendizaje. Para tal fin, se apoyará en la presente guía didáctica y en el plan docente de la materia, donde se detalla el proceso de estudio que el estudiante deberá seguir durante su autoaprendizaje.
- **Aprendizaje por interacción:** el proceso educativo de la asignatura incluye actividades de aprendizaje por interacción síncronas y asíncronas, donde se debatirán y/o analizarán temas mediante la interacción entre estudiantes y el profesor tutor. La actividad síncrona consiste en un **chat** a cadémico, mientras que la actividad asíncrona consiste en un foro.
- **Aprendizaje basado en análisis de estudio de caso:** la asignatura contempla el desarrollo de talleres, en los cuales el estudiante analizará críticamente casos de estudio reales de implementación o diseño.

- **Aprendizaje por indagación:** para poder completar las actividades de aprendizaje asíncronas, el estudiante deberá recurrir a la indagación de diversas fuentes de consulta (científicas, sitios web, noticias, etc.). Este tipo de aprendizaje además fortalecerá el pensamiento crítico, la capacidad de síntesis de información y la redacción y reporte de resultados.



### 3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



#### Primer bimestre

##### Resultado de aprendizaje 1

- Describir la importancia de la e comovilidad como parte de nuevos procesos de transporte.

Para poder alcanzar este resultado, la asignatura inicia con el estudio del automóvil como una de las innovaciones tecnológicas de mayor impacto en la historia de la humanidad, tanto por sus ventajas como por sus desventajas (los impactos ambientales que generan en sus procesos de combustión). La movilidad sostenible es definida como un concepto englobador, y dentro de ella la ecomovilidad, en la cual se profundiza en las soluciones que aporta desde sus aspectos de nuevas tendencias de movilidad, nuevas tecnologías, y energías alternativas.

#### Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



##### Semana 1

##### Unidad 1. Conceptos generales sobre el vehículo, la ciudad y el sistema de transporte

###### Una breve historia del vehículo

Estimados estudiantes, esta semana de estudio se enfoca en cómo evolucionó el vehículo motorizado, hasta llegar al motor de combustión interna actual, el cual es clave para el estudio de la ecomovilidad.

## 1.1. El camino hacia el motor de combustión interna

Intuitivamente, se entiende que la movilidad guarda relación con la capacidad de las personas de desplazarse o también de desplazar mercancías de un lugar a otro. Por ende, resulta útil formular las siguientes preguntas a manera introductoria:

- ¿Por qué hacer la distinción entre movilidad y ecomovilidad?
- ¿Por qué la movilidad puede llegar a ser no ecológica?

Las respuestas a estas preguntas pueden llegar a ser muy complejas y dependen de varios factores, los más importantes se describirán a lo largo de esta asignatura. Cabe recalcar, que no existe hasta el momento en la literatura una definición conclusiva de la ecomovilidad, sin embargo, ciertas fuentes de carácter no científico la relacionan íntimamente, casi indistinguiblemente, con la movilidad sostenible<sup>1</sup> – aunque como se abordará en esta asignatura, la sostenibilidad va más allá de lo ambiental.

Independientemente de la semántica más adecuada, y a manera general e introductoria, el prefijo eco nos da una idea bastante clara: la movilidad puede generar, entre otros problemas, problemas ambientales, por lo que se vuelve pertinente el adoptar un enfoque ecológico como solución.

Para empezar a comprender los problemas ambientales que puede generar la movilidad, debemos orientar nuestra atención al vehículo motorizado, y particularmente, al motor de combustión interna. Empezaremos por describir los antecedentes históricos que preceden al vehículo motorizado.

El concepto de una máquina o mecanismo con base en ruedas, que pueda desplazarse por sí solo por medio de un sistema autónomo de tracción (cuando lo común en ese entonces era la tracción humana o la tracción animal), se lo atribuye a una de las más grandes mentes de la historia de la humanidad, el artista, científico, inventor y filósofo italiano Leonardo da Vinci , quien por sus diseños y bocetos que datan del año 1495, es considerado como el autor intelectual del concepto de un automóvil. La figura 1 muestra los bocetos donde da Vinci plasmó su diseño, un automóvil.

---

<sup>1</sup> Ecomovilidad

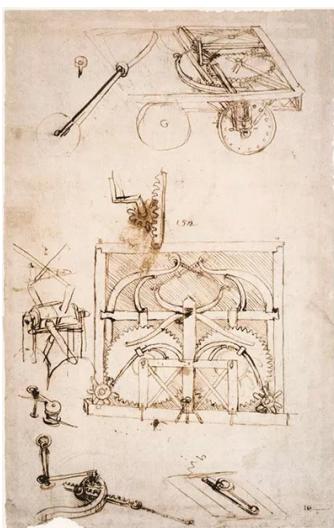
Ecomovilidad - El transporte del siglo XXI

Transporte Público Y Movilidad Urbana Sostenible

Qué es y qué importancia tiene la ecomovilidad

## **Figura 1.**

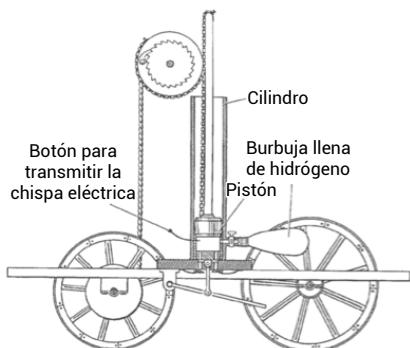
*Bocetos del auto de Leonardo Da Vinci.*



*Nota.* Tomado de Carro Móvil de Leonardo da Vinci [Fotografía], por Landín, P., 2012, [pelandintecno](#). CC BY 2.0

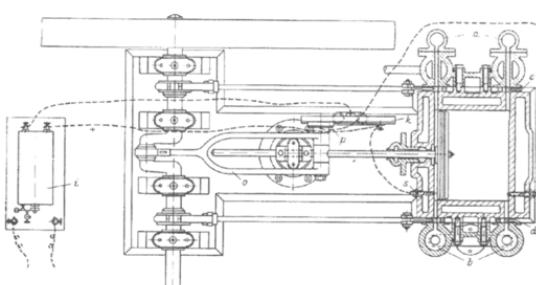
En el lapso de casi 400 años luego del diseño de da Vinci, un sinnúmero de inventores, de varias partes del planeta, desarrollaron diferentes prototipos de automóviles. Una primera innovación tecnológica que marcó una diferencia fue el motor a vapor, desarrollado por el francés Denis Papin en 1690 (Eckermann, 2001) y permaneciendo como el estándar tecnológico hasta 1800, cuando el francés Francois Isaac de Rivaz introduce un prototipo de motor de combustión abierta de hidrógeno (Eckermann, 2001). En 1860, Jean Joseph Etienne Lenoir de Luxembourg fue el primer inventor que pudo desarrollar un motor de gas operacional (Eckermann, 2001). En las figuras 2 y 3, se pueden observar los diseños de estos prototipos.

**Figura 2.**  
*Automóvil de Rivaz*



Nota. Tomado de World History of the Automobile (p. 19), por Eckermann, E., 2001, SAE International.

**Figura 3.**  
*Automóvil a gas de Lenoir.*



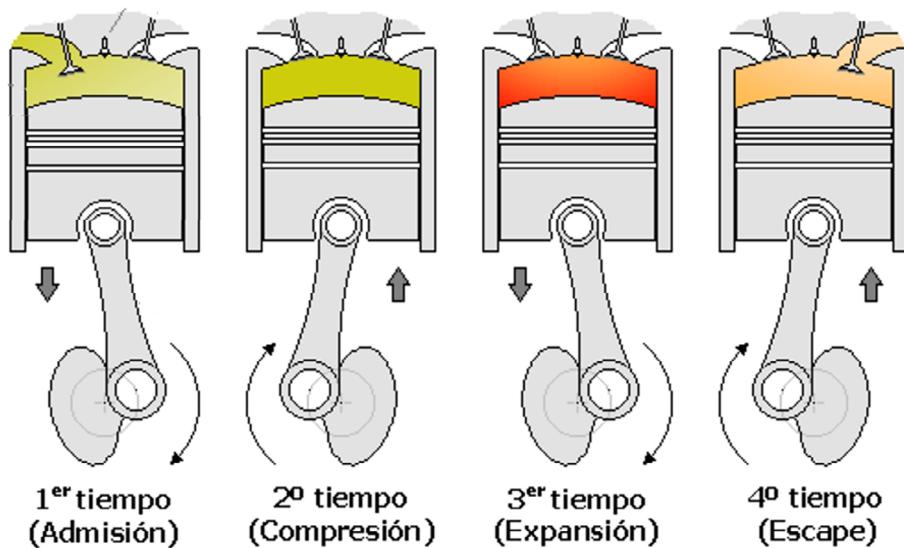
Nota. Tomado de World History of the Automobile (p. 20), por Eckermann, E., 2001, SAE International.

La gran diferencia tecnológica, la marca Nikolaus August Otto en 1876, quien, inspirado en el motor de Lenoir, patenta su Motor de Combustión Interna (MCI) (Eckermann, 2001). El principio básico del MCI radica en aprovechar la energía que resulta de la combustión de una mezcla altamente volátil de combustible y aire. Como se observa en la figura 4, el funcionamiento de un MCI se da en 4 tiempos o fases bien definidas: la admisión de mezcla aire-combustible a cilindro, la compresión de la mezcla por medio del ascenso del pistón, la combustión o explosión de la mezcla comprimida desatada por una chispa generada por una bujía, y el escape o desalojo de gases resultantes de la combustión. Para una mayor comprensión de este proceso termodinámico, se recomienda revisar el REA 1 “[¿Cómo funciona el motor de combustión interna de un automóvil?](#)”, donde se explican las 4 fases del MCI mediante un video didáctico.

Precisamente, la cuarta fase del funcionamiento del MCI (expulsión de gases), genera fuertes impactos ambientales negativos en temas de gases de efecto invernadero y gases nocivos a la salud. El estudio de estos impactos es la primera de las aristas fundamentales de esta asignatura, donde la Ecomovilidad surge como un concepto englobador que busca dar solución a dichos impactos.

**Figura 4.**

Fases o tiempos de un motor a combustión interna.

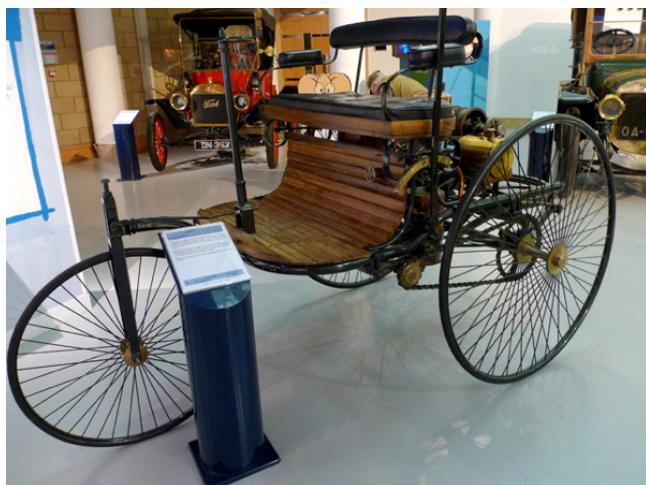


Nota. Tomado de Motor de Quatre Temps (4T) [Ilustración], por Losmotores, 2023, [lasmotores.com](http://lasmotores.com). CC BY 2.0

Si bien Otto desarrolló la tecnología del MCI, no llegó a implementar y patentar un automóvil propulsado por un motor de combustión interna; quien sí lo logró fue Karl Benz en el año 1887 (Eckermann, 2001), patentando su automóvil propulsado por un MCI a gasolina, como se muestra en la figura 5.

## Figura 5.

*El primer automóvil Benz.*



Nota. Tomado de 1886 Benz [Fotografía], por Cameraman, 2009, [Geograph](#). CC BY 2.0

En el año 1893, el alemán Rudolf Diesel inventa una variante del MCI que funciona con base en un combustible diferente a la gasolina, que luego tomó también su nombre. Pero no solamente difiere en el tipo de combustible, sino también en el funcionamiento del motor. El MCI ciclo D ié sel no requiere de la chispa de una bujía para la combustión, ya que la misma se da de manera espontánea gracias a la inyección directa del combustible pulverizado y a que el aire comprimido en el cilindro alcanza altas presiones y temperaturas – a este proceso se lo denomina también autocombustión. Para una mayor comprensión del funcionamiento del motor ciclo D ié sel, se recomienda revisar el REA 2: [MOTOR DIESEL Funcionamiento](#). A pesar de ser un motor mucho más costoso, el MCI ciclo D ié sel ofrece ventajas importantes como una mayor vida útil del motor, un mejor rendimiento del combustible y la flexibilidad para usar biocombustibles.

Retomando el hilo histórico, se puede mencionar que, ningún prototipo y/o tecnología de la gran variedad que surgió hasta el final del siglo XIX pudo establecerse en el mercado de manera definitiva y a gran escala, debido al alto costo implicado en su operación y producción – el automóvil era un lujo al que podían acceder muy pocos. Esto cambió de la mano del estadounidense Henry Ford, como se verá en la siguiente semana de estudio.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Revise el REA 1 “[¿Cómo funciona el motor de combustión interna de un automóvil?](#)”: En este recurso, se podrá visualizar el mecanismo de 4 tiempos con el que funciona un MCI, donde, para nuestro estudio, el enfoque es en los dos últimos tiempos: la combustión, su generación de compuestos nocivos a la salud y de efecto invernadero, y su expulsión al medioambiente .
4. Revise el REA 2 “[MOTOR DIESEL Funcionamiento](#)”: este recurso de aprendizaje permite contrastar el motor de ciclo Otto (a gasolina) con el motor Dié sel. Si bien ambos funcionan con los mismos 4 tiempos, una de las principales diferencias que podrán comprender al visualizar el video es el mecanismo de combustión de un motor Dié sel.
5. Realice la autoevaluación 1 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 1

1. El prototipo de da Vinci era un automóvil cuya propulsión era:
  - a. A vapor.
  - b. A gas.
  - c. Propulsión animal.
  - d. Mecánica.
  
2. El primer auto implementado más allá de diseños fue obra de Nicolaus Otto.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
  
3. Las siglas MCI representan:
  - a. Motor de combustible a ignición.
  - b. Motor de combustión interna.
  - c. Motor de combustión integral.
  - d. Ninguna de las anteriores.
  
4. La secuencia de los 4 tiempos de un MCI es:
  - a. Combustión, ignición, compresión, escape.
  - b. Admisión, ignición, compresión, escape.
  - c. Admisión, compresión, combustión, escape.
  - d. Ninguna de las anteriores.
  
5. Una de las ventajas del motor a gasolina es la flexibilidad de poder utilizar biocombustibles.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
  
6. Un motor a Diésel convencional tiene un ciclo de dos tiempos
  - a. Verdadero
  - b. Falso

7. El alcance del automóvil fue inicialmente concebido para:
- La clase media.
  - La clase baja.
  - La clase alta.
  - Toda la población.
8. Los primeros pasos en la invención del automóvil se dieron en los Estados Unidos.
- Verdadero.
  - Falso.
9. La ecomovilidad no necesariamente garantiza sostenibilidad en caso de que carezca de viabilidad \_\_\_\_\_.
- Política y energética.
  - Energética y social.
  - Económica y social.
  - Energética solamente.
10. La ecomovilidad puede ser un subconjunto de la movilidad sostenible.
- Verdadero.
  - Falso.

[Ir al solucionario](#)



## Semana 2

### El boom del vehículo y su efecto en la ciudad

Estimados estudiantes, en esta semana de estudio comprenderán sobre el apogeo del automóvil en nuestra sociedad, y cómo ha influido en el trazo urbano de nuestras ciudades.

#### 1.2. La era del automóvil

El ascenso vertiginoso del automóvil y la subsecuente era del vehículo motorizado no se materializaron por innovaciones tecnológicas, sino por una innovación en la *producción industrial*.

En el período de 1908 hasta 1913, el empresario estadounidense Henry Ford revolucionó la producción industrial en masa del automóvil, al implementar su modelo de producción basado en una línea de ensamblaje, que tenía como principio la profunda del personal, pero en tareas muy puntuales, simples y mecánicas. Lo que consiguió fue aumentar exponencialmente la velocidad y volumen de producción de su automóvil insignia, el Modelo T, como se muestra en la figura 6.

**Figura 6.**

*Henry Ford y su Modelo T.*



*Nota.* Tomado de Henry Ford with 1921 Model T [Fotografía], por cea+, 2008, [flickr](#). CC BY 2.0

Al aumentar la eficiencia en la producción, se disminuyó en gran medida también los costos, por lo que el Modelo T se volvió mucho más asequible

para la población en general. Fue tal la demanda por el Modelo T, que para el año de 1927 se habrían vendido 15 millones de unidades (Parissien, 2014), dando así paso a la era del vehículo motorizado.

El crecimiento vertiginoso en la tenencia de automóviles conllevó a una profunda transformación de las ciudades y asentamientos urbanos, respecto al uso del suelo y del espacio público. La lógica es simple: para un gran número de automóviles, se necesitó de una construcción masiva de redes viales estatales y urbanas, las cuales requieren de una gran extensión de suelo y espacio público. En efecto, la red vial de los Estados Unidos alcanzó los 6.4 millones de km para el año 2001 (National Academies Press, 2005), como se muestra en la figura 7. En la actualidad, solamente la red de autopistas estatales estadounidenses se extiende en, aproximadamente, 74940 km y está valorada en 535 billones de dólares (ajustados al año 2020) (Minnesota DOT, n.d.).

**Figura 7.**

*La red vial estadounidense al año 2001.*



*Nota.* Tomado de Assessing and Managing the Ecological Impacts of Paved Roads (p. 46), por National Academies Press, 2005, National Academies Press.

Al gozar de densas redes viales entrelazadas a lo largo y ancho de las ciudades y asentamientos humanos, el automóvil provee al usuario acceso “de puerta a puerta”, solventando viajes desde virtualmente todo origen a todo destino. El automóvil se convirtió rápidamente en el modo de transporte predilecto de la población.

### 1.3. La metamorfosis de la ciudad

Al ser un medio de transporte tan cómodo, versátil, rápido, y que permite al usuario cubrir grandes distancias, el automóvil desencadenó cambios profundos, no solamente en decisiones de movilidad, sino también en decisiones sobre el lugar de residencia y lugar de trabajo de las personas. Las ciudades empezaron a transformarse rápidamente para acomodar a una creciente población de usuarios que adoptaron al automóvil como su nueva forma de vida. A continuación, se describirán algunas de estas transformaciones.

Al poseer un automóvil que permite recorrer distancias considerables en tiempos razonables, la predisposición de las personas a vivir en las afueras de las ciudades aumentó considerablemente – a este fenómeno se lo llama dispersión urbana (*urban sprawl*, en inglés). Si la planificación y el ordenamiento territorial de una ciudad no controlan esta dispersión, se permite un crecimiento disperso en lugar de ser densificado (ver figura 8). En presencia de grandes distancias, la dependencia hacia el automóvil se vuelve casi inevitable.

**Figura 8.**  
*Dispersión urbana.*



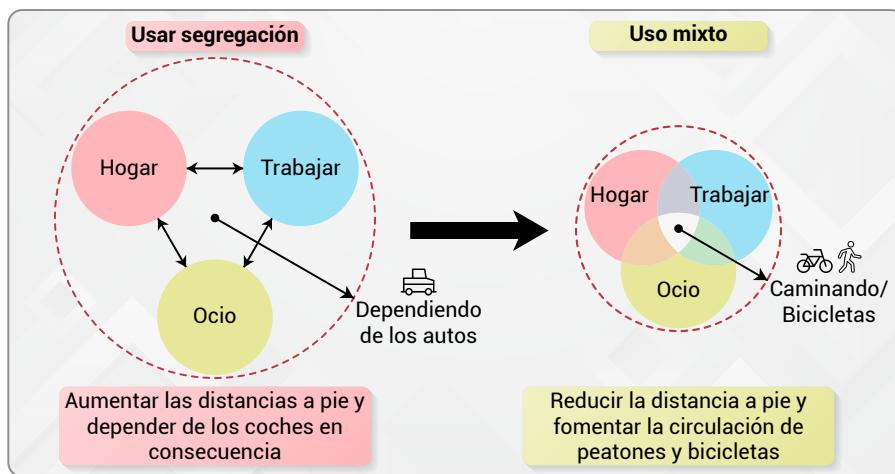
"We're waiting for the city to come to us..."

*Nota.* Tomado de Counter-urbanisation: characteristics, causes and effects [Ilustración], por Rob Gamesby, 2013, coolgeography. CC BY 2.0

Si la planificación urbana no se orienta hacia usos mixtos del suelo (ver figura 9), la necesidad de desplazamientos de larga distancia siempre será mayor. El concepto de usos mixtos del suelo reduce la necesidad del automóvil porque “todo queda cerca”. La figura 9 muestra el caso real de la ciudad de Bogotá, Colombia, donde se ve una completa disociación y considerable separación espacial entre los lugares de residencia y los lugares de trabajo de la población; estos patrones de usos del suelo inevitablemente generan una demanda insostenible de transporte en vehículos motorizados.

**Figura 9.**

*Usos segregados del suelo (izquierda), versus usos mixtos del suelo (derecha).*



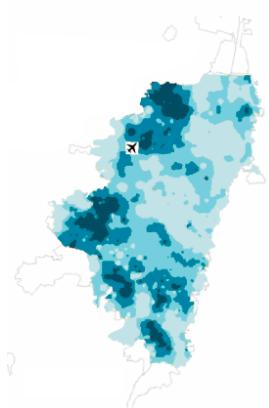
*Nota.* Tomado de Influence of mixed land-use on realizing the social capital (p. 288), por Nabil y Eldayem, 2015, HBRC Journal.

**Figura 10.**

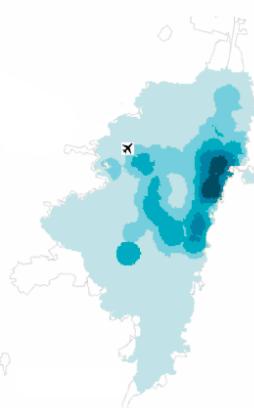
*Patrones de uso del suelo y ordenamiento territorial no sustentables.*

#### Población de Bogotá

DENSIDAD DE POBLACIÓN



DENSIDAD LABORAL



Habitantes por km<sup>2</sup>

- <15.000
- 15.000- 25.000
- 25.000- 35.000
- 35.000- 65.000

Empleos por km<sup>2</sup>

- <2.500
- 2.500- 7.500
- 7.500- 15.000
- 15.000- 30.000
- 30.000- 45.000

*Nota.* Tomado de Assessing equity in transport accessibility to work and study: The Bogotá region (p. 239), por Guzman et al, 2017, Journal of Transport Geography.

Si el trazo urbano y la infraestructura de las ciudades están orientados predominantemente hacia el automóvil, el peatón o el ciclista pueden ser relegados si no disponen de espacios adecuados y seguros para circular. Si se analiza la figura 11, se puede notar claramente que, a los costados de la infraestructura vial, existen zonas residenciales. La pregunta es entonces ¿cómo podría un usuario optar por caminar o usar la bicicleta en estas condiciones?

**Figura 11.**  
*Trazo urbano orientado al automóvil.*

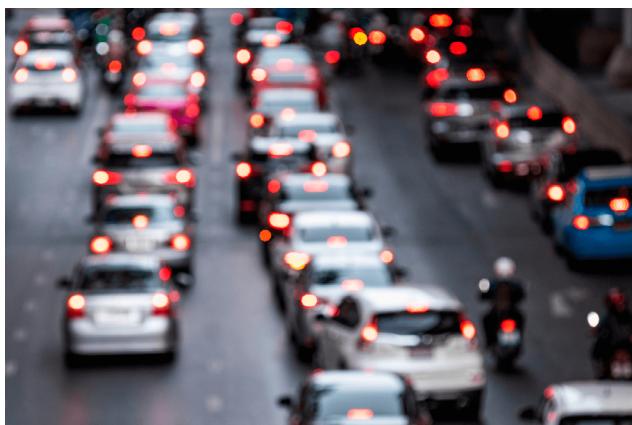


*Nota.* Tomado de Vista aérea del complejo intercambio de autopistas en Los Ángeles California [Fotografía], por iofoto, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

Entonces, las decisiones que históricamente se han tomado respecto a la planificación de ciudades orientadas al automóvil, así como el enamoramiento del usuario hacia el confort y estímulo de manejar su propio vehículo, han derivado en una adquisición masiva, un crecimiento insostenible del parque automotor, y niveles inmanejables de congestión vehicular (ver figura 12).

El comprender la dependencia del automóvil existente en nuestras ciudades y poblaciones consiste en la segunda arista fundamental de esta asignatura, donde la Ecomovilidad se debe entender como una manera de mitigar los impactos de una población dependiente del automóvil.

**Figura 12.**  
*Congestión vehicular.*



*Nota.* Tomado de El atestado tráfico en la carretera [Fotografía], por Rawpixel, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

#### 1.4. Un breve antecedente histórico de las normativas ambientales

La congestión vehicular, entendida como un problema insostenible, no es un concepto reciente. Luego del boom de automóvil y la transformación urbana que le precedió, los primeros síntomas y señales de alarma se identificaron en California tan pronto como los años 50 (EE. UU. EPA, 2016).

En un artículo publicado en el [medio digital Timeline](#), se relata que, en el año 1943, durante la Segunda Guerra Mundial, la concentración de smog vehicular fue tal en California (ver figura 13), que la ciudadanía pensó estar bajo un ataque de gas japonés. El artículo menciona que el número de vehículos en California se había duplicado de 1 a 2 millones en tan solo 3 años.

Si bien este tipo de indicios generó preocupación en las autoridades competentes, no fue sino hasta 1970 que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) creó la primera normativa de estándares de emisiones de gases contaminantes (EE. UU. EPA, 2016), y 20 años después, en 1990 Europa hizo lo propio (Climate Policy Info Hub, n.d.). Esencialmente, una normativa como las mencionadas establecen políticas públicas y regulaciones orientadas a mitigar los impactos generados por la emisión de gases contaminantes provenientes de la combustión vehicular, así como rangos permisibles de

emisión de contaminantes que deben ser controlados por un ente regulador competente.

**Figura 13.**  
*Smog en California en 1948.*



*Nota.* Tomado de View of part of the Los Angeles Civic Center masked by smog in 1948 [Fotografía], por Los Angeles Times, 1948, [UCLA Library Digital Collections](#). CC BY 2.0

Algunos de los hitos históricos alcanzados por la EPA estadounidense (que fue el pionero en la materia), entre los años 70 y los 90, se pueden mencionar los siguientes (EE. UU. EPA, 2016):

- Se requiere por regulación, la instalación y uso de sistemas de Recirculación de Gases de Escape (EGR, por sus siglas en inglés), así como catalizadores.
- Se introducen límites de volatilidad en la gasolina.
- Se remueve completamente el plomo de la gasolina.
- Se crean programas de inspección, mantenimiento y revisión vehicular.
- Se establecen estándares de emisiones para los tipos de contaminantes más importantes (estos tipos se estudiarán en la siguiente semana de estudio).

Si bien los hitos mencionados son aquellos que marcaron un punto de inflexión en materia de protección ambiental, la EPA y sus contrapartes en

varios países del mundo han desarrollado muchas otras regulaciones y políticas públicas, y continuarán haciéndolo.

En el contexto local, el Ecuador cuenta con sus propias normativas para estándares de emisiones vehiculares a gasolina (INEN, 2002b) y a D íe sel (INEN, 2002a), la cual es la base técnica para los procesos realizados en los centros de Revisión Técnica Vehicular (este tema se abordará a detalle en la unidad 5 del segundo bimestre de la asignatura).



Las normativas y regulaciones ambientales son fundamentales para la lucha contra la contaminación ambiental y el cambio climático, por ende, su formulación e implementación se apoya en gran medida en conceptos de movilidad sostenible y ecomovilidad.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante, realice las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 2 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 2

1. El boom del automóvil surgió principalmente por innovaciones tecnológicas.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. Henry Ford fue quien potenció al automóvil dentro del mercado debido a:
  - a. El motor de combustión interna.
  - b. Subsidios del estado.
  - c. La línea de ensamblaje.
  - d. La introducción de la gasolina como combustible.
3. Una ciudad con usos mixtos del suelo es el escenario ideal para el uso del automóvil.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. Las primeras regulaciones ambientales se establecieron para mitigar los impactos de la Segunda Guerra Mundial.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. Las primeras regulaciones ambientales se establecieron en:
  - a. California, 1970.
  - b. New York, 1930.
  - c. Washington, 1950.
  - d. California, 1943.

6. El caso de Bogotá expuesto es un ejemplo de patrones de usos del suelo indeseables porque (señale todas las que apliquen):
- a. Los trabajos están lejos de las residencias.
  - b. La vialidad no es adecuada.
  - c. Se desincentiva el uso de movilidad alternativa.
  - d. El costo de la gasolina es elevado.
7. Uno de los mayores atractivos del automóvil es que provee al usuario acceso puerta a puerta:
- a. Falso.
  - b. Verdadero.
8. Una desventaja de una planificación basada en ampliar la capacidad vial radica en que se puede limitar el uso y circulación de los demás modos de transporte.
- a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. Las regulaciones en Europa surgieron \_\_ años después que en California.
- a. 2.
  - b. 12.
  - c. 10.
  - d. 20.
10. Ecuador tiene su propia normativa para emisiones desde el año:
- a. 2000.
  - b. 2012.
  - c. 2020.
  - d. 2002.

[Ir al solucionario](#)



### **Aspectos técnicos del transporte: oferta, demanda y congestión**

Estimados estudiantes, en esta semana de estudio se refrescarán conceptos de oferta, demanda y congestión, para poder entender holísticamente a los impactos ambientales del transporte desde una perspectiva del sistema de transporte como un todo.

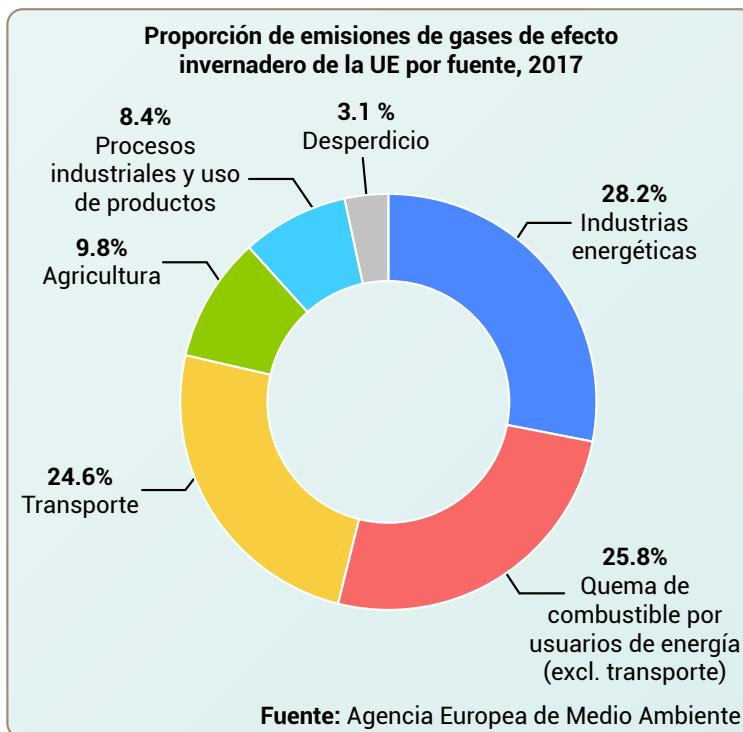
#### **1.5. Antecedentes del transporte y el ambiente**

El cuidado del medioambiente se ha convertido en un objetivo de gran relevancia a nivel global, donde hoy en día, es responsabilidad y compromiso de los países y sus ciudades el mitigar los impactos ambientales que generan diversos sectores estratégicos y diversos tipos de actividad humana.

En este contexto, el transporte se ha identificado como uno de los mayores sectores estratégicos que generan impactos negativos al medioambiente (comúnmente el mayor), como se evidencia en la figura 14 para el caso de Europa. Estos patrones se dan por diversos motivos, pero los dos más importantes se atribuyen al alto consumo de energías basadas en el carbón y la dependencia y predominancia de la movilidad urbana motorizada en auto privado.

**Figura 14.**

Distribución por sector de emisiones de gases de efecto invernadero en Europa.

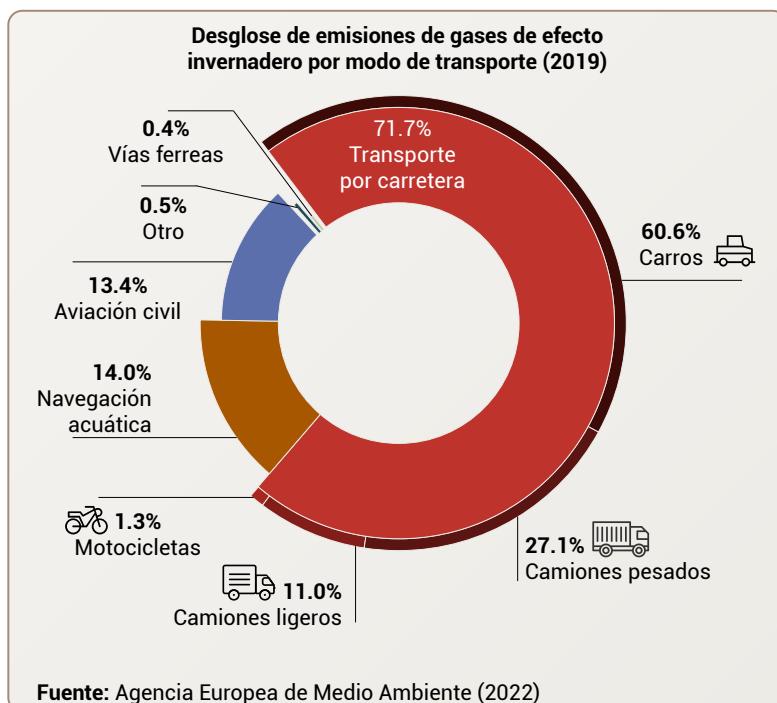


Nota. Tomado de Shedding light on energy in the EU - A guided tour of energy statistics (s.f), por Eurostat, 2019.

Al analizar más a detalle el sector transporte , la figura 15 evidencia que, a pesar de los grandes volúmenes que se manejan en la logística y transporte de carga y mercancías, el automóvil privado genera la más contaminación que el total en la logística y el 60.6 % del total global del sector. Estos patrones evidencian el gran impacto que la dependencia en el automóvil impone a nuestras ciudades y nuestra calidad de vida.

**Figura 15.**

Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero en Europa, por modo de transporte.



Nota. Tomado de CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics) [Ilustración], por society, 2019, [europarl](#). CC BY 2.0

El preámbulo ofrecido en la asignatura hasta el momento nos encamina hacia formularnos algunas preguntas clave:

- ¿Cómo se observa la dependencia del automóvil en la vida real?
- ¿Cómo cuantificamos el impacto de la dependencia del automóvil?
- ¿Por qué se origina una situación insostenible respecto a la dependencia del automóvil?

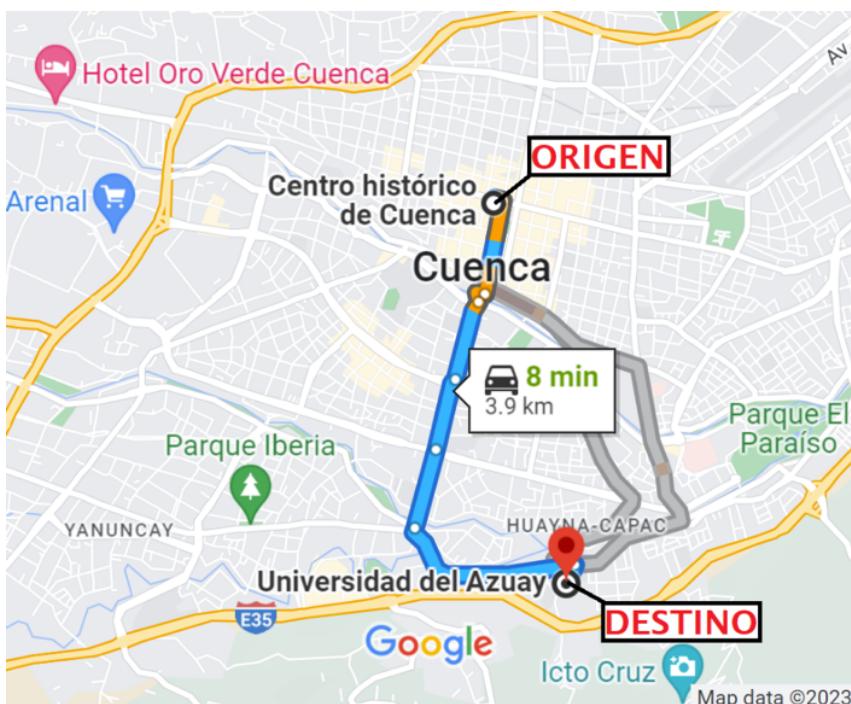
La respuesta a estas preguntas radica en la congestión vehicular, y para entenderla, se debe empezar por entender el concepto de demanda y oferta de transporte. Cabe recalcar que, la demanda y la oferta son conceptos originarios de las ciencias económicas que se aplican con gran pertinencia al transporte y la movilidad.

## 1.6. Demanda

Para empezar, la demanda en el transporte se entiende como la necesidad de movilizar personas o mercancías, en un punto del tiempo dado, y desde un punto A en el espacio denominado *origen*, hasta un punto B en el espacio denominado destino. Esta demanda se puede satisfacer por medio de distintos modos de transporte, y el viaje se puede realizar a través de distintas rutas dentro de la red vial de la ciudad. Estos componentes se pueden visualizar mediante el ejemplo de la figura 16.

**Figura 16.**

*La demanda de un viaje y sus componentes: origen, destino, rutas y modo de transporte.*



Nota. Google. (s.f. -a). [Centro histórico de Cuenca]. Recuperado en 2023 de [Google Maps](#).

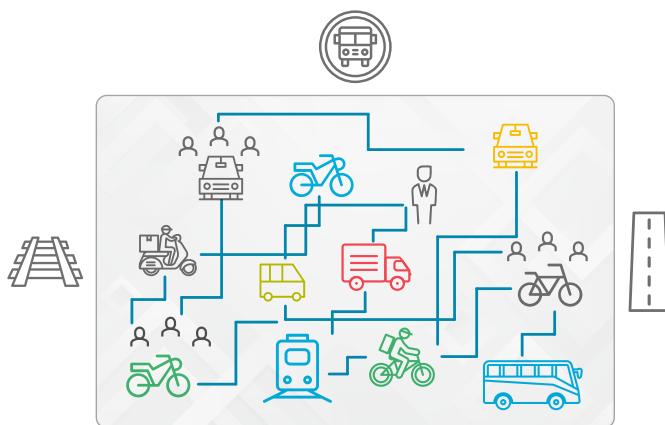
Desde un punto de vista de la actividad humana, se entiende a la demanda del transporte como una *demandada derivada*, ya que un viaje no se genera por sí solo, sino se deriva de la necesidad del ser humano de desplazarse para realizar una actividad dada (trabajo, estudio, ocio, etc.), o de la necesidad de transportar mercancías para comercializarlas.

En términos prácticos y numéricos, la demanda de transporte en una ciudad se traduce en un número dado de viajes (usualmente agregados a nivel de zonas), en un punto dado del tiempo, desde un sinnúmero de orígenes hacia un sinnúmero de destinos dentro de un área de estudio dada.

## 1.7. Oferta

La oferta se entiende como la capacidad disponible en la infraestructura y servicios existentes, para satisfacer la demanda de transporte. Se entiende a la infraestructura y servicios como: redes viales, redes ferroviarias, veredas, ciclovías, paradas de bus, estaciones de metro, la frecuencia de servicio de transporte público, estaciones de bicicletas, número de taxis activos en el sistema, operadores logísticos con sus flotas y frecuencias, etc. La figura 17 ofrece un pictograma que representa a la oferta de transporte.

**Figura 17.**  
*Oferta de transporte.*



*Nota.* Calderón, F., 2023.

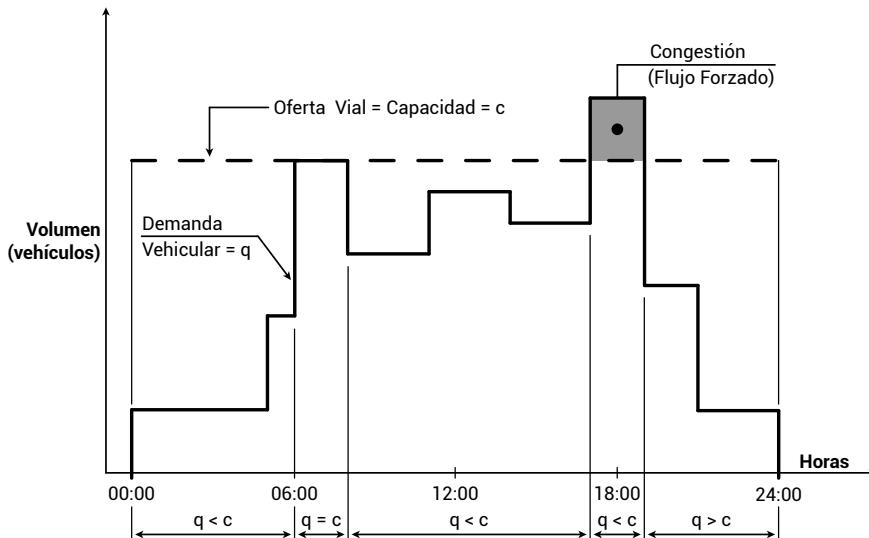
## 1.8. Congestión

Habiendo establecido ambos conceptos, la congestión vehicular surge cuando, en un punto dado del tiempo, la demanda de transporte sobrepasa a la oferta, como se muestra en la figura 18. La congestión vehicular además depende de su componente espacial, y se observa comúnmente

cuando, en ciertos segmentos de la red vial, la cantidad de vehículos que requieren circular es mayor a la capacidad de dichos segmentos. Este tipo de situaciones las evidenciamos en nuestra vida cotidiana, cuando hacemos una consulta a Google Maps para realizar un viaje dado y podemos observar la congestión típica o en tiempo real de la red vial, como se muestra en la figura 19.

**Figura 18.**

*La congestión como la relación entre demanda y oferta o capacidad.*

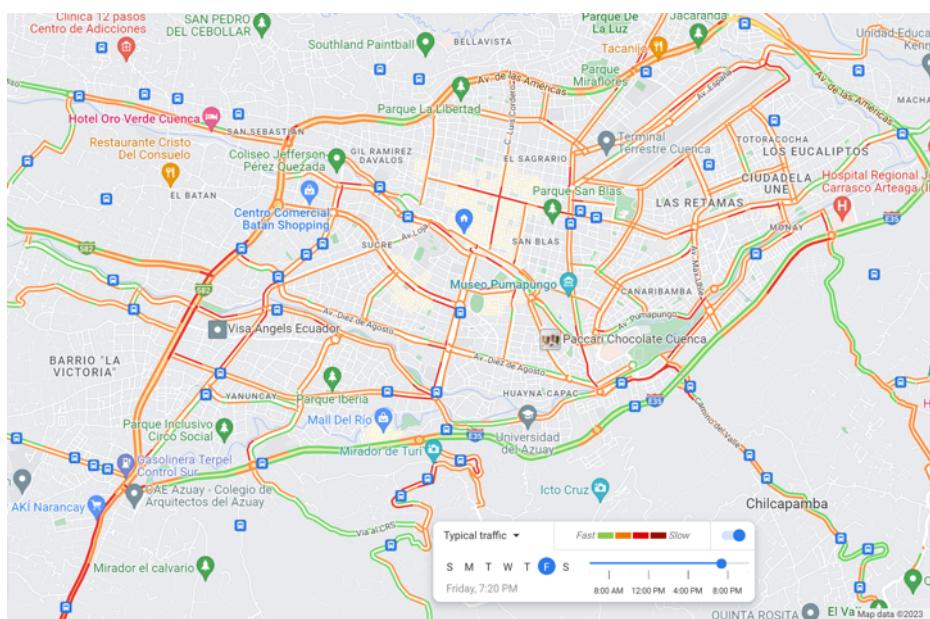


*Nota.* Tomado de Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones (p. 17), por Cal, y., Mayor, R., & Cárdenas, J., 2018, Alpha Editorial.

Es importante comprender que el concepto genérico de congestión también se puede observar en estaciones de transporte público copadas de pasajeros, o buses transportando pasajeros al límite de su capacidad. Sin embargo, la gran diferencia radica en que un bus copado de pasajeros *ocupa mucho menos espacio y capacidad en la red vial*, en comparación con el número vehículos privados que se necesitaría para transportar a la misma cantidad de pasajeros, como se observa en la figura 19.

**Figura 19.**

Niveles de congestión vehicular en la ciudad de Cuenca.



Nota. Google. (s.f. -a). [Cuenca]. Recuperado en 2023 de [Google Maps](#).

**Figura 20.**

Espacio en la red vial requerido por diferentes modos de transporte.



Nota. Tomado de 69 people, by bus, on bikes, or in 60 cars [Fotografía], por Bowen, D., 2023, [flickr](#). CC BY 2.0

Por lo expuesto, la respuesta a las tres preguntas con las que se abrió esta semana de estudio reside en la congestión vehicular, ya que es el síntoma de una planificación y gestión deficientes de la movilidad y el transporte que ha derivado en la dependencia hacia el automóvil, la congestión es cuantificable, y, por lo tanto, nos permite evaluar qué tan grave es el problema. Cuando decimos que la dependencia hacia el automóvil se ha

vuelto insostenible, hablamos de algunos impactos perjudiciales para las ciudades y la población, como alta contaminación ambiental, ruido, riesgo de accidentes, pérdidas de tiempo, afecciones a la calidad y transitabilidad de los demás modos de transporte, incremento de la conducción agresiva, estrés, entre otros. A estos impactos se los conoce técnicamente como externalidades negativas del transporte; los más importantes se abordarán a detalle en la siguiente unidad.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante, realice las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 3 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 3

1. El transporte es el sector que mayor cantidad de emisiones generó en la Unión Europea en el 2017.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. La carga pesada es el tipo de transporte que mayor cantidad de emisiones generó en la Unión Europea en el 2019.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. La demanda del transporte se conoce como derivada porque surge de la actividad humana.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. Se considera parte de la oferta de transporte a:
  - a. Las paradas de bus.
  - b. Las vías.
  - c. El transporte público.
  - d. Todas las anteriores.
5. La congestión vehicular se da cuando la oferta no puede suplir a la demanda.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
6. El autobús ocupa \_\_\_\_ espacio en las vías que el automóvil, pero también transporta \_\_\_\_ personas.
  - a. Menos; más.
  - b. Menos; menos.
  - c. Más; más.
  - d. El mismo; más.

7. Genéricamente, se puede decir que, la congestión vehicular se observa cuando:
  - a. La demanda y la oferta son bajas.
  - b. La demanda y la oferta son altas.
  - c. La oferta supera a la demanda.
  - d. La demanda supera a la oferta.
8. Las horas pico no necesariamente son las mismas en toda el área de estudio, debido a que la congestión depende también del factor:
  - a. Tiempo.
  - b. Espacial.
  - c. Velocidad.
  - d. Humano.
9. Las externalidades negativas del transporte surgen por causas externas al transporte.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
10. El transporte de carga liviana sumado al de carga pesada contaminan más que el automóvil privado en Europa.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.

[Ir al solucionario](#)



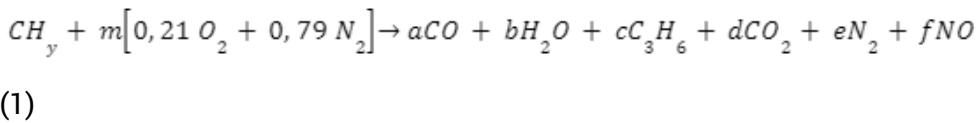
### Unidad 2. Externalidades negativas ambientales del transporte

#### Emisión de contaminantes en el transporte motorizado

Como se explicó en la unidad 1, la emisión de contaminantes sucede como un producto de la circulación de vehículos que funcionan con base en el MCI. Las reacciones químicas presentes en un proceso de incineración de la mezcla aire-combustible (combustión) generan varios compuestos residuales que resultan altamente contaminantes al medioambiente, así como nocivos a la salud humana. En esta semana de estudio se aprenderá sobre cómo se generan estos compuestos y en qué medida, sobre los tipos de compuestos y los impactos negativos que cada uno genera, así como las diferentes fuentes de emisiones y factores que influyen en las emisiones.

#### 2.1. El balance de masas y la relación estequiométrica de la mezcla

Para comprender los procesos de emisión de contaminantes, se puede establecer el balance de masas de las reacciones químicas presentes en la combustión, tal como se muestra en la ecuación 1, donde los reactivos son la gasolina y el aire, y los productos son los gases contaminantes y el agua.



Donde:

- $CH_y$  es el hidrocarburo, o combustible
- $[0,21 O_2 + 0,79 N_2]$  es el aire
- $CO$  es el monóxido de carbono
- $C_3H_6$  es un hidrocarburo conocido como ciclopropano
- $CO_2$  es el dióxido de carbono
- $N_2$  y  $N_0$  son compuestos nitrogenados, usualmente denominados

Cabe recalcar que el balance de masas mostrado en la ecuación 1 se calcula a partir de las siguientes condiciones idealizadas:

- Conservación de masa: sumatoria de masa de reactivos debe ser igual a la sumatoria de masa de productos.
- Combustión completa del hidrocarburo.
- El nitrógeno en el aire es inerte.

Con base en las condiciones mencionadas, los coeficientes del balance de masas de la combustión se pueden calcular al establecer el siguiente balance de átomos:

**Tabla 1.**  
*Balance de átomos*

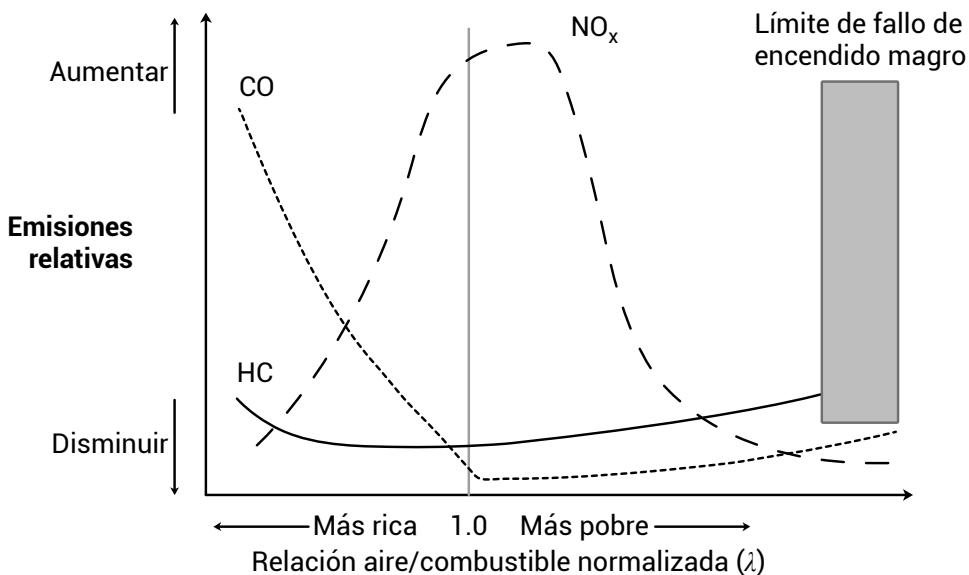
Elemento	Átomos
Carbono	$1 = a + 3c + d$
Hidrógeno	$y = 2b + 6c$
Oxígeno	$0,42m = a + b + 2d + f$
Nitrógeno	$1,58m = 2e + f$

*Nota.* Calderón, F., 2023.

El balance de masas denota la estequiometría de la reacción química de combustión, la cual fija relaciones de masa entre los compuestos. La estequiometría permite determinar la mezcla óptima de combustible y aire para una combustión completa, a la cual se la denomina AFR (Air-to-Fuel Ratio, en inglés), y es igual a 14.7 gramos de aire por cada gramo de combustible. En la figura 21 se representa al AFR de 14.7 mediante el signo lambda (igual a 1 para un AFR de 14.7).

**Figura 21.**

El AFR estequiométrico y su relación con la emisión de contaminantes.



Nota. Tomado de Electric and Hybrid Vehicles - Technologies, Modeling and Control: A Mechatronic Approach (p. 15), Khajepour, A, 2014. Wiley-Blackwell.

La figura 21 permite comprender esta relación ideal, ya que cuando se introduce demasiado aire (AFR>>14.7, mezcla pobre o *lean*), *la combustión se vuelve inestable*; mientras que cuando se introduce muy poco aire (AFR<14.7, mezcla rica o *rich*), *no se combustionan completamente el hidrocarburo*. Además, la figura 21 contrasta cómo varía la emisión de los diferentes tipos de contaminantes respecto al AFR, lo cual resulta ilustrativo para el estudio de la emisión de contaminantes.

## 2.2. Tipos de contaminantes y sus impactos

Los gases contaminantes que emite un vehículo se pueden categorizar como Gases de Efecto Invernadero (GEI) y gases tóxicos que son nocivos para el ser humano.

Bajo la idealización de combustión completa, el GEI producido es el CO<sub>2</sub>, mientras que los gases tóxicos son el CO y los NOX. Ahora bien, es importante comprender que en la realidad la combustión es incompleta, y en este caso, se generan también gases tóxicos como:

los HC (Hidrocarburos no Combustionados), los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC, en inglés) y Material Particulado (MP) – estos últimos son particularmente altos para el caso de motores Diésel.

El impacto del CO<sub>2</sub> se observa en el efecto invernadero y el calentamiento global, fenómenos bien estudiados y conocidos, que básicamente consisten en que los GEI se concentran en el límite entre la atmósfera y la tropósfera de la tierra y no permiten el desalojo de la radiación térmica que se genera en el planeta hacia el espacio exterior. Esto genera un desbalance energético en el planeta, incrementando la temperatura de la atmósfera y desbalanceando nuestro entero ecosistema.

En cambio, el CO, los NOX, los HC, los VOC y el MP traen consigo un sinnúmero de impactos hacia la salud de las personas, que han sido demostrados científicamente y que no deben ser obviados. Kumar et al. (2021), reportan los siguientes efectos adversos para la salud:

- La exposición al CO provoca vómito, dolor de cabeza, y si es prolongada incluso puede causar la muerte (esto no se daría en el caso de los vehículos, ya que las emisiones se depositan en un ambiente abierto).
- La exposición a NOX provoca enfermedades respiratorias y asma, además los NOX provocan lluvia ácida.
- La exposición a HC provoca irritación de los ojos y enfermedades respiratorias. Pero además se los considera como adversos para el efecto invernadero y se los relaciona con el deterioro de la capa de ozono.
- La exposición a MP provoca afecciones al corazón y los pulmones, y su inhalación prolongada puede causar un ataque cardíaco. Pero además causa lluvia ácida y se lo considera también como adverso para el efecto invernadero.

Por otro lado (Minnesota Pollution Control Agency, n.d.), reporta que la exposición a vapores de VOC puede causar una variedad de efectos nocivos a la salud, incluyendo: irritamiento de ojos, nariz y garganta; dolores de cabeza y pérdida de coordinación; náusea; daños al hígado, riñón, o al sistema nervioso central, y existe ya evidencia científica de que son cancerígenos.

## 2.3. Tipos de emisiones

Un aspecto importante para tener en cuenta es que la emisión de contaminantes a la que hemos hecho referencia por defecto durante el estudio de la asignatura son las emisiones “*a tubo de escape*” y *con el vehículo en marcha*. Sin embargo, el vehículo emite gases contaminantes de las siguientes formas (ver figura 22):

- **“A tubo de escape” y con el vehículo parado:** que sucede cuando se enciende el motor está frío. Se da siempre al inicio del día la primera vez que se enciende el vehículo, pero también puede ser durante el día si el motor se vuelve a enfriar. Estas emisiones tienen patrones diferentes al vehículo cuando está caliente, y duran de 2 a 3 minutos hasta que se caliente el catalizador del vehículo. Otra instancia donde suceden estas emisiones se da en entornos urbanos, cuando el conductor debe parar el vehículo en intersecciones semaforizadas, cuando debe parar el vehículo al aproximarse a intersecciones por vías secundarias, o cuando se encuentra atrapado y parado en tráfico. Yusuf e Inambao (2019), estudian este tipo de emisiones y encuentran que varían fuertemente con la temperatura ambiente, incrementándose hasta por un factor de 10 en un rango de variación de 30 °C a -7 °C .
- **Emisiones evaporativas del motor y con el vehículo parado:** estas emisiones emanen desde el motor del vehículo, y son principalmente de tipo VOC . Estas emisiones suceden al finalizar un viaje y apagar el motor aún caliente, y pueden durar por 60 minutos o más. Otras situaciones en las que suceden estas emisiones son durante el tanqueo (recarga) de combustible, también se dan durante el día al parquear el vehículo. Dong et al. (2018), estudian este tipo de emisiones y encuentran que la temperatura ambiente, la volatilidad del combustible, y los patrones de actividad de manejo y parqueo son factores críticos.
- **Emisiones evaporativas del motor y con el vehículo en marcha:** se emanen desde el motor del vehículo mientras el mismo está en marcha.

**Figura 22.**

*Clasificación de los diferentes tipos de emisiones.*

	<b>Escape</b> (a tubo de escape)	<b>Evaporativas</b> (motor)
<b>Parado</b> (vehículo "parado")	Arranque en frío: 2-3 min, hasta que se caliente el catalizador Cuando el vehículo está parado esperando cruzar una intersección	<ul style="list-style-type: none"><li>• Al fin de viaje aún caliente: por lo menos dura 60 min</li><li>• Durante el tanqueo</li><li>• Durante el día</li></ul>
<b>Marcha</b> (vehículo en marcha)	En marcha y caliente	CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , HC, MP, VOC En marcha y caliente

*Nota.* Calderón, F., 2023.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 4 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 4

1. En el proceso químico de la combustión, los reactivos son:
  - a. Combustible y agua.
  - b. Combustible y nitrógeno.
  - c. Combustible y aire.
  - d. Todas las anteriores.
  
2. Los NO<sub>x</sub> se conocen como ciclopropanos.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
  
3. El AFR de la gasolina es 14.7 gramos de gasolina por cada gramo de aire.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
  
4. El CO<sub>2</sub> causa cáncer.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
  
5. Las emisiones evaporativas con el auto parado pueden durar hasta.
  - a. 30 minutos.
  - b. 90 minutos.
  - c. 45 minutos.
  - d. 60 minutos.
  
6. El AFR es la relación estequiométrica de masa entre el \_\_\_\_ y el \_\_\_\_.
  - a. Aire; gases contaminantes.
  - b. Gases contaminantes; combustión.
  - c. Combustible; aire.
  - d. Aire, combustible.

7. Cuando se compara temperaturas muy altas con temperaturas muy bajas, la emisión de contaminantes puede duplicarse.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
8. Las emisiones evaporativas se dan solamente cuando el vehículo está circulando:
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. Las emisiones “en frío” se dan durante:
  - a. Mínimo 20 minutos.
  - b. Máximo 20 minutos.
  - c. 2 a 3 minutos.
  - d. Máximo 1 minuto.
10. Las emisiones de Material Particulado (MP) son nocivas a la salud y también de efecto invernadero:
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

[Ir al solucionario](#)



## Semana 5

---

Estimados estudiantes, en esta semana de estudio se describen factores importantes que influyen en la emisión de contaminantes por parte de vehículos motorizados. El estudio de estos factores les permitirá comprender a mayor profundidad las emisiones vehiculares.

### 2.4. Factores que influyen en las emisiones

Si bien la emisión de gases contaminantes depende completamente de la combustión, se pueden mencionar algunos factores externos al funcionamiento del MCI como tal, pero que influyen en la demanda de potencia que se requiere al MCI, por lo tanto, en las tasas de emisión de contaminantes.

#### 2.4.1. El tipo de vía y las pendientes

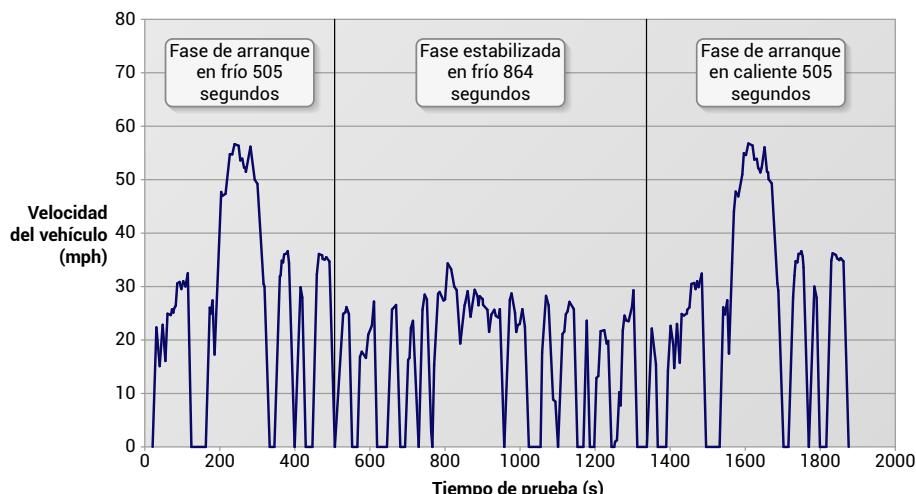
Las superficies por donde circula el vehículo tienen una clara influencia en los requerimientos de potencia al MCI. El tipo de conducción variará considerablemente si la superficie de rodadura es un pavimento en excelente estado, comparado con una vía de tierra, por ejemplo; o en una vía estrecha o una autopista de varios carriles. Por otro lado, en ciudades donde la topografía es irregular y las calles tienen pendientes elevadas, el tipo de conducción y demanda al MCI serán mucho mayores que en ciudades “planas”.

#### 2.4.2. El estilo de conducción

Cada conductor tiene una manera de conducir en términos de aceleración, frenado, manejo de los cambios de marcha, etc. Pero el caso de usuarios con patrones de conducción agresiva (alta y frecuente aceleración y frenado) es particularmente perjudicial en tema de emisión de contaminantes, ya que se ha encontrado en estudios que la conducción agresiva incrementa hasta 3 veces la emisión de CO (De Vlieger, 1997). Por otro lado, estudios han encontrado que los hombres presentan niveles más altos de aceleración que las mujeres, lo cual sugiere que los patrones de conducción están atados también a la idiosincrasia de cada lugar (Ericsson, 2000).

El estilo de conducción depende también del tipo de vía y las pendientes, y de otros factores. Para representar estas diferentes condiciones, se han creado ciclos de conducción estandarizados, los cuales permiten modelar patrones de conducción en diferentes escenarios. Entre los ciclos de conducción más comunes se puede mencionar al Federal Test Procedure (FTP), el suplemento al FTP para Conducción Agresiva (STPF), un ciclo para Conducción en Autopistas (HWFET), un ciclo para Conducción en Ciudades (UDDS), entre otros. La figura 23 muestra el ciclo FTP, donde se puede observar que el eje X representa el tiempo, el eje Y representa la velocidad (la distancia está implícita), y la curva representa las variaciones de velocidad a medida que transcurre el tiempo.

**Figura 23.**  
*Ciclo de conducción FTP.*



Nota. Tomado de EPA Federal Test Procedure (FTP) [Ilustración], por United States Environmental Protection Agency (s.f.), [epa.gov](http://epa.gov). CC BY 2.0

#### 2.4.3. El tipo y año de vehículo

El tipo de vehículo tiene una influencia fundamental en la emisión de contaminantes, ya que los vehículos pueden variar considerablemente de acuerdo al cilindraje de su motor, sus tecnologías, sus sistemas, su peso, etc. Se puede decir que el aspecto más influyente es el cilindraje del vehículo, ya que, como se ilustra en la figura 24, una camioneta *pickup* emite más del doble de CO<sub>2</sub>/año que un auto liviano pequeño.

Otro ejemplo de variaciones de acuerdo al cilindraje se puede notar comparando los 119 gramos de CO<sub>2</sub>/km que emite un Chevrolet Spark de

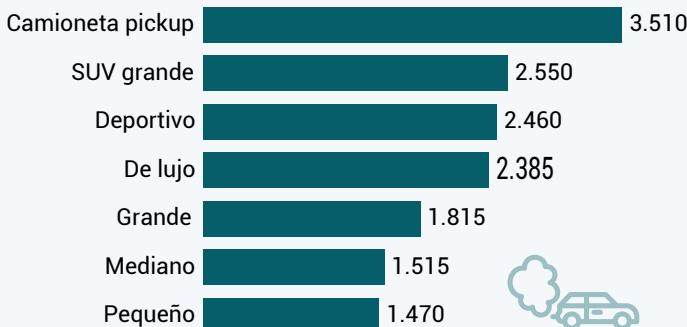
1206 cc, con los 325 gramos de CO<sub>2</sub>/km que emite un [Ford Shelby Mustang GT5000](#) de 5038 cc. La diferencia es aún mayor entre vehículos livianos y pesados, como se muestra en la tabla 2, con datos de San José, Costa Rica (Herrera-Murillo et al., 2017, p.).

**Figura 24.**

*Variación en emisiones de CO<sub>2</sub>/año por tipos de vehículos livianos.*

### ¿Cuánto contamina tu automóvil?

Emisiones promedio de CO<sub>2</sub> de los automóviles a nivel mundial en 2022, por tipo (en kg/año)



Emisiones unitarias. Basado en una distancia anual recorrida de 15.000 km.

Estimaciones de enero de 2022

Fuente: Statista Mobility Market Outlook

Nota. Tomado de ¿Cuánto contamina tu automóvil? [Ilustración], por Mena Roa, 2022, [Statista](#). CC BY 2.0

**Tabla 2.**

*Emisiones de CO<sub>2</sub>/año en Costa Rica, de acuerdo a diferentes tipos de vehículos.*

Ton/año CO <sub>2</sub>	Gasolina	Diesel	Total
Categoría			
Autos	302983	20619	323602
Taxis	17071	3617	20688
Carga liviana	68335	94505	162840
Carga pesada	1003	103359	104362
Motos	11085	5	11090
Buses	546	61625	62171

Nota. Tomado de Desarrollo De Inventarios De Emisiones De Gases Efecto Invernadero, Una Herramienta De Apoyo En La Agenda Local De Cambio Climático: Caso San José (p.), por Herrera-Murillo, J., et al., 2017. Revista Geográfica de América Central, 1 (58).

Finalmente, el año del vehículo es otro factor de gran impacto en la emisión de gases contaminantes, ya que está íntimamente relacionado con el nivel de avance tecnológico del vehículo, así como con la degradación del funcionamiento de este por su deterioro normal.

#### 2.4.4. La velocidad

La velocidad es un factor fundamental en la emisión de contaminantes, ya que mantiene una relación muy cercana con el gasto energético de un vehículo. Simplemente, para alcanzar mayores velocidades se requiere mayor aceleración, mayor potencia, y evidentemente mayor combustión.

Este gasto energético o demanda de potencia al vehículo se pueden modelar a nivel desagregado, segundo a segundo, con base en ciclos de conducción, a través del concepto del Poder Específico del Vehículo (VSP, por sus siglas en inglés). Como se puede observar en la ecuación 2, una representación ampliamente adoptada del VSP es la siguiente (X. Zhou et al., 2015), lo relaciona de manera polinómica de tercer grado con la velocidad, e incluye también la influencia del peso del vehículo, el ángulo de inclinación de la vía, entre otras variables importantes, así:

$$VSP = \left(\frac{A}{M}\right)v + \left(\frac{B}{M}\right)v^2 + \left(\frac{C}{M}\right)v^3 + (a + g \sin\theta)v$$

(2)

Donde:

- $v$  es la velocidad en m/s
- $a$  es la aceleración en m/s<sup>2</sup>
- $g$  es la gravedad en m/s<sup>2</sup>
- $M$  es la masa del vehículo en kg
- $A, B$  y  $C$  son coeficientes que representan:
  - la resistencia a la rodadura en kW · s/m
  - la resistencia rotacional en kW · s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>
  - la resistencia aerodinámica en kW · s<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, respectivamente.
- $\sin \theta$  es la pendiente de la vía.

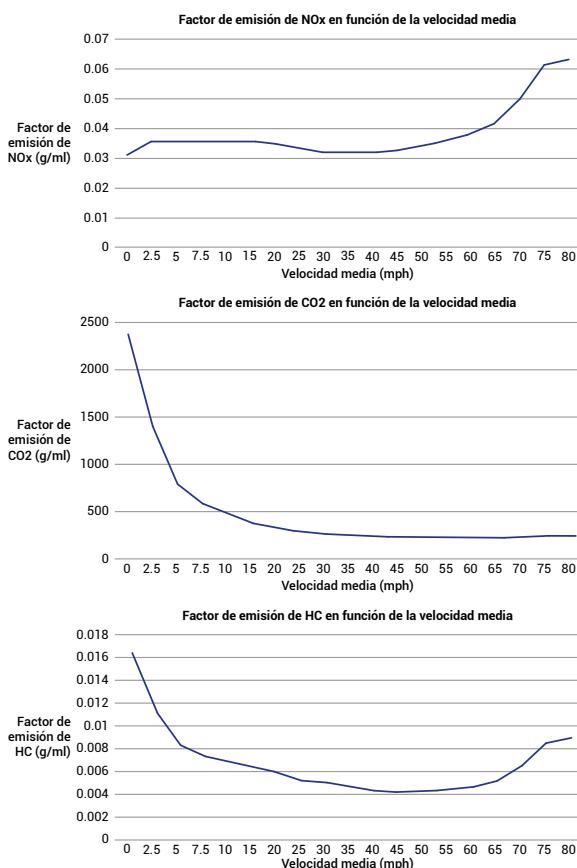
La aplicación de estos y otros modelos de emisiones está fuera del alcance de esta asignatura, pero cabe mencionar que, los resultados de un modelamiento de emisiones contrastados respecto a la velocidad nos permiten visualizar patrones muy marcados respecto a diferentes tipos

de contaminantes, como se muestra en la figura 25, la cual relaciona velocidades promedio con factores de emisión de contaminantes (un factor de emisión no es más que una tasa de emisión que puede ser expresada en gramos de contaminante por distancia, o gramos de contaminante por segundo).

La figura 25 mostrada a continuación ilustra uno de los hallazgos más importantes que se han conseguido en el estudio y modelamiento de emisiones, y consiste en que ciertos contaminantes se ven altamente reducidos a medida que aumenta la velocidad de circulación, mientras que otros generan sus valores mínimos en velocidades bajas.

**Figura 25.**

*Patrones de emisión de NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y HC de acuerdo a la velocidad del vehículo.*



*Nota.* Tomado de Course: Transport Emissions Modelling. Lecture 1-Part 4-Factors Influencing Emissions (p. 94-96), por Hatzopoulou, M., 2018, University of Toronto.

#### **2.4.5. La congestión vehicular**

Hasta ahora, las emisiones se han estudiado como un fenómeno aislado a nivel individual de vehículo, sin embargo, las emisiones toman real magnitud cuando se considera el sistema de transporte como un todo y congestión vehicular.

Respecto a la dimensión temporal, claramente, la concentración de emisiones será mayor en las horas pico de tráfico vehicular, las cuales toman un patrón bimodal, como se pudo observar en la figura 18 de la unidad 1 – picos a las 7:00 y las 18:00.

En este sentido, la concentración de emisiones de gases contaminantes depende fuertemente de los patrones espaciotemporales de movilidad del área de estudio.

Pero no basta con analizar estos patrones respecto al tiempo, sino también al espacio, por lo tanto, dentro de las horas pico, existirán corredores o zonas dentro del área de estudio donde se concentre una mayor cantidad de viajes (como se mostró en la anterior unidad en la figura 19). Aquellos corredores donde se concentra el tráfico a una hora dada son donde se espera la mayor concentración de emisiones de gases y los mayores impactos negativos del uso de vehículos motorizados en general.



#### **Actividades de aprendizaje recomendadas**

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.
3. Realice la autoevaluación 5 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 5

1. Los patrones de conducción no dependen del tipo de vía y las pendientes.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
2. La conducción agresiva incrementa las emisiones por un factor de.
  - a. 1.5.
  - b. 1.3.
  - c. 0.3.
  - d. 3.
3. Una manera de representar los patrones de conducción son los ciclos de conducción.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. El cilindraje de un vehículo ofrece una buena aproximación a la magnitud de emisiones que el vehículo podría generar.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
5. El VSP y la velocidad tienen una relación de orden polinómico:
  - a. No es de orden polinómico.
  - b. Cuadrática.
  - c. De tercer grado.
  - d. De primer grado.
6. De acuerdo al tipo de vehículo: existe una diferencia en emisiones de contaminantes de más del doble entre una camioneta pickup y un auto pequeño.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.

7. La emisión de NO<sub>x</sub> es \_\_\_\_ a velocidades bajas y \_\_\_\_ a velocidades altas.
- Baja; alta.
  - Alta; baja.
  - Baja; baja.
  - Alta; alta.
8. La emisión de CO<sub>2</sub> es \_\_\_\_ a velocidades bajas y \_\_\_\_ a velocidades altas.
- Baja; alta.
  - Alta; baja.
  - Baja; baja.
  - Alta; alta.
9. La emisión de HC es \_\_\_\_ a velocidades bajas y \_\_\_\_ a velocidades altas.
- Baja; alta.
  - Alta; baja.
  - Baja; baja.
  - Alta; alta.
10. Se puede decir que, un rango de velocidad de 30 a 50 mph ofrece el escenario más favorable para mitigar emisiones de NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y HC.
- Falso.
  - Verdadero.

[Ir al solucionario](#)



### Otros problemas asociados con la movilidad y transporte motorizado

Estimados estudiantes, en esta semana de estudio se abordan externalidades del transporte más allá de la emisión de contaminantes, como son el ruido y los accidentes de tránsito. Estas externalidades complementan su entendimiento de los problemas de movilidad y transporte.

#### 2.5. Ruido

Si bien a la contaminación ambiental se la relaciona intuitivamente con gases de escape de los vehículos, una forma de contaminación ambiental que es también importante es el ruido que generan los vehículos durante su operación. En calles o corredores urbanos donde la congestión es constante y considerable, el ruido puede deteriorar la calidad ambiental, la calidad del espacio público y la calidad de vida en general de las personas.

El nivel de ruido que emite un vehículo se mide en decibelios de ruido ponderados para reducir altas y bajas frecuencias que no se pueden percibir por el oído humano (Dba), y depende de las características propias de cada vehículo, del tipo y nivel de servicio de las vías, del entorno urbano construido, condiciones medioambientales, entre otros. Entre las características propias del vehículo que influyen en el nivel de ruido se puede mencionar al cilindraje del vehículo, la tecnología del motor y el año de fabricación del vehículo (como un indicador del estado de mantenimiento, desgaste, o mal funcionamiento del vehículo).

En el ámbito local, existen estudios de modelamiento de ruido que incorporan las variables mencionadas en contextos de tráfico real, como es el caso de la ciudad de Cuenca, donde se encuentra que el 88.5 % de los puntos de control modelados superan los límites permisibles de ruido en la ciudad (Ortega et al., 2017).

El impacto de la congestión vehicular en el ruido sigue la misma lógica que se explicó para emisiones de gases contaminantes: se acentúa en las horas pico y en los corredores o zonas donde se observa mayor congestión vehicular.

## 2.6. Accidentes de tránsito

Siempre que existe un flujo vehicular, existe la posibilidad de que surjan accidentes de tránsito, ya que el derecho de vía es compartido entre vehículos, así como entre diferentes modos de transporte. El riesgo y gravedad de los accidentes es particularmente crítico cuando consideramos que el derecho de vía compartido puede resultar sumamente inequitativo comparando al vehículo privado y a modos y usuarios mucho más vulnerables como el peatón, el ciclista, el motociclista y la micromovilidad en general (e-scooters<sup>2</sup>, patines, patinetas, etc.).

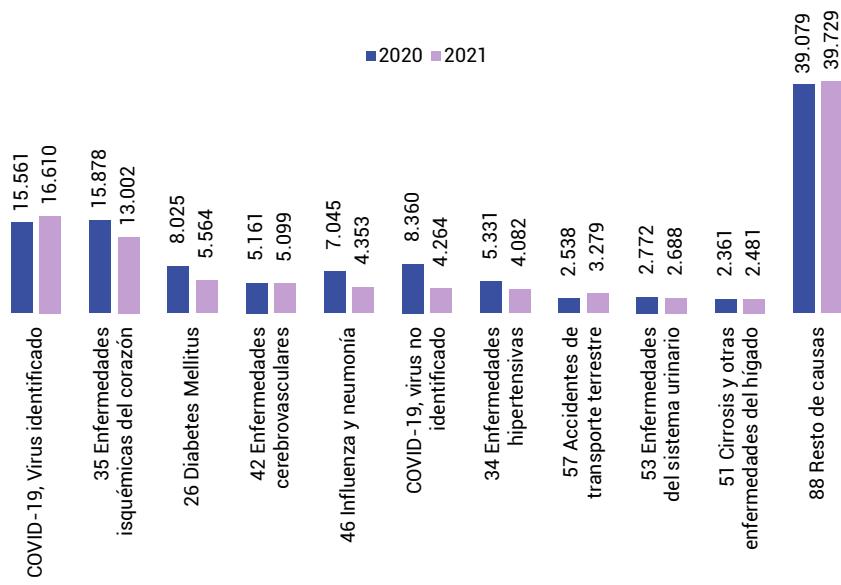
En el contexto ecuatoriano, los accidentes de tránsito en el año 2021 se reportaron como la octava causa de muertes, como se muestra en la figura 26. Estas estadísticas resultan sumamente preocupantes, ya que, por defecto, se podría esperar que las principales causas de muerte sean relacionadas con enfermedades, solamente – el hecho de que figure una causa relacionada con el transporte revela la magnitud del problema.

---

<sup>2</sup> e-scooter: modo/servicio de transporte moderno, en el cual el usuario se desplaza en un vehículo eléctrico tipo monopatín (e-scooter, en inglés). Esta forma de micromovilidad puede ser también de propulsión humana (scooter) o funcionar con un motor de combustión interna, aunque estas variantes no son comunes.

**Figura 26.**

Principales causes de defunciones en el Ecuador en el año 2021.



Nota. Tomado de Estadísticas Vitales Registro Estadístico de Defunciones Generales de 2021 (p. 21), por INEC, 2022.

La figura 27 reporta las principales causas detrás de los accidentes de tránsito en el Ecuador, siendo la más común la imprudencia o impericia al conducir con un 43.5 % de incidencia.

**Figura 27.**

*Causas de accidentes de tránsito en Ecuador en el año 2021.*



*Nota.* Tomado de Estadísticas de Transporte Siniestros de Tránsito de 2021 (p. 15), por INEC, 2022.

A manera general, se puede mencionar que una solución a la impericia e imprudencia del conductor y el irrespeto de las señales de tránsito (que representan el 64,5 % de los casos) es la educación vial.

Respecto al exceso de velocidad, el establecimiento de límites de velocidad y la pacificación del tránsito<sup>3</sup> son fundamentales, así como el control y sanción de la violación de los límites de velocidad mediante radares de velocidad y operativos de control.

Los operativos de control también son una medida importante para erradicar la conducción en estado de embriaguez o droga, acompañándolos de un régimen sancionatorio y educación vial.

Respecto a accidentes causados por la imprudencia de peatón, es importante recalcar que la educación vial no se debe limitar solamente

<sup>3</sup> La pacificación del tránsito es una estrategia de urbanismo táctico que consiste en reducir las velocidades permitidas de circulación de los vehículos, en pro de la movilidad activa y sostenible.

al conductor, sino a todos los actores que participan en el sistema de transporte y que transitan por las ciudades. Es también importante mencionar que el comportamiento y las decisiones que toma el peatón en el sistema de transporte pueden estar fuertemente condicionadas por el nivel de servicio y seguridad que ofrezca el sistema de transporte (aceras anchas, cruces peatonales seguros y amplios, semaforización peatonal, pasos elevados en caso de arterias viales con un alto número de carriles, entre otros). El mismo criterio se puede aplicar para los ciclistas.

Si bien los accidentes de tránsito no son problemas ambientales, si son problemas que atentan contra la movilidad sostenible, por lo que es importante mencionarlos e incluirlos en la discusión. Cabe también mencionar que el Ecuador tiene un [Plan Operativo de Seguridad Vial](#) donde se establecen objetivos y líneas de acción para mejorar este aspecto de transporte en el país.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante, realice las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 6 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 6

1. Los decibelios de ruido ponderados incluyen las fluctuaciones altas y bajas de frecuencias.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. La mayor concentración de ruido se puede esperar en:
  - a. Ciudades antiguas.
  - b. Autopistas.
  - c. Donde se concentre la congestión vehicular.
  - d. Ninguna de las anteriores.
3. Los accidentes de tránsito son:
  - a. La primera causa de muertes del país.
  - b. La décima causa de muertes del país.
  - c. La octava causa de muertes del país.
  - d. La segunda causa de muertes del país.
4. La causa más común de los accidentes de tránsito es:
  - a. La velocidad.
  - b. La aceleración.
  - c. El consumo de alcohol.
  - d. Ninguna de las anteriores.
5. Una infraestructura adecuada e inclusiva es fundamental para reducir la incidencia de casos que se reporten como imprudencia del peatón.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.

6. El nivel de ruido depende de los siguientes factores (seleccione todos los que apliquen):
- a. Características de cada vehículo.
  - b. Nivel de servicio de las vías.
  - c. Entorno urbano.
  - d. Patrones de conducción.
7. El estudio de Ortega et al. (2017) sugiere que, en Cuenca, se cumple con estándares en el \_\_\_ de los casos analizados.
- a. 1 %.
  - b. 75 %.
  - c. 88.5 %.
  - d. 11.5 %.
8. Más del 90 % de todos los accidentes en el Ecuador se pueden explicar por 5 causas principales.
- a. Falso.
  - b. Verdadero
9. El Plan Operativo de Seguridad Vial del Ecuador se estableció en el año:
- a. 2015.
  - b. 2012.
  - c. 2017.
  - d. 2022.
10. El Plan Operativo de Seguridad Vial del Ecuador se enfoca completamente en operativos de seguridad:
- a. Verdadero.
  - b. Falso.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 3. Movilidad sostenible

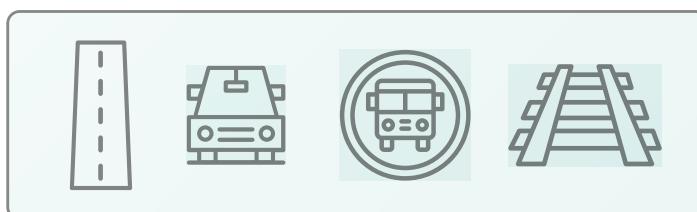
La movilidad sostenible se ha vuelto un término popular en los últimos tiempos; gobiernos, instituciones públicas y privadas, agencias de cooperación internacional, bancos de desarrollo, y muchos otros actores han adoptado de una u otra manera la movilidad sostenible dentro de su misión, visión, operaciones y políticas. Por lo tanto, en esta semana de estudio se definen formalmente los conceptos de movilidad y de sostenibilidad, para poder comprender adecuadamente el concepto de movilidad sostenible.”

### 3.1. Movilidad

Conceptualmente, el **transporte** se relaciona con la acción de mover una persona o mercancía de un lugar a otro. Como se puede observar en la figura 28, al transporte normalmente se lo relaciona con un tipo de vehículo (o modo) y/o infraestructura.

**Figura 28.**

Diferentes tipos de infraestructura (vías, rieles, paradas de bus) y vehículos (bus, auto).



Nota. Calderón, F., 2023.

En cambio, la **movilidad** se relaciona con la capacidad y/o factibilidad de realizar el movimiento descrito en el concepto de transporte. La movilidad es un concepto inherente al individuo, quien puede utilizar un modo o un servicio para satisfacer su necesidad de desplazarse, dependiendo qué tan accesible es dicho modo/servicio en tiempo y espacio – como se observa en la figura 29.

**Figura 29.**

*Movilidad centrada en el usuario y sus actividades.*



Nota. Calderón, F., 2023.

Considerando el concepto de movilidad, se debe comprender que el transporte es un sistema complejo que va mucho más allá de la red vial y el automóvil, y que involucra un sinnúmero de modos y servicios de transporte, así como diferentes tipos de infraestructura, como se observa en la figura 30. Es en este enfoque donde surgen los conceptos de movilidad activa (peatones, bicicletas, e-scooters), movilidad compartida y también de **ecomovilidad**.

**Figura 30.**

*Modos y servicios de movilidad.*



Nota. Calderón, F., 2023.

Como se mencionó en la unidad 1, el trazo urbano de ciudades con una fuerte dependencia hacia el automóvil evidencia un sesgo en la planificación y políticas públicas de movilidad y transporte, relegando a otros modos (especialmente a pie y bicicleta). Pero, además, un trazo urbano donde hay una inversión desproporcionada a favor de infraestructura vial (ver figura 31) genera además el fenómeno conocido como la “demanda inducida” (Guirao Abad, 2000), el cual se enmarca en la paradoja de que “la solución al tráfico es ampliar la capacidad de las vías”, pero este aumento de capacidad resultará efímero, ya que las vías se volverán a colapsar, porque su *ampliación las vuelve más atractivas para el usuario y lo incentiva a un mayor uso del automóvil*.

Por otro lado, las tendencias globales y la filosofía detrás la planificación urbana y de movilidad pueden variar considerablemente entre países de distintos continentes o regiones, o a veces incluso entre provincias/ciudades dentro de un mismo país. La figura 32, a continuación, ofrece una comparación sumamente instructiva respecto a las diferencias en planificación urbana y de movilidad que existen entre ciudades europeas y estadounidenses.

**Figura 31.**

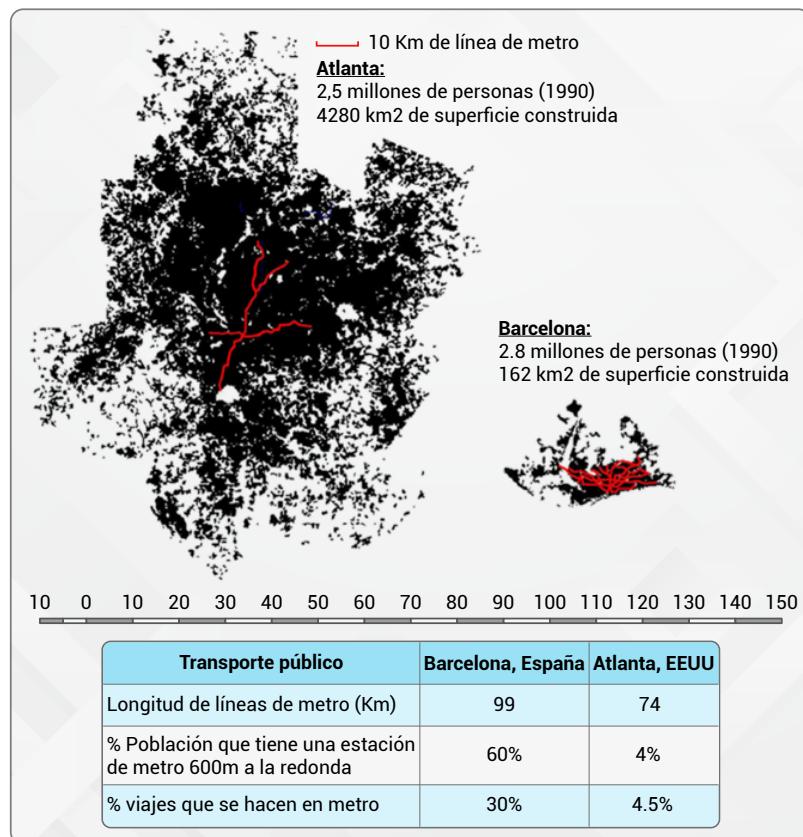
*Infraestructura vial que tiende a generar demanda inducida.*



Nota. Tomado de Highways [Fotografía], por In architecture & urbanism, 2013, [inarchitectureandurbanism](#). CC BY 2.0

**Figura 32.**

Comparación del área construida de Atlanta, EEUU y Barcelona, España.



Nota. Tomado de Diagram Barcelona [Ilustración], por [alainbertaud](#), 2013, alainbertaud. CC BY 2.0

Como se observa claramente en la figura 32, Barcelona tiene mayor población concentrada en un área sumamente menor, lo que implica que se puede proveer un excelente nivel de servicio de transporte público (metro) con una longitud marginalmente mayor de líneas de metro. En contraste, Atlanta, con una longitud no tan menor de líneas de metro, solamente puede proveer servicio al 4 % de su población – finalmente, esto se traduce en una gran dependencia hacia el automóvil y por ende una gran extensión de redes viales.

En resumen, se puede decir que la movilidad es un concepto tan amplio como se lo desee estudiar, y tiene como premisa fundamental el centrarse en el ser humano y su necesidad de desplazarse para poder desempeñar diferentes actividades. En ese sentido, la movilidad depende fuertemente

de la disponibilidad espaciotemporal de los diferentes modos/servicios de transporte disponibles para el usuario, del trazo urbano y la infraestructura disponible, y de aspectos socioeconómicos y demográficos que pueden condicionar a ciertos grupos vulnerables (personas de bajos recursos, mujeres, niños, personas con capacidades especiales).

### 3.2. Sostenibilidad

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) define a la sostenibilidad como el poder satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las futuras generaciones (ONU, n.d.-d). Para ello se deben balancear tres aspectos fundamentales: lo social, lo económico y lo ecológico. Si se analiza a fondo el diagrama de Venn presentado en la figura 33, cada uno de los 3 aspectos es imprescindible para alcanzar una verdadera sostenibilidad. Por ejemplo, una iniciativa, proyecto, o política pública que sea social y económicamente adecuada, pero no ecológica, solamente sería equitativa, pero no soportable ni viable.

**Figura 33.**  
*Los 3 pilares de la sostenibilidad.*



Nota. Tomado de Desarrollo sustentable [Ilustración], por UNAM, (s.f.), [Portal académico](#). CC BY 2.0

Al fusionar los conceptos de movilidad y sostenibilidad, se puede deducir claramente que nuestros patrones históricos de movilidad no han sido sostenibles en varios aspectos, el más crítico es sin duda la predominancia y dependencia hacia el automóvil. Existe una infinidad de criterios y

ejemplos con los que se puede analizar la “sostenibilidad de la movilidad”, a continuación, se mencionan solamente algunos con un enfoque mayor hacia el automóvil:

- El uso masivo y desmedido del automóvil implica una contaminación e impactos negativos insostenibles desde el punto de vista ecológico.
- El automóvil es un modo de transporte al cual no todos los estratos sociales pueden acceder, sin embargo, la movilidad por automóvil ha tenido prioridad desproporcionada en la planificación y políticas públicas de nuestras ciudades.
- Desde lo económico, la alta inversión fiscal en infraestructura vial, parqueaderos, subsidios al combustible, etc, no puede considerarse necesariamente equitativa (socialmente), ni viable (ecológicamente). Por lo tanto, no es sostenible desde toda dimensión.
- Las condiciones de seguridad vial para modos activos (a pie, bicicleta, e-scooters, etc.) pueden llegar a ser extremadamente bajas en ciertas ciudades. La OMS reporta 1.3 millones de muertes y de 20 a 50 millones de heridos anualmente por accidentes de tránsito (OMS, 2022).
- El trazo urbano y el espacio público han sido histórica y convencionalmente distribuidos de manera desproporcionada hacia el automóvil, como ilustra la caricatura de la figura 34.

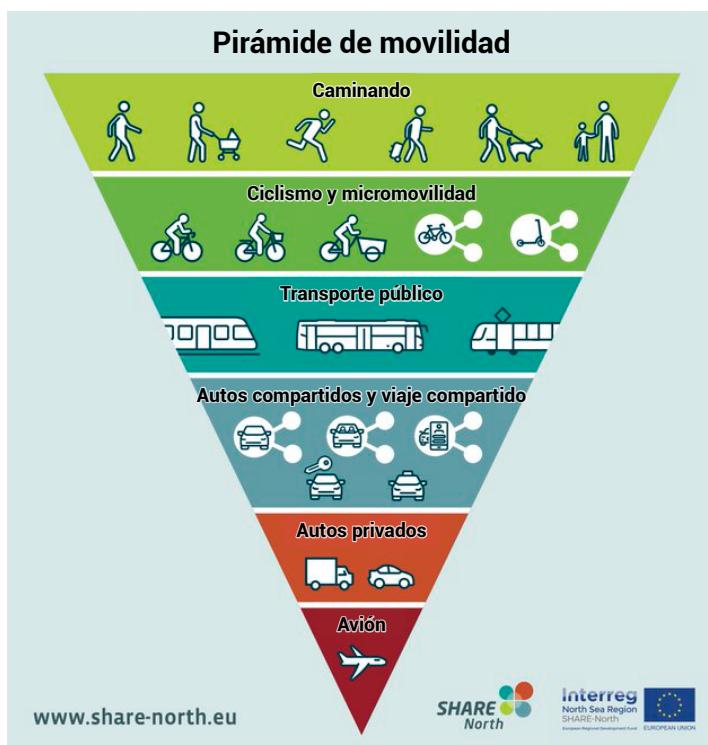
**Figura 34.**  
*Uso inequitativo del espacio público.*



Nota. Tomado de Urbanismo radical [Ilustración], por Todorovic, 2015, [fabiantodorovic](#). CC BY 2.0

Cabe recalcar que el objetivo de la movilidad sostenible no radica en desvirtuar o desestimar al automóvil como una alternativa de movilidad, si no más bien consiste en visibilizar los patrones actuales insostenibles del uso del automóvil hacia todos los actores relevantes: el usuario, el operador de transporte, el gobierno y sus tomadores de decisiones. Pero más importante aún, la movilidad sostenible también puede ser entendida por el objetivo de invertir las prioridades de planificación e implementación de políticas públicas de las ciudades respecto a las diferentes alternativas de movilidad. Este objetivo se ha plasmado bajo el popular concepto de la pirámide invertida de la movilidad, como se muestra en la figura 35.

**Figura 35.**  
*La pirámide invertida de la movilidad.*



*Nota.* Tomado de SHARE-North Mobility pyramid [Ilustración], por Mobility, 2021, [Pedestrianspace](#). CC BY 2.0

En términos simples, la idea es invertir las prioridades convencionales e históricas, ubicando a los modos más vulnerables por encima del automóvil (a pie, bicicleta, transporte público), pero sin necesariamente eliminar al automóvil del sistema.

Esta renovación y fortalecimiento del concepto de sostenibilidad en nuestras sociedades, se ha vuelto un pilar indispensable en el devenir y el accionar de las ciudades y países alrededor del mundo. Su advenimiento se puede atribuir en gran medida al establecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (conocidos como ODS) que se estudiaran el siguiente bimestre.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 7 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 7

1. La movilidad se centra en el usuario.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. La demanda inducida quiere decir.
  - a. Transporte sostenible.
  - b. Demanda que no satisface la oferta.
  - c. Demanda que se genera por incrementar la oferta.
  - d. Ninguna de las anteriores.
3. La comparación entre Barcelona y Atalanta sirve para demostrar que la planificación urbana es un factor importante.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. Las dimensiones de la sostenibilidad son: ecológico, político, social.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. La pirámide invertida de la movilidad prioriza al peatón antes que al ciclista.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
6. Movilidad y transporte son sinónimos.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

7. El tipo de vehículo es esencialmente lo que define un modo de transporte.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
8. ¿Qué es la demanda inducida?
  - a. Un fenómeno de inducción que surge en las vías.
  - b. Un aumento de la infraestructura.
  - c. Un efecto negativo indirecto que surge por incentivar al auto.
  - d. Ninguna de las anteriores.
9. Las cifras a nivel mundial de 1.3 millones de muertes y 20-50 millones de heridos por accidentes de tránsito son:
  - a. En los últimos 10 años.
  - b. En toda la historia que se ha podido recabar datos.
  - c. Anuales.
  - d. Diarias.
10. El objetivo de la movilidad sostenible es prohibir y penalizar a los usuarios del automóvil.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

[Ir al solucionario](#)



## Semana 8

---



### Actividades finales del bimestre

#### Resumen y repaso del bimestre

Esta última semana de estudio se enfoca en un repaso general del bimestre, previo al examen final. Los conocimientos que usted debería haber adquirido en este bimestre son los siguientes:

1. **Unidad 1:** La historia del vehículo y cómo se relaciona con la ciudad, conceptos de oferta, demanda y congestión y cómo todo esto deriva en problemas ambientales y de sostenibilidad en general.
2. **Unidad 2:** Impactos del transporte en materia de emisión de distintos tipos de gases contaminantes y nocivos para la salud humana, ruido, accidentes.
3. **Unidad 3:** Hasta el Tema 3.2: El concepto y objetivos de la movilidad sostenible.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Lea comprensivamente los resúmenes y cuadros sinópticos que ha elaborado en cada una de las semanas de estudio.
2. Revise y vuelva a realizar las autoevaluaciones de cada una de las semanas de estudio, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.
3. La tutoría de esta semana ofrecerá una síntesis de los contenidos cubiertos en este segundo bimestre, se recomienda que realice las actividades de aprendizaje aquí sugeridas, para que pueda consultar al profesor tutor sobre cualquier duda que pudiese tener antes del examen final.



## Segundo bimestre

### Resultado de aprendizaje 1

- Describir la importancia de la ecomovilidad como parte de nuevos procesos de transporte.

Para poder alcanzar este resultado, la asignatura inicia con el estudio del automóvil como una de las innovaciones tecnológicas de mayor impacto en la historia de la humanidad, tanto por sus ventajas como por sus desventajas (los impactos ambientales que generan en sus procesos de combustión). La movilidad sostenible es definida como un concepto englobador, y dentro de ella la ecomovilidad, en la cual se profundiza en las soluciones que aporta desde sus aspectos de nuevas tendencias de movilidad, nuevas tecnologías, y energías alternativas.

### Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



#### Semana 9

##### Iniciativas globales hacia la sostenibilidad

Estimados estudiantes, esta semana de estudio se enfoca en comprender cuáles son las iniciativas a nivel global que se han establecido para alcanzar un desarrollo sostenible. Claramente, muchas de estas estrategias guardan una íntima relación con el transporte y la movilidad.

##### 3.3. Objetivos de desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) surgen a partir de la preocupación global sobre el medioambiente y el planeta, particularmente porque se identificó que nuestros patrones de producción, consumo, y en general nuestra forma de vida no son equitativos, ni sustentables, ni sostenibles. Los ODS se establecieron formalmente en el año 2015, en primera instancia en Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible que tuvo lugar en New York, y se materializan dos meses después en la Conferencia de París sobre el Cambio Climático, mediante

el **Acuerdo de París**, ratificado por 187 países. A manera general, entre los desafíos globales claves que se tratan de enfrentar se encuentran el calentamiento global, el cambio climático, y la reducción de las marcadas desigualdades que existen entre diferentes continentes y regiones del planeta.

Puntualmente, se establecieron 17 ejes críticos en los que los países y ciudades del mundo deben enfocarse para tratar de solventar la crisis global ambiental, económica y social, como se muestra en la figura 36. Actualmente, los ODS están presentes en la gran mayoría de planes de desarrollo a nivel local, estatal y regional, así como en programas de cooperación internacional.

Claramente, el sector transporte es indispensable para el devenir humano, ya que permite el comercio nacional e internacional, así como permite que la población realice actividades económicas y productivas, actividades de estudio, y de esparcimiento. Sin embargo, a la par de todos los aspectos positivos mencionados, también es cierto que el sector transporte hoy en día es responsable en gran medida de los impactos ambientales generados en el planeta. No es sorprendente, entonces, que varios ODS sean claramente relevantes y aplicables en la movilidad y el transporte. A continuación, se provee una discusión de cada uno de los ODS que tiene relación con la movilidad y el transporte, partiendo desde una perspectiva de ciudad, hacia la salud y el ambiente, y cerrando con una perspectiva energética.

**Figura 36.**

*Objetivos de Desarrollo Sostenible.*



Nota. Tomado de Objetivos de desarrollo sostenible [Ilustración], por Naciones Unidas, 2015, [un.org](http://un.org). CC BY 2.0

### ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

El primer objetivo por analizar consiste en orientar el desarrollo hacia ciudades y comunidades sostenibles, y es relevante para nuestro estudio, ya que el trazo urbano y los usos del suelo de las ciudades están íntimamente relacionados con el sistema de movilidad y transporte. Las necesidades de movilidad y transporte dependen de la localización de los orígenes y destinos del viaje (en esencia, del ordenamiento territorial de la ciudad).

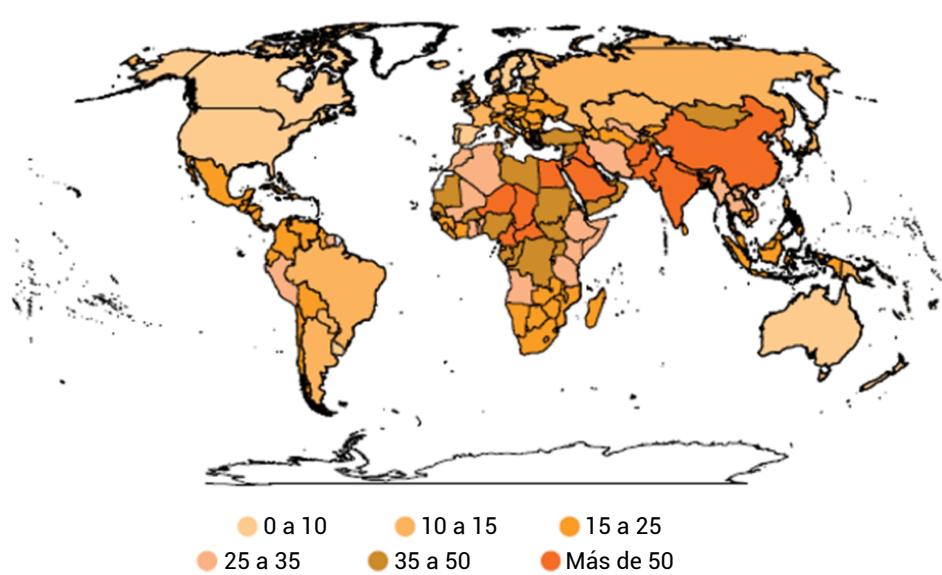
De acuerdo a (ONU, n.d.-b), se pueden mencionar las siguientes estadísticas:

- Más del 50 % de la población mundial vive en ciudades.
- Las ciudades generan alrededor del 75 % de las emisiones de carbono mundiales y entre 60-80 % del consumo de energía.
- La rápida urbanización implica un número creciente de habitantes en barrios pobres, infraestructuras y servicios inadecuados y sobrecargados, lo cual está empeorando la contaminación del aire y el crecimiento urbano incontrolado.
- Desde 2016, el 90 % de los habitantes de las ciudades respiró aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la Organización

Mundial de la Salud (ver figura 37), lo que provocó un total de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica. Más de la mitad de la población urbana mundial estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire, al menos 2,5 veces más altos que el estándar de seguridad.

**Figura 37.**

*Exposición anual a PM2 y PM5 [ug/m<sup>3</sup>] en zonas urbanas, ponderada de acuerdo a la población.*



*Nota.* Tomado de Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (p. 45), por ONU, 2019.

De las estadísticas mencionadas se desprende la conclusión de que el transporte y la movilidad pueden jugar un papel importante en la consecución de este ODS, ya que un sistema de movilidad sostenible busca promover la densidad en ciudades y los usos mixtos del suelo, para así reducir la necesidad de grandes desplazamientos y volver más atractivas a las alternativas de movilidad sustentables como la bicicleta, el peatón y la micromovilidad. Un cambio significativo hacia dichas alternativas de movilidad reduciría en gran medida la contaminación del aire y las emisiones de carbono relacionadas con el transporte.

## ODS 3: Salud y bienestar

El segundo ODS que guarda una importante relación con el transporte y la movilidad se trata de la salud y el bienestar. Como se mencionó en la anterior unidad, los gases emitidos por vehículos motorizados que resultan nocivos para la salud humana son el CO, NOX, VOC, HC y MP.

Además del aspecto ambiental, es importante mencionar que la movilidad activa, entendida como la que requiere la energía humana (a pie, bicicleta, patines, etc.), ofrece importantes beneficios para la salud y bienestar gracias al ejercicio y actividad cardiovascular requeridos.

Un tercer aspecto importante relacionado con este ODS, también desde el ámbito del transporte y la movilidad, está relacionado con la reducción de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico. Nuevamente, la movilidad activa y la micromovilidad ofrecen soluciones sostenibles (ecológicas, económicas, socialmente accesibles) a este problema.

Cabe recalcar que, si bien la movilidad activa ofrece soluciones sustentables a los problemas de salud y bienestar, no se puede obviar al automóvil dentro del análisis, ya que, por su versatilidad y comodidad, es una alternativa de movilidad muy atractiva para el usuario. En este sentido, dado que no resulta fácil disminuir el uso del automóvil, la ecomovilidad propone algunas estrategias paliativas, que permiten reducir los impactos del automóvil. Estas estrategias serán estudiadas a detalle en las unidades 4 y 5 de esta asignatura.

## ODS 13: Acción por el clima

El tercer ODS hace alusión a la acción por el clima, y su relación con el transporte y la movilidad está atada a la emisión de ciertos gases contaminantes que emiten los vehículos motorizados durante su operación. Como se estudió en la anterior unidad, el GEI en cuestión es el CO<sub>2</sub>.

De acuerdo a los datos de la ONU (n.d.-c), se pueden mencionar las siguientes estadísticas:

- Dada la actual concentración y las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que a finales de siglo el incremento de la temperatura mundial supere los 1,5 grados centígrados, en comparación con el período comprendido entre 1850 y 1900.

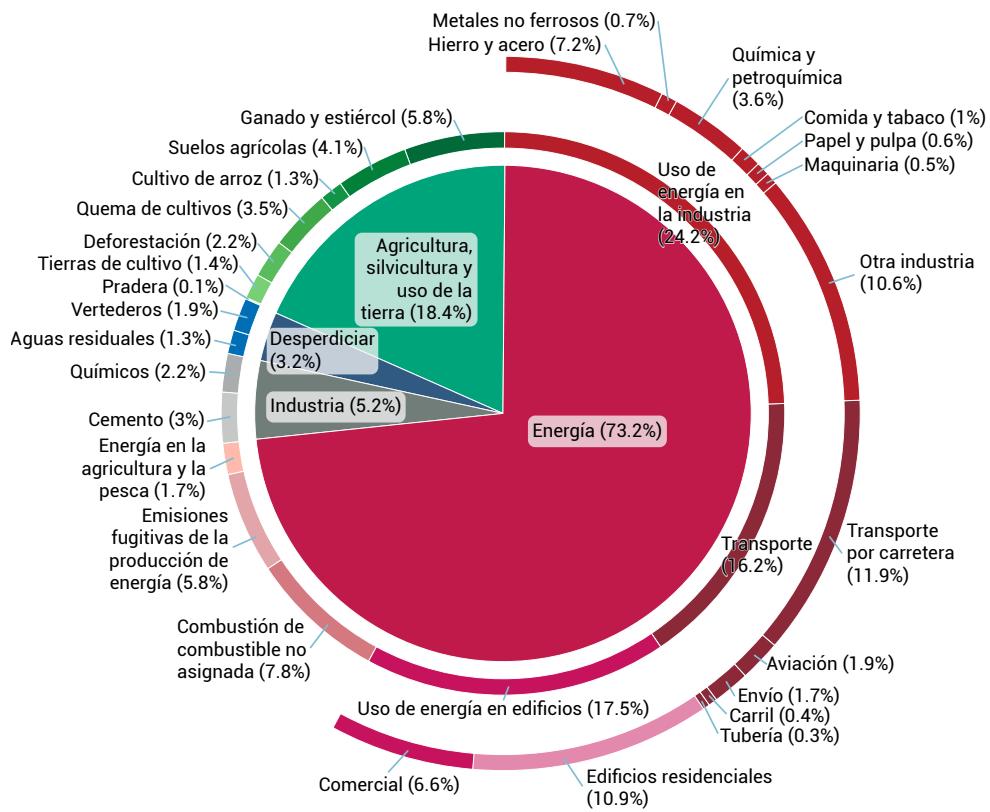
- Las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> han aumentado casi un 50 % desde 1990.
- El incremento de emisiones entre 2000 y 2010 fue mayor que en las 3 décadas pasadas.
- Si se adopta una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios en el comportamiento, aún es posible limitar el aumento de la temperatura media mundial a 2 grados centígrados por encima de los niveles preindustriales (objetivo del Acuerdo de París).

Al analizar la acción por el clima como un objetivo global que incluye al sector transporte, así como a varios otros sectores, es importante comprender que el impacto del sector transporte no se reduce solamente a la operación y combustión de vehículos, sino también se debe considerar la demanda y procesos de generación de energía que el transporte requiere. En este contexto, la figura 38 evidencia que el sector energético es evidentemente el mayor responsable de emisiones, y el transporte como un subconjunto representa el 16.2 % de las emisiones globales.

En vista del alto porcentaje atribuido al transporte y la movilidad, su relevancia en la consecución de este ODS resulta evidente. De hecho, la figura 39 evidencia que la gran mayoría de fondos de financiamiento contra el cambio climático (conocidos también como fondos verdes) estuvieron destinados a transporte y energía en el período 2015-2016.

**Figura 38.**

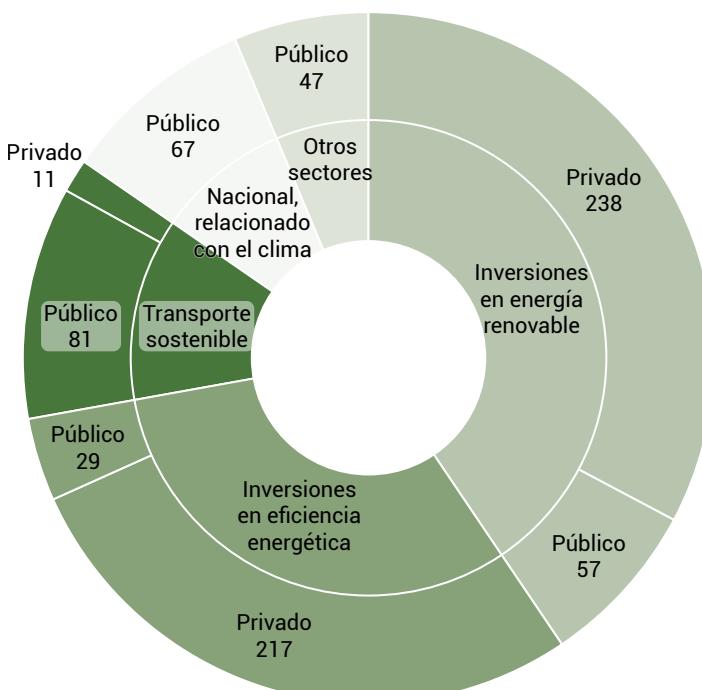
Contribución de emisiones globales por sector.



Nota. Imagen tomada de Research and data to make progress against the world's largest problems, por [Our World in Data](#), 2020. CC BY.

**Figura 39.**

*Financiamiento verde por sector, a nivel mundial en 2015-2016, en miles de millones de dólares.*



*Nota.* Tomado de *The Sustainable Development Report* (p. 49), por Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G. y Fuller, G., 2019, Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network.

#### ODS 7: Energía asequible y no contaminante

El cuarto ODS se enfoca en la energía asequible y no contaminante, como se mencionó indirectamente en la discusión del anterior ODS. En esta discusión el enfoque se dirige particularmente hacia la sostenibilidad de los procesos de generación de la energía. Esta discusión es relevante ya que más adelante en la asignatura se abordará la ecomovilidad desde un enfoque de eficiencia energética.

De acuerdo a los datos de la ONU (n.d.-a), se pueden mencionar las siguientes estadísticas:

- El 13 % de la población mundial aún no tiene acceso a servicios modernos de electricidad.

- La energía es el factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa alrededor del 60 % de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.
- Un dato positivo reportado señala que, en el 2015, el 17,5 % del consumo final de energía fue solventado por energías renovables.

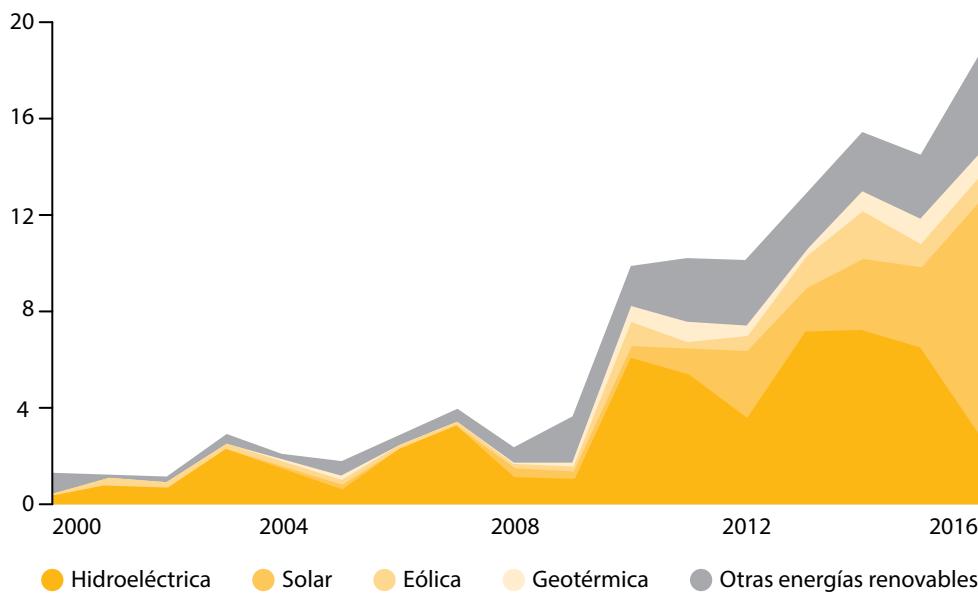
Al considerar los datos mencionados en el contexto del transporte y la movilidad, se puede llegar a dos conclusiones. La primera sugiere que el crecimiento del consumo de energías renovables (en el transporte, especialmente con la electromovilidad) ofrece una expectativa positiva para reducir el alto porcentaje de emisiones de gases que se atribuyen al sector energético (60 %). Sin embargo, la segunda conclusión sugiere que este recambio energético no puede ser instanciado de manera uniforme en el mundo, ya que existe un 13 % que no goza de condiciones adecuadas.

En general, considerar explícita y holísticamente el aspecto energético en los análisis del transporte es de suma importancia, ya que resultaría sesgado considerar un recambio tecnológico solamente desde la perspectiva del vehículo y no desde la perspectiva de la generación y demanda de energía que un recambio implica. Para este fin, el análisis de ciclo de vida ofrece una metodología adecuada y apropiada.

De la misma manera que los fondos orientados al cambio climático, se ha registrado un crecimiento exponencial en los fondos orientados hacia energía no contaminante y renovable. La figura 40 reporta esta tendencia para el caso de países en desarrollo hasta el año 2016.

**Figura 40.**

Financiamiento para energía no contaminante u renovable para países en desarrollo, en miles de millones de dólares.



Nota. Tomado de *The Sustainable Development Report* (p. 37), por Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafontaine, G. y Fuller, G., 2019, Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network.

Le invito a revisar más objetivos de desarrollo sustentable relacionados con el transporte y la movilidad.

ODS que también guardan relación con el transporte y la movilidad

**Figura 41.**

Otros ODS relacionados con el transporte y la movilidad



Nota. Adaptado de Objetivos de desarrollo sostenible [Ilustración], por Naciones Unidas, 2015, [un.org](http://un.org). CC BY 2.0

El transporte y la movilidad son áreas inherentemente interdisciplinarias, ya que al hacer posible el desplazamiento de personas o mercancías,

están íntimamente relacionadas con la actividad humana, sea económica, productiva, de estudio, recreativa, religiosa, etc. Al relacionarse de esta manera con la actividad humana, es natural que el transporte y la movilidad jueguen un rol importante en la consecución de los ODS relacionados con la pobreza, la educación, la igualdad de género y las desigualdades sociales.

Respecto a los ODS 1 y 4, se debe entender al transporte y la movilidad como un medio que permite a las personas movilizarse desde su hogar hacia diferentes destinos para realizar actividades económicas que les generen un ingreso, o actividades de educación que eventualmente les permitan generar un ingreso. Cuando las personas se encuentran en condiciones inadecuadas o insuficientes de movilidad, difícilmente pueden realizar actividades y prosperar. En este sentido, surge el concepto de *accesibilidad*, que hace alusión a la facilidad con la cual una persona puede acceder a medios de transporte de acuerdo a su lugar de residencia y/o lugar de trabajo. Un claro ejemplo es la cobertura espacial y temporal del transporte público en asentamientos urbanos y rurales, especialmente para estratos de la población de bajos recursos, ya que en su gran mayoría no pueden costear un automóvil y/o residen en zonas alejadas o desconectadas de zonas laborales – de ahí su fuerte necesidad y dependencia de un sistema de transporte público asequible y equitativo.

Un problema sumamente importante que se debe combatir en el transporte y la movilidad es la brecha de género. Lamentablemente, la movilidad de las mujeres y niñas se ve afectada fuertemente por condiciones inadecuadas de seguridad en el transporte, donde el acoso se ha vuelto común. Existen ciudades, como México DF, donde el problema es tan grave que resultó en una diferenciación del servicio de metro por género (estaciones y líneas de metro de uso exclusivo para mujeres) (Dunckel-Graglia, 2013). Otro ejemplo que se ha vuelto común en ciudades latinoamericanas es el servicio diferenciado por género de compañías privadas de transporte, donde se ofrecen viajes para mujeres, exclusivamente operados por conductoras mujeres. Ya de manera más genérica, y a nivel social, la brecha de género se manifiesta como condiciones y concepciones en los roles que arquetípicamente le atribuye la sociedad a la mujer, como responsabilidades de manejo del hogar y de los hijos (por ejemplo, viajes de compras de alimentos e insumos para el hogar, o hacerse cargo de los viajes relacionados con actividades de estudio y recreación de los hijos).

En general, se puede decir que los análisis realizados para los ODS 1, 4 y 5 respecto al transporte y la movilidad, se pueden englobar en el ODS 10, ya que todos ellos se enfocan en la reducción de desigualdades desde diferentes dimensiones.

Finalmente, cabe recalcar que los ODS mencionados en este subtema son aquellos donde la relación con el transporte y la movilidad es evidente, así como aquellos en los que se ha observado progreso y trabajo hasta la fecha. Sin embargo, no consisten en una lista exhaustiva ni definitiva, y es posible encontrar relaciones entre los demás ODS y el transporte y la movilidad.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 8 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 8

1. Los ODS establecen 17 ejes de acción, de los cuales los más relevantes para el transporte son:
  - a. Acción por el clima.
  - b. Energía asequible y no contaminante.
  - c. Salud y bienestar.
  - d. Todas las anteriores.
2. El ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles) es relevante para el transporte porque la ciudad es el medio donde se instancia la movilidad.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
3. El ODS 3 (salud y bienestar) se relaciona con el transporte y la movilidad **únicamente** porque la movilidad activa tiene beneficios para la salud.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
4. La electromovilidad es una iniciativa tanto energética como de transporte.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. La razón por la cual los ODS 1, 4 y 10 se han incluido como relacionados al transporte es porque habilitan a las personas para realizar actividades productivas y poder superarse.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. Los ODS se establecen formalmente mediante el \_\_\_\_\_, en el año \_\_\_\_\_.  
a. Convenio de las Naciones Unidas; 2009.  
b. Convenio de las Naciones Unidas; 2015.  
c. Acuerdo de París; 2015.  
d. Acuerdo de París; 2005.
7. Más del \_\_\_ de la población mundial reside en asentamientos urbanos, y en estos se genera el \_\_\_ de las emisiones globales de carbono.  
a. 50 % ; 60 %.  
b. 60 % ; 50 %.  
c. 50 % ; 75 %.  
d. 50 % ; 85 %.
8. Más del \_\_\_ de la población mundial reside en asentamientos urbanos, y en estos se genera al menos el \_\_\_ del consumo global de energía.  
a. 50 % ; 60 %.  
b. 60 % ; 50 %.  
c. 50 % ; 75 %.  
d. 50 % ; 85 %.
9. El principal eje de la brecha de género en el transporte se refiere a la seguridad.  
a. Verdadero.  
b. Falso.
10. El financiamiento verde se ha observado más en transporte que en energía.  
a. Verdadero.  
b. Falso.

[Ir al solucionario](#)



### 3.4. *Low-Emission Development Strategies (LEDS)*

Como se abordó en la anterior semana de estudio, los ODS buscan un desarrollo sostenible desde varios sectores estratégicos y hacia varios objetivos claves, donde los enfoques más relevantes para el alcance de esta asignatura son los sectores de transporte y energía y los objetivos ambientales de salud y clima. En este contexto de objetivos ambientales, una manera de materializar los ODS en acciones y estrategias más concretas han sido las “*Low-Emission Development Strategies (LEDS)*”, que se conocen en español como estrategias de desarrollo bajo en emisiones o estrategias de desarrollo bajo en carbono.

Las LEDS se definen como estrategias a largo plazo a nivel de naciones, cuyo objetivo es el de dirigir el desarrollo de los países y sus ciudades de una manera ambientalmente sostenible, específicamente alejándolos de prácticas y políticas intensivas en carbono (MMA, n.d.). En la práctica, el marco conceptual y los casos de estudio de implementación de LEDS ofrecen a los tomadores de decisiones una herramienta para el diseño y evaluación de políticas públicas ambientales, orientadas a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

La implementación de LEDS o estrategias alineadas con los ODS se ha estandarizado bajo el término Nationally Determined Contributions (NDC). La implementación NDC alrededor del mundo se debate y monitorea anualmente en la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual reúne a los mandatarios y principales actores estratégicos de todos los países del mundo que se han adherido al Acuerdo de París del 2015. Este mecanismo, a más de incentivar a los países a tomar acciones concretas de implementación, permite evaluar el progreso de nuestro planeta hacia los objetivos de sostenibilidad planteados.

### **3.5. LEDS para el transporte y la movilidad en la Unión Europea**

La Unión Europea ha establecido lineamientos generales para sus países miembro respecto a LEDS en temas de transporte y movilidad, sugiriendo un enfoque en las siguientes estrategias (European Commission, 2016):

- Incrementar la eficiencia de los sistemas de transporte, por medio de tecnologías digitales, sistemas tarifarios inteligentes y a través de incentivar un cambio modal hacia modos de transporte bajos en emisiones.
- Acelerar el despliegue de energías alternativas bajas en emisiones para el transporte, por medio de biocombustibles avanzados, electricidad generada por energías renovables, combustibles sintéticos renovables y al remover obstáculos y crear incentivos para la electrificación del transporte.
- Buscar una transición hacia vehículos de cero emisiones, sin descartar también el mejoramiento continuo del motor de combustión interna.

Como se mencionó en la anterior semana de estudio, se ha observado un incremento exponencial de fuentes de financiamiento verde para los sectores del transporte y la energía. Explícitamente en el contexto de LEDS en la Unión Europea, se puede mencionar al Fondo Europeo de Inversión Estratégica (*European Fund for Strategic Investment*), el cual destina 70 000 millones de euros para el sector transporte, y de ellos, 39 000 millones para la transición hacia la movilidad baja en emisiones (European Commission, 2016).

En la actualidad, la electromovilidad ha sido la iniciativa LED más popular en Europa y alrededor del mundo. Este tema se estudiará a fondo en las unidades 4 y 5 de la asignatura.

### **3.6. LEDS para el transporte y la movilidad en el Ecuador**

La considerable inversión que se realizó en el Ecuador en las últimas décadas en materia de energía hidroeléctrica lo ubica en una posición privilegiada respecto a otros países de la región. Una gran capacidad de generación de energía hidroeléctrica renovable viabiliza el

diseño y ejecución de proyectos y políticas públicas centrados en la electromovilidad.

A pesar de un escenario favorable desde el punto energético, el desafío es grande aún. Un estudio del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2011) reporta que, en el año 2006, el 47.8 % del total de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en el Ecuador se atribuyen al sector transporte, mientras que el 31.4 % se atribuyen al sector de industrias y energía.

Un ejemplo de LEDS se puede observar en la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025 (ver figura 42), la cual busca “promover la diversificación de la matriz de consumo energético del sector transporte mediante la implementación de acciones orientadas a, entre otros, mejorar la eficiencia en el consumo de combustible en el transporte público y privado, usar energías de fuente renovable en el transporte público e introducir tecnologías híbridas apropiadas en el contexto nacional” (MAE, 2012, p. 63). Esta estrategia también plantea como objetivo el “mejorar la eficiencia en el uso de combustible mediante la renovación del parque automotor del país” (MAE, 2012, p. 32).

#### **Figura 42.**

*Portada del documento que reporta la Estrategia de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025.*



*Nota.* Tomado de Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (Portada), por Ministerio de Ambiente, 2012.

Otro ejemplo de LEDS implementadas en el Ecuador fue el programa [Low Emissions Capacity Building](#) (LECB), llevado a cabo bajo la dirección del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP, en inglés). El programa LECB duró 5 años (2012-2017), obtuvo un financiamiento de 1.6 millones de dólares, y se enfocó en la construcción de capacidades técnicas y de gestión para poder coordinar e integrar los esfuerzos de mitigación del cambio climático ya realizados por el país hasta ese entonces. Uno de los resultados principales que se reporta como logro del proyecto es la reducción de más de un millón de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en el período 2009-2017.

La primera NDC del Ecuador (ver figura 43) se presentó oficialmente en el año 2019 en el marco de la COP25 celebrada en Madrid, España. La NDC reporta las siguientes líneas bajo un escenario de acción no condicionado a financiamiento externo internacional (República del Ecuador, 2019):

- Impulsar el uso de la energía renovable.
- Fortalecer la eficiencia energética.
- Fomentar e implementar la movilidad sostenible.

Las líneas de acción no condicionada se materializan a través de las siguientes iniciativas específicas propuestas:

- Desarrollo de centrales hidroeléctricas.
- Programa de Eficiencia Energética – Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética (OGE&EE).
- Energía renovable no convencional (eólica, solar y biogás de rellenos sanitarios).
- Programa de Cocción Eficiente (cocinas de inducción).
- Transporte público eficiente (metro de Quito, tranvía de Cuenca).

La NDC también propone un escenario de líneas de acción condicionadas a financiamiento internacional extremo (República del Ecuador, 2019):

- Incorporar, reformular y actualizar normativa que impulse el uso de energía sostenible y eficiencia energética de forma incluyente en cada uno de los subsectores.
- Desarrollar e implementar el transporte seguro y sostenible.
- Promover el uso y desarrollo de energía renovable, garantizando plena accesibilidad.

- Promover el uso y desarrollo de eficiencia energética y cambio de conducta del consumo.
- Promover la investigación para la implementación de soluciones energéticas, reduciendo la brecha de género.

Estas líneas de acción condicionada se materializan a través de las siguientes iniciativas específicas propuestas:

- Plan Nacional de Eficiencia Energética.
- Programa de Eficiencia Energética – Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética (OGE&EE).
- Energías Renovables (geotérmica y el Proyecto Hidroeléctrico Santiago I, II).
- Nationally Appropriate Mitigation Action (NAMA) de transporte de carga y pasajeros (reducción de emisiones en transporte de carga a nivel país y de pasajeros en Quito, Guayaquil y Cuenca).

**Figura 43.**

*Logo de la primera NDC del Ecuador.*



*Nota.* Tomado de Plan para la Implementación de la NDC de Ecuador, componente de adaptación (p. 3), por Fundación futuro latinoamericano, 2020.

Considerando que la primera NDC del Ecuador contempla un escenario condicionado a financiamiento externo, resulta importante mencionar también que el Ecuador lanzó también su primera Estrategia Nacional de Financiamiento Climático (ver figura 44) en marzo de 2021, apoyado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) y otros organismos internacionales (MAE & MEF, 2021). Esencialmente, esta estrategia busca mejorar la formulación de proyectos enfocados, en cambio, climático, el aseguramiento de fuentes externas de financiamiento, y la correcta gobernanza y manejo de fondos y proyectos obtenidos.

**Figura 44.**

*Portada del documento que reporta la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático del Ecuador.*



*Nota.* Tomado de Estrategia nacional de financiamiento climático (Portada), por Ministerio de Ambiente y Agua, y Ministerio de Economía y Finanzas, 2021.

También en marzo de 2021, se publicó la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador (ver figura 45) (Hinicio, 2021), como entregable de una consultoría realizada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta estrategia de electromovilidad se enmarca directamente en los 3 objetivos planteados en la NDC de Ecuador (energía renovable, eficiencia energética y movilidad sostenible).

Dada la naturaleza de las NDC en términos de su envergadura, alcance, y mecanismos de financiamiento, es pertinente desarrollarlas a nivel de Estado (país). Sin embargo, la gobernanza es un aspecto importante y un desafío que se debe tomar en cuenta al implementar NDC en la práctica, ya que se debe coordinar los diferentes niveles jurisdiccionales y de gobierno de cada país, desde lo estatal, provincial, local, etc. Es común encontrarse con barreras de implementación debido a la transferencia de una política pública estatal hacia los diferentes subniveles autónomos de gobierno. En el caso del Ecuador, existen dos niveles principales de gobierno bien establecidos, el Gobierno Central a nivel estatal y los Gobiernos Autónomos Descentralizados a nivel local (GAD).

**Figura 45.**

*Portada del documento que reporta la Estrategia Nacional de Electromovilidad del Ecuador.*



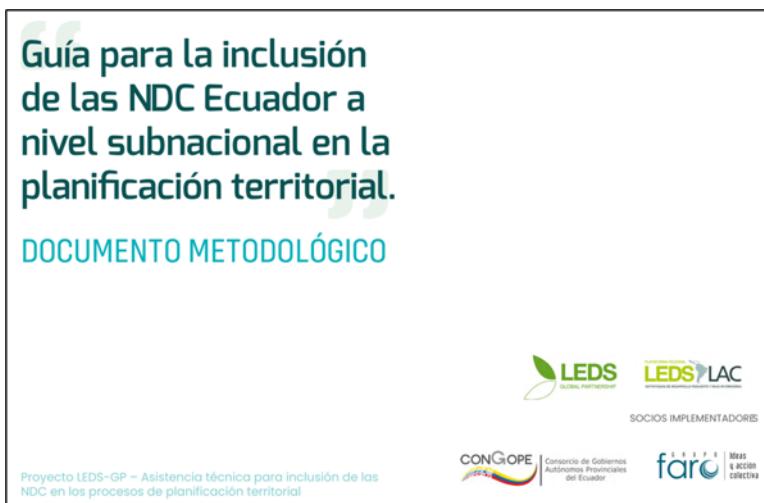
*Nota.* Tomado de Estrategia nacional de electromovilidad para Ecuador (Portada), por Banco Interamericano, 2021.

En este contexto jurisdiccional y de gobernanza, es pertinente mencionar el trabajo existente orientado a facilitar la transferencia de políticas públicas generadas a nivel de Estado (NDC) hacia los GAD locales. En específico, el Ecuador cuenta con una guía metodológica para la inclusión a nivel subnacional de NDC orientadas a la planificación territorial (ver figura 46) (Grupo FARO, 2021).

Como se ha evidenciado, existe una fuerte tendencia en el mundo de generar compromisos para trabajar hacia la sostenibilidad, la cual está soportada por extensos esfuerzos en investigación, gestión pública y privada, financiamiento y cooperación internacional. En este contexto, el transporte, la movilidad, la logística y la energía han atraído particular atención, debido a que son los sectores que más contaminación generan. Si bien este es un gran problema y desafío, presenta también una gran oportunidad para que el profesional en transporte, movilidad y logística pueda ejercer un cambio en la sociedad y el bienestar de nuestro planeta y su población.

## **Figura 46.**

*Portada del documento que reporta las guías para incluir NDCs a nivel subnacional en el Ecuador.*



*Nota. Tomado de Guía para la inclusión de las NCD a nivel subnacional en la planificación territorial (Portada), por Paz, M. y Zambrano, P., 2021.*



### **Actividades de aprendizaje recomendadas**

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.*

3. Realice la autoevaluación 9 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 9

1. Las *Low-Emission Development Strategies* no son lo mismo que las estrategias de desarrollo bajo en carbono.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. Las *Low-Emission Development Strategies* son estrategias que lleva a cabo cada ciudad de manera autónoma.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Las NDC son instrumentos que utilizan los gobiernos para reportar sus avances en la lucha contra el cambio climático.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. En el Ecuador, la mayor fuente de emisión de CO<sub>2</sub> es el sector, transporte .
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. El transporte sostenible consta dentro de los objetivos perseguidos por la primera NDC de Ecuador.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
6. La Estrategia Nacional de Financiamiento Climático del Ecuador, es un instrumento de \_\_\_\_\_, que busca asegurar financiamiento \_\_\_\_\_, y se alinea con la consecución de \_\_\_\_\_.
  - a. Regulación; “verde”; metas.
  - b. Regulación; barato; metas.
  - c. Planificación; “verde”; NDC.
  - d. Planificación; barato; NDC.

7. Una NDC se puede generar dentro de la planificación e implementación de proyectos de un GAD municipal.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
8. Un GAD municipal se puede alinear a una LEDS dentro de su planificación e implementación de proyectos.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
9. Una NAMA es parte de una NDC.
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
10. Una NAMA puede ser también LEDS.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

[Ir al solucionario](#)



### Unidad 4. Dimensiones de aplicación de la ecomovilidad

#### Ecomovilidad y tendencias de la movilidad

Hasta el momento se han explorado diferentes aristas del concepto de movilidad sostenible, desde el análisis de los aspectos positivos y negativos implícitos en la planificación urbana, trazo urbano, oferta y demanda de transporte, y las estrategias e iniciativas globales para dar solución a los problemas de una movilidad insostenible. Este enfoque generalista permite establecer las bases teóricas y prácticas necesarias para poder explorar a la ecomovilidad desde tres dimensiones claves: tendencias de movilidad futura y sostenibles, soluciones técnicas-tecnológicas y energías alternativas.

Para iniciar el estudio de la ecomovilidad se describen a continuación los más recientes conceptos y tendencias futuras de la movilidad sostenible. Note que el enfoque de los subtemas a continuación no es hacia las tecnologías y energías alternativas (lo cual se estudiará en las siguientes semanas), sino hacia alternativas emergentes de movilidad sostenible.

Como se ha mencionado directa o indirectamente en las unidades anteriores, una situación ideal sugiere que la mejor solución a los impactos negativos del vehículo motorizado es planificar y construir ciudades en las cuales sea factible y atractivo el caminar, manejar bicicleta, utilizar un e-scooter, o recurrir a un transporte público de calidad – si existiesen barreras como distancias largas o pendientes pronunciadas. Las tendencias que se explican a continuación tienen como objetivo el mejorar las condiciones de movilidad y volver más atractivas a alternativas de ecomovilidad sustentables – lo cual directa o indirectamente hace menos atractivo al automóvil.

#### 4.1. Movilidad activa

La movilidad activa hace alusión a los desplazamientos o viajes que son realizados por medio de la actividad física del usuario. En esencia, la energía que permite el desplazamiento proviene del usuario, en lugar de algún tipo de sistema de propulsión motorizado. La movilidad activa

engloba la movilidad a pie, en bicicleta, scooters, o cualquier otro vehículo que funcione con base en propulsión humana.

**Figura 47.**

*Modos de movilidad activa.*



*Nota.* Tomado de La gente monta scooter bicicleta patineta moto y coche eléctrico humano en hoverboard [Ilustración], por winwin.artlab, 2023, [freepik](#). CC BY 2.0

Como se estudió en la unidad 1, la movilidad depende fuertemente del trazo urbano y de la visión de ciudad y espacios públicos, particularmente cuando se trata de la movilidad activa. Una corriente de pensamiento que ha ganado mucha aceptación a nivel global es que el espacio público de las ciudades es para y está compuesto por las personas y sus interacciones socioculturales, más no para los automóviles y autopistas masivas. El usuario de movilidad activa experimenta sus desplazamientos de manera mucho más cercana a la ciudad, su gente y sus espacios, en comparación con el usuario que transita dentro de su automóvil.

Para que la movilidad activa pueda surgir en las ciudades, se necesitan condiciones indispensables y fundamentales en términos de espacios públicos, infraestructura y seguridad vial. La ciudad que fomenta la movilidad activa idealmente debería tener las siguientes iniciativas básicas:

- Poseer infraestructura de calidad para el peatón: aceras con ancho adecuado, cruces peatones seguros, semáforos peatonales, pasos elevados cuando existan autopistas o arterias de alto flujo, etc.
- Ser caminable: propendiendo hacia distancias cortas y cercanía de actividades por medio de la densificación urbana y los usos mixtos del suelo.

- Ser cicleable: ofreciendo una extensa cobertura espacial de redes de ciclovías (ver figura 48) y sistemas de bicicleta pública con, cruces seguros, semáforos para ciclistas, parqueaderos exclusivos y seguros para bicicletas, etc.
- Contar con un transporte público eficiente, confiable y de calidad (premisa fundamental de la movilidad sostenible en general), ya que la movilidad activa y el transporte público ofrecen gran potencial para la *multimodalidad* (*este aspecto se estudiará a detalle en el siguiente subtema de esta semana*).
- Regular, monitorear, comunicar y educar sobre seguridad vial a todos los actores del sistema de transporte.
- Políticas públicas que desincentiven el uso del automóvil privado (zonas tarifadas, tarifas de parqueo, subsidios a la gasolina, etc.).

**Figura 48.**

Ejemplo de una ciclovía.



*Nota.* Tomado de Flechas direccionales y signo de bicicleta en carril de ciclo de perspectiva en disminución [Ilustración], por freepik, 2023, [freepik](#). CC BY 2.0

Un concepto orientado a potenciar la movilidad activa que ha tomado fuerza en los últimos años es el *urbanismo táctico*, el cual busca recuperar los espacios públicos para usuario activo que han sido históricamente “cedidos”, con base en intervenciones simples, de bajo costo, pero de gran impacto. La figura 49 ilustra implementaciones de este concepto.

**Figura 49.**  
*Urbanismo táctico.*



*Nota.* Tomado de Peatonalización para la salud ciudadana: metodologías participativas y experimentales del piloto en urbanismo táctico Rionegro Calle Consciente [Fotografía], por Egger, T., y Palacio, M., 2020, [Ciudades sostenibles](#). CC BY 2.0

Cabe recalcar que las iniciativas mencionadas no se pueden considerar de manera aislada, sino en conjunto, ya que se potencian entre ellas, o incluso algunas dependen de otras para ser viables. Un claro ejemplo se da respecto al caso de políticas públicas para desincentivar el auto, las cuales solamente resultan factibles de implementar si van acompañadas de una o varias de las demás iniciativas mencionadas – no se puede tratar de suprimir el automóvil sin ofrecer alternativas de calidad.

La movilidad motorizada no solamente genera impactos a la salud debido a gases contaminantes, sino indirectamente también por el sedentarismo que implica el relegar el esfuerzo físico al motor. En este sentido, un importante beneficio asociado con la movilidad activa es el de mejorar la salud de sus usuarios debido a que llevan una actividad cardiovascular rutinaria.

#### 4.2. Multimodalidad

Como su nombre lo sugiere, el concepto básico que define un sistema de transporte multimodal es aquel en el cual existen múltiples modos y

servicios a la disposición del usuario. Ahora bien, no es suficiente el contar con varios modos/servicios, sino que estos deben estar interconectados adecuadamente y deben tener un grado mínimo de coordinación espaciotemporal para garantizar que los usuarios puedan realizar *transferencias intermodales* (cambiar de un modo/servicio a otro en un punto dado del tiempo y en un lugar determinado).

Un viaje multimodal puede entenderse, de manera más explícita, como un viaje en el cual se hace uso de dos o más modos/servicios de transporte para desplazarse desde el origen hacia el destino. Dada su naturaleza, un viaje multimodal se puede descomponer en *segmentos unimodales*, que no son más que los trayectos individuales que se recorren en cada uno de los modos/servicios que forman parte del viaje. Los segmentos unimodales se conectan en puntos de transferencia intermodal, los cuales pueden ser:

- **Infraestructura compleja:** estaciones multimodales integradas, conocidas como mobility hubs, en inglés (por ejemplo, una estación de metro conectada a un aeropuerto, o una estación de metro con conexiones a buses y/o a estaciones de bicicleta compartida).
- **Infraestructura simple:** paradas de bus/tranvía ubicadas en cercanía a otros modos/servicios (por ejemplo, estaciones de bicicleta compartida).
- **Puntos virtuales o flotantes:** cuando no existe una parada o estación definida, se puede tratar de cualquier calle/vereda dentro del área de servicio de los modos/servicios a conectar. Establecer conexiones multimodales en este formato es claramente menos factible. (por ejemplo, un viaje multimodal compuesto de un primer segmento en Uber y un segundo segmento mediante un servicio *free-floating<sup>1</sup> de e-scooters*).

La figura 50 ejemplifica el caso de un viaje multimodal obtenido a través de la aplicación web canadiense Triplinx<sup>2</sup>, mientras que la figura 51

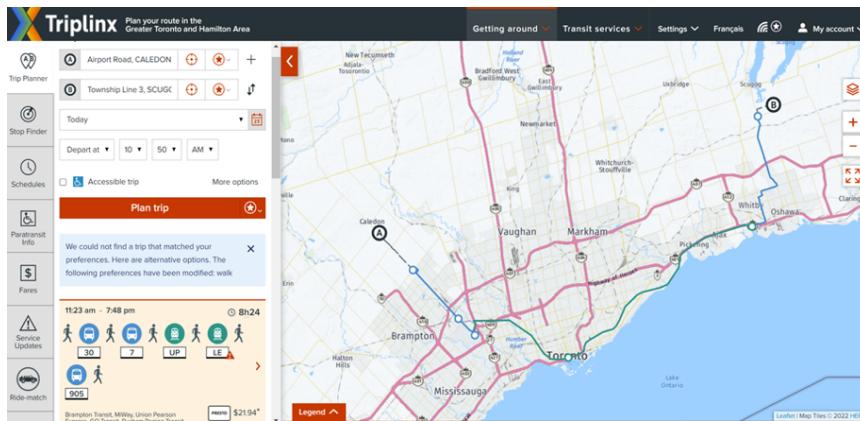
<sup>1</sup> *Free-floating* es una variante de los servicios de movilidad compartidos que no funciona con base en estaciones, sino que los vehículos pueden ser recogidos y parqueados en cualquier lugar dentro de un área de servicio definida. Comúnmente, el usuario encuentra los vehículos a través de una aplicación móvil.

<sup>2</sup> Triplinx es el planificador de viajes oficial para el Greater Toronto and Hamilton Área (GTHA). <https://www.triplinx.ca/>

ejemplifica un viaje intermodal generado por una aplicación piloto creada en la Universidad de Cuenca, Ecuador (LLACTALAB, n.d.). Este tipo de aplicaciones funcionan como planificadores de viaje, proveyendo al usuario soluciones multimodales con conexiones factibles.

**Figura 50.**

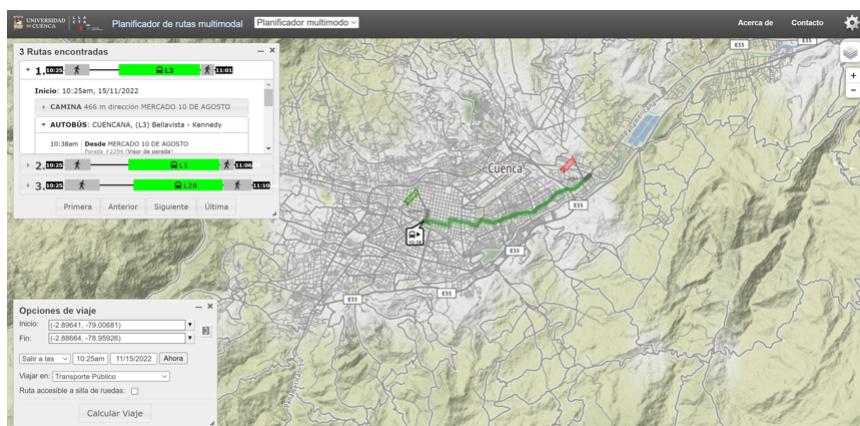
*Solución para un viaje intermodal proporcionado por la aplicación Triplinx.*



Nota. Google. (s.f. -a). [Toronto]. Recuperado en 2023 de Triplinx.

**Figura 51.**

*Solución para un viaje intermodal proporcionado por la aplicación de la Universidad de Cuenca.*



Nota. Tomado de ¿Qué es el Planificador de rutas multimodal? [Ilustración], por Universidad de Cuenca, 2023, [Llactalab](#). CC BY 2.0

La multimodalidad ofrece soluciones que contribuyen a la movilidad sostenible porque solventa las limitaciones típicas que se pueden atribuir

a modos/servicios de movilidad alternativos. Para elaborar el concepto, considérese el siguiente ejemplo:

- Pedro requiere hacer un viaje de 20 km de distancia, partiendo desde su hogar que está ubicado en las afueras de ciudad, hacia el centro de la ciudad.
- Las alternativas de movilidad activa (a pie o usar su bicicleta) no ofrecen a Pedro una opción viable debido al tiempo y esfuerzo físico requeridos en un viaje de 20 km .
- Entonces, el viaje puede ser solventado mediante uno de los medios motorizados que Pedro tiene disponibles (automóvil o motocicleta), o por transporte público.
- Dado que Pedro vive en las afueras de la ciudad, se vería obligado a caminar 10 minutos para llegar a la parada de bus. Esto lo desmotiva de tomar el transporte público y decide usar su auto.
- Ahora, considérese el escenario de que la ciudad modernizó su sistema de transporte público, equipando a los buses con portabicicletas (ver figura 52). En este escenario, a Pedro le toma 2 minutos para llegar a la estación en su bicicleta, por lo que decide tomar la opción multimodal bicicleta-bus.

**Figura 52.**

*Transporte público con portabicicletas.*



*Nota.*Tomado de Transporte público de autobuses TTC [Fotografía], por ivaivar, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

La situación descrita en el escenario inicial se conoce técnicamente como el “*first/last mile problem*”, es decir, el problema que puede surgir con ciertas alternativas de movilidad que por su cobertura espacial no ofrecen una solución viable para el tramo inicial de acceso al modo/servicio y/o para el tramo final de egreso hacia el destino final del viaje. Se puede formular varios ejemplos diferentes al propuesto, combinando diferentes modos, en diferentes situaciones de acceso o egreso, en donde en la mayoría de los casos la multimodalidad ofrece soluciones que eviten que el usuario se vea forzado a utilizar un vehículo motorizado privado.

Cabe recalcar que generar condiciones óptimas para la multimodalidad puede implicar una considerable inversión pública en infraestructura, flotas, servicios, operaciones, personal, etc. Sin embargo, los costos económicos, sociales y ambientales asociados con la dependencia del automóvil no pueden ser obviados.



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito al realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.
3. Realice la autoevaluación 10 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 10

1. La movilidad activa tiene relaciones de aplicación directa con:
  - a. Pavimentos.
  - b. Urbanismo táctico.
  - c. Tecnología vehicular.
  - d. Ninguna de las anteriores.
2. La movilidad activa se refiere exclusivamente al peatón:
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Una de las barreras más importantes que enfrenta la movilidad activa es la seguridad vial:
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
4. La multimodalidad busca potenciar el acceso first/last mile:
  - a. Falso.
  - b. Verdadero.
5. Para ser factible, una solución multimodal debe considerar principalmente:
  - a. El costo.
  - b. El clima.
  - c. Tecnología vehicular.
  - d. La interconectividad.

6. Las 3 dimensiones de la ecomovilidad que se abordan en esta asignatura son:
- Movilidad sostenible, medioambiente , salud.
  - Tendencias de movilidad futura y sostenibles, soluciones técnicas-tecnológicas y energías alternativas.
  - Movilidad sostenible, emisión de gases contaminantes, energías alternativas.
  - Ninguna de las anteriores.
7. La movilidad activa brinda beneficios a la salud de la población debido a (seleccione todas las que apliquen):
- Mayor actividad física.
  - Menor costo.
  - Mayor distancia recorrida.
  - Cero emisiones de gases contaminantes involucradas.
8. La movilidad activa se puede potenciar por medio de la implementación de medidas de \_\_\_\_\_ de modos de transporte, como lo son las \_\_\_\_\_.
- Potenciación; autopistas.
  - Promoción; autopistas.
  - Segregación; ciclovías.
  - Corrección; ciclovías.
9. Si solamente se combinan 2 modos de transporte, no es multimodalidad.
- Verdadero.
  - Falso.
10. Un \_\_\_ multimodal es una herramienta \_\_\_ que potencia la multimodalidad.
- Viaje; costosa.
  - Viaje; barata.
  - Planificador; energética.
  - Planificador; tecnológica.

[Ir al solucionario](#)



### 4.3. Movilidad compartida

El concepto de movilidad compartida es simple, ya que todo viaje que se realice de manera compartida brinda una reducción de al menos 50 % de los impactos negativos comparado con el caso en que no se comparta. Elaborando este concepto mediante ejemplos: si dos usuarios deciden compartir un viaje en lugar de utilizar cada uno sus vehículos privados, se reduce 1 de 2 viajes en el sistema (-50 %); si tres usuarios comparten, se reducen 2 de 3 viajes (-66 %); si cinco usuarios comparten un viaje (capacidad máxima de un auto típico), se reducen 4 de 5 viajes (-80 %).

Cabe recalcar que, en el contexto de movilidad compartida, el transporte público es un servicio compartido por excelencia, que ha existido desde hace más de 300 años. Dada su gran capacidad, y con base en el ejemplo propuesto anteriormente, la magnitud de sus beneficios para las ciudades es incomparable, como se evidencia en la figura 53. El principal desafío que afrontan el transporte público y la movilidad compartida moderna (y futura), es el de conseguir que los usuarios estén dispuestos a compartir el espacio en un vehículo, especialmente si estos usuarios están acostumbrados y valoran altamente el confort y estatus asociados con el vehículo privado.

**Figura 53.**

*Eficiencia en capacidad y uso del espacio del transporte público, comparada con otros modos de transporte.*



*Nota.* Tomado de 69 people, by bus, on bikes, or in 60 cars [Fotografía], por Bowen, D., 2023, flickr. CC BY 2.0

Ahora bien, analicemos más allá del caso del transporte público. La figura 54 muestra algunas variantes de movilidad compartida, dentro de las cuales, las que son basadas en el automóvil han llegado a un grado alto de diferenciación.

**Figura 54.**

*Modos y servicios de movilidad compartida.*



Nota. Tomado de Think Tank SUMC Releases Shared Mobility Guide for Cities [Ilustración], por McCartney, K., 2016, [Shareable](#). CC BY 2.0

Desafortunadamente, la terminología y la semántica de los diferentes modos de movilidad compartida no ha sido establecida clara ni definitivamente en el idioma español, a diferencia del caso de la literatura inglesa (Calderón & Miller, 2020), por lo que se hará referencia a algunos de los modos con sus términos en inglés. Para un mejor aprendizaje le invito a revisar la infografía siguiente.

### [Modos de movilidad compartida.](#)

Es importante notar que los servicios de “solo” *ridehailing/ridesourcing*, taxis, carsharing y bicicletas/e-scooters compartidos en la mayoría de los casos involucran solamente a un usuario (un taxi o un Uber lo podrían tomar 2 personas, pero bajo una sola “reserva”). Por ende, *los viajes no son compartidos, pero los vehículos si lo son entre el público en general* – aunque claramente genera mucho mayor beneficio una bicicleta o e-scooter compartido que un vehículo motorizado compartido.

Comparativamente, los servicios de *carsharing* son los que menos beneficios ofrecen, ya que de todas formas son automóviles ocupados por un solo usuario. Utilizar carsharing si puede reducir la demanda de parqueo y la potencial eliminación de un viaje de ida o uno vuelta, ya que el uso del vehículo privado implica que se hace un viaje de ida necesariamente se debe hacer un viaje de vuelta (el auto debe volver al hogar).

Habiendo puntuizado los casos específicos de “solo” *ridehailing*/*ridesourcing*, *taxis*, y *carsharing*, todos los demás modos o servicios descritos ofrecen beneficios considerables, directos y tangibles en materia de sostenibilidad, al ofrecer alternativas atractivas al usuario y así reducir la cantidad de vehículos en nuestras ciudades.

#### 4.4. Movilidad como un Servicio (MaaS)

El paradigma de la movilidad como un servicio (MaaS, por sus siglas en inglés) surge como un concepto englobador de la movilidad alternativa, la movilidad compartida y la multimodalidad. MaaS se puede considerar como un tipo especial de servicio de movilidad que se basa en el precepto fundamental de entender a la movilidad como un servicio que se debe centrar en el usuario, y con base en aquello busca también reducir la tenencia de los usuarios de vehículos de propiedad personal.

Todo servicio MaaS requiere de la implementación de un *software* especializado que permita generar soluciones multimodales en tiempo real, con base en la disponibilidad espaciotemporal de los servicios de movilidad, la capacidad máxima de pasajeros de estos, y especialmente a las preferencias específicas de cada usuario, tales como:

- Costo.
- Tiempo de inicio/fin del viaje.
- Modos/servicios predilectos.
- Modos/servicios vetados.
- Número máximo tolerable de transferencias.
- Tiempo de espera máximo tolerable entre transferencias.
- Predisposición a compartir el viaje con otros usuarios.
- Requerimientos de conductoras mujeres.
- Preferencias ambientales.
- Entre otros.

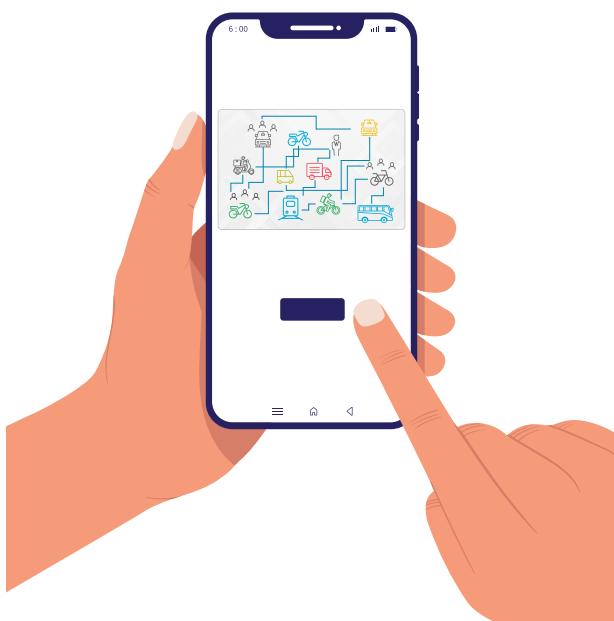
Las funciones principales de un servicio MaaS se pueden describir de la siguiente manera:

- Ofrecer al usuario soluciones de viaje multimodales, a través de una aplicación *web* o móvil. La figura 55 proporciona una representación pictográfica de un servicio MaaS.

- Los viajes multimodales están conformados por una combinación optimizada de servicios de movilidad individuales.
- Además, coordina los servicios individuales para garantizar soluciones viables.
- Integra el pago de todas las tarifas de cada servicio en un solo pago a través de la aplicación.
- El resultado es un itinerario detallado de viaje, tiempos de viaje por segmento, ubicaciones de transferencias multimodales, tiempos de espera, etc.

**Figura 55.**

*Pictograma de una aplicación móvil de un servicio MaaS.*



*Nota.* Calderón, F., 2023.

A medida que un servicio MaaS incrementa el número de modos y servicios de movilidad en sus soluciones multimodales, la complejidad computacional del *software* se convierte en un factor importante e incluso limitante a tener en cuenta – no se debe perder de vista que el usuario requiere soluciones optimizadas, personalizadas y en tiempo real. Esta complejidad significa una primera barrera importante a superar en los esfuerzos de implementación de servicios MaaS alrededor del mundo.

La literatura académica concuerda en que el transporte público en todas sus formas debería ser un eje central en los servicios MaaS (Mulley & Kronsell, 2018), lo cual desde el punto de vista de la movilidad sostenible se puede comprender claramente con base en lo aprendido en esta asignatura hasta el momento. Sin embargo, de esta potencial fortaleza también deriva en una segunda barrera importante de implementación: la informalidad en los servicios de transporte público. Resultaría prácticamente imposible coordinar adecuadamente múltiples servicios de movilidad con un sistema de transporte público que no defina formalmente alineaciones, paradas y frecuencias. Lamentablemente, estos casos son muy comunes en países subdesarrollados y/o de bajos recursos.

Finalmente, se debe considerar que la movilidad y el transporte son disciplinas inherentemente sociales, y como tales, dependen completamente de las diversas decisiones que toman los usuarios respecto a su movilidad. Una tercera barrera importante de implementación consiste en la percepción y aceptación del público hacia un servicio MaaS, especialmente respecto a la predisposición del usuario para aceptar “ciegamente” las soluciones complejas generadas por el servicio – se trata de una cuestión de confianza y transparencia. En este sentido, las áreas de *marketing* y comunicación son fundamentales para entender las percepciones y sentimientos de los usuarios y sus necesidades, así como para promocionar los beneficios que ofrece el servicio. Se pueden además ofrecer incentivos al adherirse al programa, como descuentos en sponsors, tarifas especiales, etc.

Obviando por un momento las posibles barreras de implementación, el potencial de los servicios MaaS para aportar a la movilidad sostenible es inmenso. Por su propia definición y construcción, un servicio MaaS materializa la multimodalidad en sí misma, facilita y viabiliza la movilidad compartida, y tal vez lo más importante, libera a los usuarios de la ardua tarea de encontrar complejas soluciones multimodales “puerta a puerta” –sin esta ayuda estas decisiones suelen derivar en la decisión simple y sencilla de recurrir al automóvil.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 11 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 11

1. En un vehículo de 5 puestos, compartido por 5 personas que hubiesen utilizado su vehículo propio, los beneficios se pueden cuantificar como:
  - a. Reducción de emisiones a la mitad.
  - b. Reducción de emisiones de 10 veces.
  - c. Reducción de emisiones del 80 %.
  - d. Reducción de emisiones del 100 %.
2. Considerando la cantidad de personas transportadas, el bus ocupa más espacio que el auto en la vía.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
3. Si los servicios tipo “Uber” no son compartidos, no generan beneficios como movilidad compartida.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. Los servicios MaaS requieren de información de los servicios en tiempo real para poder coordinar viajes multimodales.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. Todo servicio MaaS es multimodal, así como todo transporte multimodal es un servicio MaaS.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. El transporte público es el servicio compartido por excelencia, y existe formalmente desde hace más de \_\_\_ años.
- 50.
  - 100.
  - 300.
  - 1000.
7. La movilidad compartida se limita a vehículos tipo auto y tipo bus.
- Falso.
  - Verdadero.
8. Los servicios tipo “Uber” pueden ser \_\_\_ si son compartidos.
- Costosos.
  - Atractivos.
  - Sostenibles.
  - Contaminantes.
9. Un servicio tipo MaaS únicamente puede ser implementado a través de tecnologías de información y comunicación (aplicativos o web).
- Falso.
  - Verdadero.
10. Un servicio tipo MaaS que cuente con el transporte público como alternativa requiere necesariamente de \_\_\_ en las operaciones de aquel transporte público.
- Personal.
  - Sostenibilidad.
  - Cuidado.
  - Formalidad.

[Ir al solucionario](#)



### Ecomovilidad y tecnologías

En esta semana de estudio se analizará la ecomovilidad desde su aplicación en el transporte bajo soluciones tecnológicas, las cuales pertenecen a los campos de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, en inglés) y de tecnologías vehiculares.

#### 4.5. “Eco-routing”

De manera netamente lingüística, el término eco-routing, se puede traducir al español como un “enrutamiento ecológico” de vehículos. Pero para comprender a cabalidad el concepto de *eco-routing*, es importante primero comprender de dónde viene el concepto de *enrutamiento*.

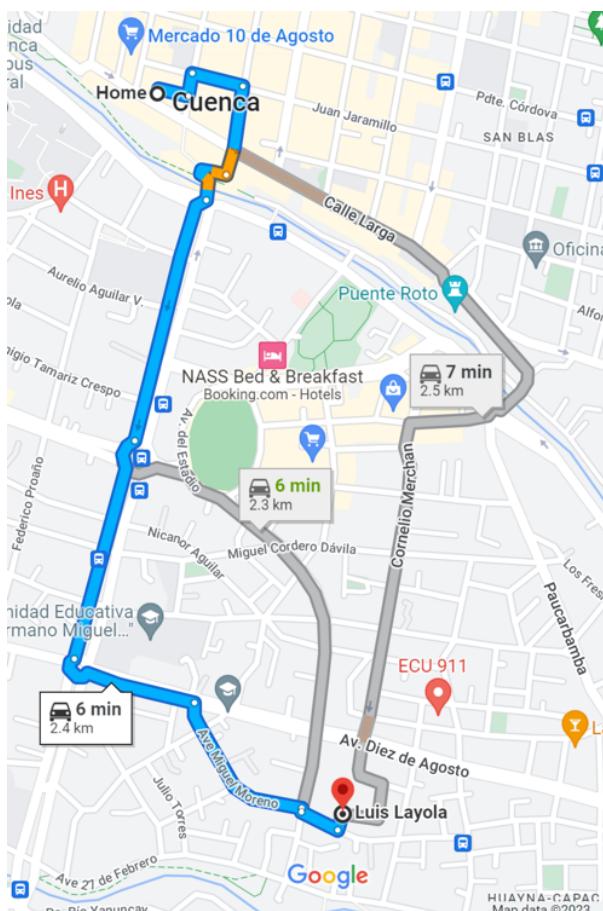
Tomando como referencia el tradicional modelo de 4 pasos del transporte (McNally, 2008), se puede abstraer al transporte como la siguiente secuencia:

- Primero, se considera la **generación** de viajes, los cuales se derivan de la demanda de diferentes actividades y motivos de viaje de los usuarios (trabajar, estudiar, hacer compras, hacer deporte, etc.), en diferentes puntos del tiempo.
- Segundo, se considera la **distribución** espacial de estos viajes, es decir, desde dónde y hacia donde se realizan.
- Tercero, se considera el **reparto modal** de los viajes, es decir, en qué modo/servicio de transporte escogen los usuarios realizar el viaje.
- Cuarto, se asignan los viajes a la oferta existente en la red vial o el servicio de transporte público, *para determinar las rutas* en las que se realiza cada viaje, los **tiempos de viaje, tiempos de espera y la congestión vehicular**. Este último paso implica la mayor complejidad en el modelo de 4 pasos, ya que, para cada viaje (desde/hacia diferentes ubicaciones, en diferentes puntos del tiempo, para cada modo de transporte), existen infinidad de rutas posibles dentro de una red vial urbana compuesta por miles de arcos y nodos.

Para visualizar la complejidad de la asignación de flujos vehiculares a la red vial, la Figura 56 ofrece un ejemplo de un viaje individual que se ha consultado a Google Maps, en donde, solamente desde el origen hacia el destino elegidos, existen tres rutas *óptimas respecto al tiempo de viaje* que se recomiendan al usuario – en realidad existen *infinitas* otras rutas *subóptimas* que el usuario podría elegir recorrer para viajar desde el mismo origen hacia el mismo destino. Ahora considere estas posibilidades infinitas de un viaje individual, multiplicadas por todos los viajes que se realizan durante un día en una ciudad...

**Figura 56.**

*Ejemplo de alternativas de rutas óptimas para un viaje individual consultado a Google Maps.*



Nota. Google. (s.f. -a). [Santa Teresa 1088, Cuenca]. Recuperado en 2023 de [Google Maps](#).

La pregunta clave en el contexto del enfoque de ecomovilidad se convierte en *¿qué parámetros se consideran al definir una ruta óptima?* Convencionalmente, el criterio fundamental ha sido minimizar el tiempo de viaje (Alfaseeh & Farooq, 2020); es en este contexto que se puede definir formalmente el concepto de *eco-routing*, que consiste en *definir rutas con base en el criterio de optimización de minimizar los gases contaminantes emitidos por el vehículo*, que usualmente se formula también como *minimizar el consumo de combustible del vehículo* (M. Zhou et al., 2016). Cabe además mencionar que, en el campo de la logística, es común el objetivo de minimizar la distancia, ya que se puede incrementar la utilización de la flota y reducir costos de combustible y mantenimiento. Este criterio basado en distancia se alinea de cierta manera con el de *eco-routing*, ya que al minimizar distancia se podría reducir también el consumo de combustible.

Ahora bien, es importante comprender que, en este tipo de problemas complejos y multidimensionales como lo es el *eco-routing*, no necesariamente reducir la distancia de los viajes garantiza que se reduzcan las emisiones a nivel de sistema. La lógica detrás de esta premisa radica en la congestión vehicular (la cual es un resultado emergente de la complejidad descrita en el cuarto paso del modelo de 4 pasos). En específico, encontrar una ruta que reduzca la distancia a costa de utilizar vías con alta congestión vehicular puede implicar el aumento de emisiones debido a un tiempo mayor de viaje, así como debido a una mayor frecuencia de instancias en las cuales el vehículo está parado en una intersección o en una cola (encendido y con el motor prendido) (Alam & McNabola, 2014). Considerando lo expuesto, es preferible plantear el problema como una minimización del consumo de combustible en lugar de la distancia.

Un planteamiento ideal del problema sería la **minimización simultánea** del tiempo de viaje, de la distancia, consumo de combustible y de la emisión de contaminantes, pero un problema de esa magnitud y dimensionalidad no necesariamente tiene una solución computacionalmente alcanzable.

Zhou, Jin y Wang (2016), reportan en su revisión de literatura que el *eco-routing* puede reducir el consumo de combustible entre 12 y 33 % , mientras que Ahn y Rahka (2013), reportan en su estudio que el *eco-routing* permite reducir el consumo de combustible entre un 3.3 y 9.3 % adicional a la reducción obtenida en una optimización basada solamente en tiempo de viaje. Claramente, reducir el consumo de combustible significa reducir la combustión, y, por ende, la emisión de gases contaminantes.

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta se desprende de lo aprendido en la unidad 2 de esta asignatura, donde se estableció que los patrones de emisión de diferentes contaminantes pueden llegar a ser polarmente distintos, por lo que minimizar la emisión de un tipo de contaminante podría implicar el aumento de la emisión de otro tipo de contaminante. Esta situación es mencionada como un desafío en la literatura (Alfaseeh & Farooq, 2020), aunque resultados de modelamiento enfocados en reducir el consumo de combustible han encontrado reducciones en todos los tipos de contaminantes (Ahn & Rakha, 2013).

En su revisión crítica de literatura, Alam y McNabola (2014) alertan sobre el potencial impacto negativo de un escenario en el cual todos los usuarios de la red vial utilicen un sistema de recomendación *eco-routing* simultáneamente. Los autores alertan de que, si el sistema no cuenta con información de tráfico en tiempo real, todos los usuarios tomarían esencialmente la misma ruta, congestionándola inmediatamente, y volviéndola no eficiente ambientalmente.

Para concluir, considere un enfoque práctico respecto al *eco-routing*. Si bien se puede modelar y formular problemas complejos para demostrar los beneficios ambientales del *eco-routing*, esta tecnología debe poder llegar a los usuarios a través de herramientas de asistencia (Alam & McNabola, 2014), quienes además son los que toman sus decisiones de enrutamiento. En efecto, Alfaseeh y Farooq (2020), sugieren como direcciones futuras de la ciencia y la práctica el implementar algoritmos de *eco-routing* en aplicaciones como [Google Maps](#) o [Waze](#).

#### 4.6. “Eco-driving”

A diferencia de enfoque de enrutamiento dentro de la red vial que demarca a las estrategias de *eco-routing*, el *eco-driving* se enfoca en los aspectos humanos y tecnológicos de los viajes: el conductor y el vehículo, respectivamente.

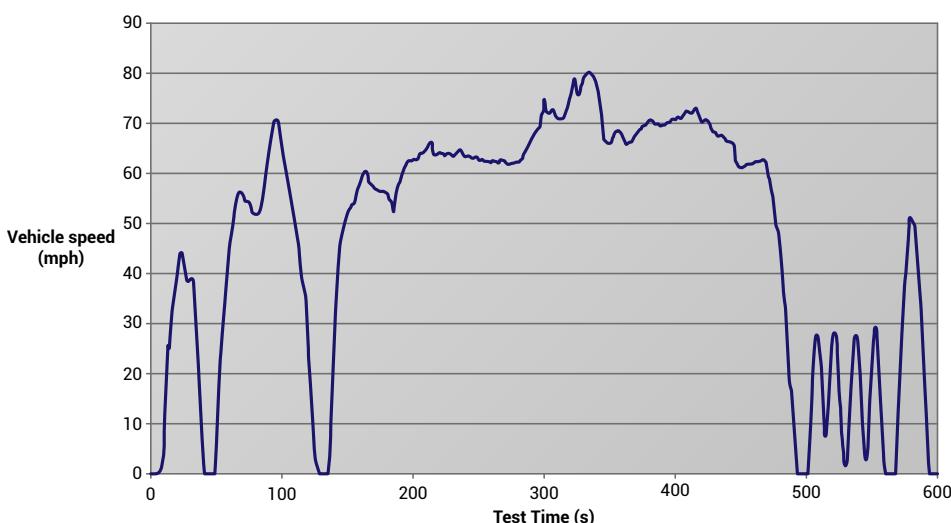
El *eco-driving* surge como una estrategia de ecomovilidad motivada por los hallazgos científicos que se han encontrado respecto a los patrones de comportamiento de los usuarios en la conducción. Zhou, Jin y Wang (2016), reportan en su revisión de literatura que los conductores agresivos generan entre 30 y 40 % más emisiones de gases contaminantes que los conductores calmados. Desde una distinción respecto al género, Ericsson

(2000), reporta que los hombres son 3 veces más propensos a conducir de manera agresiva comparados con las mujeres. Claramente, si se puede controlar o mitigar los patrones de conducción agresiva, se pueden lograr importantes reducciones en la emisión de gases contaminantes.

Pero ¿a qué exactamente hacemos referencia con patrones de conducción agresiva? La respuesta a esta pregunta se puede abordar de mejor manera visualmente. La figura 57 ilustra el ciclo de conducción definido por la EPA estadounidense para representar patrones de conducción agresiva (denominado SFTP). Estos patrones implican altas tasas de emisión de contaminantes, existiendo investigación científica que demuestra que pueden llegar a triplicar la emisión de CO (De Vlieger, 1997).

**Figura 57.**

Ciclo SFTP.



*Nota.* Tomado de EPA US06 or Supplemental Federal Test Procedures (SFTP) [Ilustración], por EPA, 2022, [epa.gov](http://epa.gov). CC BY 2.0

Con base en lo expuesto, y de acuerdo a la literatura, una estrategia eco-driving se puede alcanzar de dos maneras distintas:

- **Enfoque hacia el conductor:** visibilizando, alertando y educando al conductor sobre los impactos de sus patrones de conducción (sea en tiempo real o de manera ex post) (M. Zhou et al., 2016).
- **Enfoque hacia el vehículo:** implementando algoritmos que estimen un funcionamiento optimizado del vehículo al aprovechar las

pendientes positivas y negativas dentro de la ruta, para así disminuir las instancias de alta aceleración y frenado (Chiara et al., 2011). Estos algoritmos proveerían al conductor el plan de conducción optimizado paso a paso, a manera de recomendaciones.

En su revisión de literatura, Zhou, Jin y Wang (2016), reportan estudios que encuentran que el *eco-driving* orientado al vehículo ofrece mejoras entre 3.5 y 7 % , mientras que el *eco-driving* orientado al conductor puede alcanzar mejoras entre 4 y 20 % . La revisión de Alam y McNabola (2014), reporta mejoras entre 5 y 40 % , aunque cuestiona su variabilidad y validez.

Es interesante mencionar que, Alam y McNabola (2014), consideran que, lo que hasta el momento se ha definido como *eco-routing*, es un tipo decisión de *eco-driving* de los usuarios, un *eco-driving* a nivel táctico.

En términos de aplicación de estrategias de *eco-driving* a instancias reales, la situación es similar al caso de *eco-routing*, ya que su eficacia y éxito dependen en gran medida de la aceptación y las decisiones de los usuarios. Alam y McNabola (2014), reconocen estas limitaciones y mencionan barreras como la falta de motivación del conductor para cambiar su comportamiento, o que los conductores que inicialmente si muestran un cambio regresan luego de un corto plazo a sus patrones originales de comportamiento.

Se puede argumentar que el *eco-driving* puede llegar a ser más difícil de implementar bajo la hipótesis de que puede resultar más fácil influenciar las rutas que toma el usuario, que influenciar sus patrones de conducción.

#### 4.7. El rol de los vehículos autónomos en la ecomovilidad

Una de las innovaciones tecnológicas que ha recibido gran atención en el mundo del transporte y la movilidad son los Vehículos Autónomos (AV , en inglés). En los últimos 5-10 años, tanto la investigación científica como el desarrollo tecnológico industrial enfocado en vehículos autónomos ha crecido exponencialmente. La figura 58 muestra cómo procesa un vehículo autónomo a su entorno, con base en sofisticados sensores y complejas implementaciones de *software*.

## **Figura 58.**

*Vista interior de un vehículo autónomo y representación de cómo sus sensores identifican su entorno exterior.*



*Nota.* Tomado de El futuro de la movilidad con los coches autónomos [Fotografía], por Zaparolli, D., 2022, [Revista Pesquisa](#). CC BY 2.0

Existen 5 diferentes niveles de autonomía vehicular, que varían de acuerdo al grado de involucramiento en la conducción que se requiere por parte del usuario (SAE, 2021). La autonomía nivel 1 se ha vuelto bastante común alrededor del mundo, e incluye funciones como el control de crucero, asistencia en el parqueo, alertas de cambio de carril, etc. En cambio, un vehículo completamente autónomo (nivel 5) es aquel que no requiere de ninguna acción ni involucramiento por parte del conductor para poder realizar un viaje a través de una red vial, bajo cualquier condición climática, de flujo vehicular, y en cualquier tipo de camino.

Los vehículos autónomos podrían tener un rol importante en la ecomovilidad, ya que su principal objetivo es el de disminuir la intervención y toma de decisiones del conductor. Su principal beneficio desde la movilidad sostenible contribuir a la reducción de accidentes, ya que el 90 % de los accidentes es por error humano del conductor (Singh et al., 2016). Pero, además, en el contexto tecnológico de la ecomovilidad, se podría facilitar considerablemente la implementación de las tecnologías de *eco-routing* y/o *el eco-driving*. De hecho, el momento en que el usuario proporciona la información de su viaje al vehículo autónomo, este podría procesar la información para encontrar una ruta y patrón de conducción óptimos, así como ajustarlos dinámicamente a lo largo del trayecto. En esencia, el vehículo autónomo podría remover el mayor obstáculo que se mencionó en el *eco-routing* y el *eco-driving*: el conductor humano, sus preferencias, sesgos y hábitos.

Si bien los vehículos autónomos ofrecen una gran promesa desde el aspecto tecnológico, también pueden traer consigo fuertes consecuencias no intencionadas que atentarían en contra de los objetivos perseguidos por la movilidad sostenible.

Desde una perspectiva de la actividad humana y de la demanda de transporte, la comodidad de poseer un vehículo autónomo puede incentivar al usuario a utilizarlo con mayor frecuencia y de maneras insostenibles. Se puede mencionar algunos ejemplos:

- En el contexto familiar, muchas familias que cuentan con un solo vehículo coordinan su movilidad diaria para compartir el vehículo en un solo viaje, planificando una ruta que permita llegar al destino de cada uno de los miembros que comparten el vehículo (*ridesharing*). En este tipo de movilidad compartida, todos los miembros, en mayor o menor grado, deben ajustar sus horarios de entrada/salida a sus actividades para poder compartir el viaje. En cambio, un vehículo autónomo podría transportar a cada miembro por separado, viajar hacia su destino, regresar al hogar, y transportar al siguiente miembro. Claramente, este escenario implicaría un uso mucho más intensivo del vehículo, por lo tanto, mayor congestión, mayor contaminación, mayor ruido, etc.
- En el contexto individual, considérese un trabajador que normalmente utiliza su vehículo privado diariamente para movilizarse desde su hogar hacia su oficina, dejando su vehículo en el parqueadero de su oficina de corrido desde las 8 am hasta las 5 pm . Si el vehículo en cuestión fuese autónomo, el individuo pudiese asignar viajes de distintos propósitos al vehículo durante ese período, como dejar/retirar encomiendas, ir a la mecánica, etc. Claramente, el vehículo pasaría a circular por la red vial en mucha mayor medida, y si las demás personas aplican esta misma política de uso, las consecuencias a nivel ciudad serían catastróficas.
- Desde un punto de vista de la infraestructura, los vehículos autónomos permitirían reducir la distancia entre vehículos en arterias viales de circulación rápida, lo cual es aparentemente beneficioso, puesto que permite una mayor densidad vehicular en estas vías y así explotar al máximo la capacidad de la infraestructura vial. Sin embargo, no se debe perder de vista que un vehículo autónomo sigue

siendo un vehículo, que puede o no funcionar con base en un motor de combustión interna, por lo que una mayor densidad en las vías podría traer consigo **demandas inducidas** (como se definió en la unidad 3) y una mayor contaminación ambiental.

- Finalmente, desde una perspectiva netamente vehicular, cabe recalcar que la sinergia entre vehículos eléctricos y vehículos autónomos puede solventar en gran medida los impactos ambientales mencionados en los ejemplos que anteceden. Sin embargo, pueden **incluso incrementar la congestión** y las pérdidas de tiempo asociadas; al volver más atractivo al automóvil privado, pueden frenar y disminuir el impacto de iniciativas orientadas a potenciar la movilidad activa y transporte público, y pueden resultar en ciudades que mantengan o incrementen el grado en el que su trazo urbano sea orientado al automóvil.

En conclusión, los vehículos autónomos pueden ofrecer importantes beneficios para la ecomovilidad, siempre y cuando no alteren nuestra movilidad hacia patrones no sostenibles, y siempre y cuando su adopción venga acompañada de energías limpias, especialmente si se contempla como una solución a largo plazo y escenarios de adopción masiva. En este sentido, el rol de las políticas públicas sería vital para regular, monitorear una potencial adopción, despliegue y operación sustentable de los vehículos autónomos.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

**Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:**

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.

2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 12 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 12

1. *Eco-routing* se refiere a:
  - a. Vehículos ecológicos.
  - b. Patrones de conducción ambientalmente favorables.
  - c. Rutas ambientalmente favorables.
  - d. Ninguna de las anteriores.
  
2. *Eco-driving* se refiere a:
  - a. Vehículos ecológicos.
  - b. Patrones de conducción ambientalmente favorables.
  - c. Rutas ambientalmente favorables.
  - d. Ninguna de las anteriores.
  
3. La tecnología juega un papel importante en *eco-routing* y *eco-driving* porque:
  - a. Resulta complejo encontrar rutas.
  - b. Se necesita un sistema que recomiende en tiempo real.
  - c. Se necesita información en tiempo real.
  - d. Todas las anteriores.
  
4. Los vehículos autónomos potencian al *eco-routing* y *eco-driving* porque aumentan la intervención y toma de decisiones del conductor.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
  
5. Los vehículos autónomos pueden ser perjudiciales porque pueden alterar nuestros patrones de movilidad de maneras no sostenibles.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. El *eco-routing* está enfocado principalmente en:
- Los automóviles.
  - Los usuarios.
  - Las rutas.
  - El gobierno.
7. Al *eco-routing* se lo puede considerar como una optimización multicriterio.
- Verdadero.
  - Falso.
8. El *eco-driving* está enfocado principalmente en:
- Los automóviles.
  - Los usuarios.
  - Las rutas.
  - El gobierno.
9. Los vehículos autónomos pueden generar demanda \_\_\_\_ porque los usuarios tienen mayor facilidad en su desplazamiento y se ven \_\_\_\_ a usar más el vehículo.
- Baja; forzados.
  - Baja; incentivados.
  - Inducida; forzados.
  - Inducida; incentivados.
10. Es importante no regular la adopción de vehículos autónomos para facilitar la libertad del usuario y el bienestar social.
- Verdadero.
  - Falso.

[Ir al solucionario](#)



### Ecomovilidad y energía

En esta semana de estudio se analizará la ecomovilidad desde su aplicación en términos de eficiencia energética y combustibles alternativos para el transporte.

De manera genérica, la energía es la capacidad de realizar un trabajo, es decir, que permite el desplazamiento de una masa desde un lugar a otro. Nuestro enfoque principal de estudio es la contaminación ambiental, por lo que se considera el caso del MCI, el cual se encarga de convertir una forma inicial de energía (combustible) en otra forma final de energía que permita el desplazamiento (simplificadamente: la explosión de la mezcla que permite el movimiento de los pistones, luego del sistema de transmisión y por último las ruedas). Para definir la eficiencia energética desde una perspectiva de transporte, se considera la cantidad de energía requerida para conseguir un movimiento o transporte a lo largo de una distancia (OTLE, 2020).

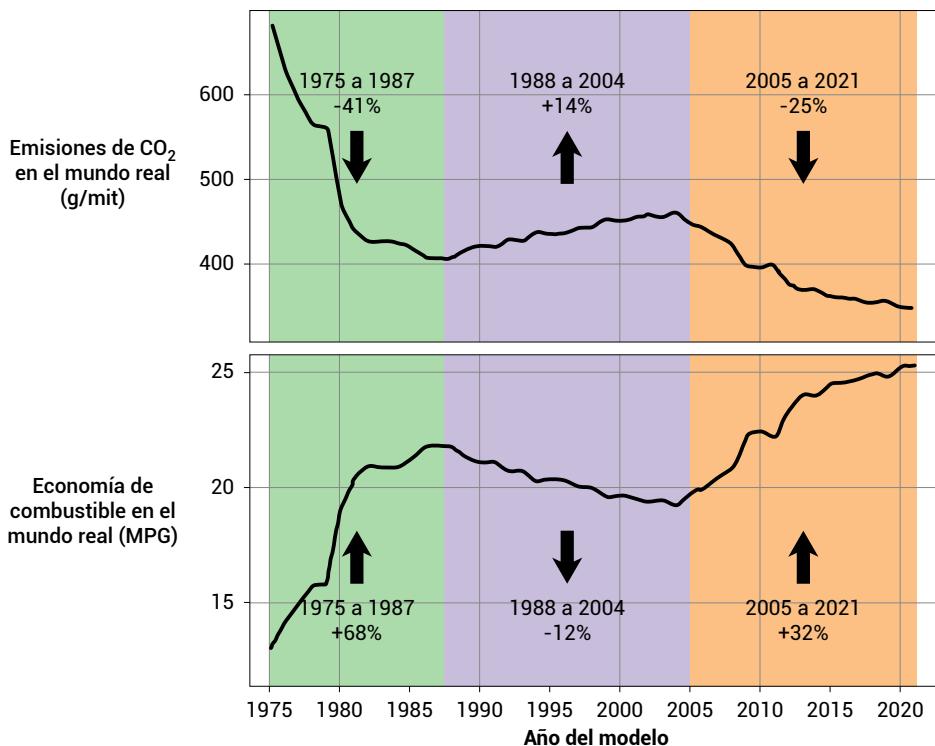
En términos simples, el requerimiento de energía de un vehículo motorizado se traduce en consumo de combustible, y en emisión de gases contaminantes. Por ende, cuantificar la eficiencia energética de un vehículo permite analizar y comparar objetivamente diferentes alternativas y soluciones desde el punto de vista energético.

Desde un punto de vista histórico, la figura 59 (recuperada de (EPA, 2022)) evidencia el efecto que tuvo la instauración de normativas ambientales en los años 70 (como se mencionó en la unidad 1), donde se puede observar una marcada tendencia de mejora respecto al rendimiento del combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. El siguiente período (1998-2004) refleja un período de 16 años de constante reducción en el rendimiento de combustible y, por lo tanto, incrementos en emisiones. Este patrón se revierte hacia patrones sostenibles en el año 2005, donde se vuelve a incrementar el rendimiento del combustible y se reducen las emisiones. La figura 59 muestra claramente como existe una clara relación inversa (*pero no simétrica*) entre el consumo de combustible y la emisión de contaminantes. La importancia de la eficiencia energética en el aspecto ambiental se vuelve evidente en estos patrones, ya que un consumo 68 %

más eficiente redujo emisiones en un 41 % , mientras que un consumo 12 % menos eficiente aumentó emisiones en un 14 % .

**Figura 59.**

*Evolución histórica del rendimiento del combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> en USA.*



Nota. Tomado de The 2022 EPA Automotive Trends Report (p. 6), por United States Environmental Protection Agency, 2022.

El preámbulo presentado sugiere que una manera de alcanzar la ecomovilidad reside en las estrategias que permiten mejorar la eficiencia del consumo energético de un vehículo motorizado. Estas estrategias se pueden generalizar en dos grandes grupos que se abordarán a continuación en subtemas separados: las alternativas orientadas hacia la propulsión y los combustibles alternativos.

#### 4.8. Eficiencia energética: alternativas para la propulsión

Cuando hacemos referencia a la propulsión, hablamos de un mecanismo que permite el movimiento, es decir, el motor. Cabe recalcar que no todo

motor es necesariamente de combustión interna; de hecho, los motores híbridos, eléctricos y la electromovilidad ocuparán una parte importante del estudio en esta asignatura.

#### 4.8.1. Alternativas enfocadas en vehículos con MCI

Empezando por alternativas para mejorar la propulsión del MCI, distintas estrategias podrían enfocarse en diversos aspectos y sistemas del vehículo, pero se puede decir que la eficiencia del MCI desde un punto de vista mecánico-operacional ofrece poca oportunidad de mejora con la tecnología existente. En ese sentido, una tendencia marcada en la mejora de la propulsión del MCI se orienta hacia reducir el tamaño y peso del vehículo. Estas soluciones son tan simples como efectivas, ya que permiten reducir considerablemente la demanda de potencia y energía que se requiere del MCI. A pesar de las variaciones que pueden existir entre tipos, marcas y tecnologías de diferentes vehículos, la lógica es simple; a menor peso del motor, menor potencia requerida para desplazar el vehículo, mejor rendimiento del combustible, menores emisiones (EPA, 2022).

Si bien la reducción del peso del vehículo se puede conseguir al reducir el peso de varios de sus componentes, el mayor potencial reside en el MCI. Por su construcción y sus materiales altamente resistentes y densos, el MCI comúnmente representa un tercio del [peso total del vehículo](#). Por lo tanto, una estrategia sumamente eficiente radica en reducir el tamaño del MCI, comúnmente denominado como “*engine downsizing*”. La literatura reporta beneficios de downsizing en el incremento de 10 a 30 % en el rendimiento del combustible (Patil et al., 2017), lo cual, de acuerdo a las tendencias analizadas en la figura 59, podría generar beneficios en un rango ligeramente menor respecto a emisiones.

Un aspecto importante para tomar en cuenta al reducir el tamaño del motor son las potenciales pérdidas en el desempeño del vehículo (menor tamaño implica también menor cilindraje), por lo que se debe cuidar siempre que la relación entre el peso y la potencia requerida del vehículo se mantenga en rangos adecuados. Usted podrá comprender de mejor manera por qué es importante esta relación, así como contextualizarla en el marco de la estrategia de reducir el tamaño del motor al revisar el REA 3: “[Relación Peso-Potencia ¿Qué tan importante es?](#)”.

Una práctica estándar para compensar la pérdida de potencia implicada en motores más pequeños, y la más común, consiste en implementar sistemas

de turbocargador (ver figura 60); en términos simples, es una turbina que aprovecha el flujo de gases de escape para su rotación, potenciando la presión de aire en el cilindro y mejorando la eficiencia de la combustión (Patil et al., 2017).

**Figura 60.**

*El turbocargador.*



*Nota.* Tomado de Turbocompresor de coche aislado sobre fondo blanco motor turbo de pieza de automóvil [Fotografía], por 89stocker, 2023, [freepik](#). CC BY 2.0

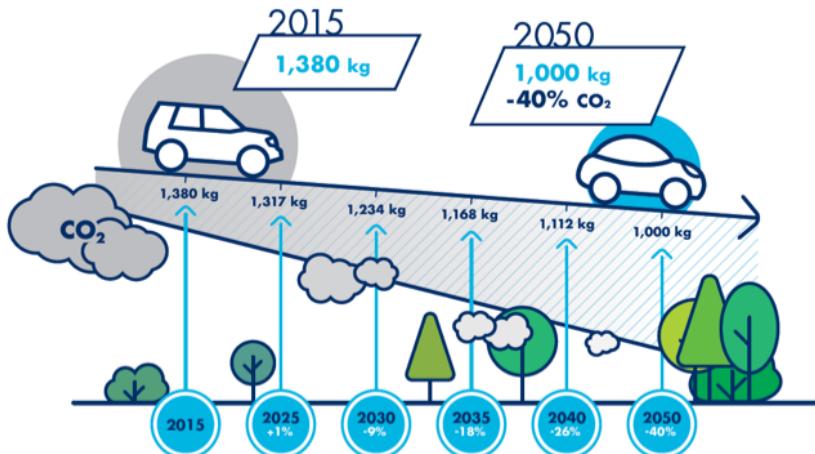
La reducción del peso de los vehículos está dentro de las estrategias y esfuerzos que actualmente se llevan a cabo a nivel global. Incluso, se han propuesto proyecciones al 2050, como se ilustra en la figura 61, donde reducir el promedio de peso del parque automotor en un 38 % significaría una reducción de CO<sub>2</sub> del 40 % .

**Figura 61.**

*Potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a la reducción de peso del vehículo.*

# By 2050

Las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían reducirse un 40% con un peso medio de flota de 1.000 kg



Nota. Tomado de Lightening up: how less heavy vehicles can help cut co2 emissions [Ilustración], por Federación Internacional del Automóvil, 2023, [fiaregion1](#). CC BY 2.0

## 4.8.2. Alternativas enfocadas en motores alternativos: electromovilidad

Una segunda solución energéticamente eficiente relacionada con la propulsión radica en reducir la utilización del MCI, ya sea de manera híbrida al complementarlo con un motor eléctrico, o al reemplazarlo por completo por un motor eléctrico.

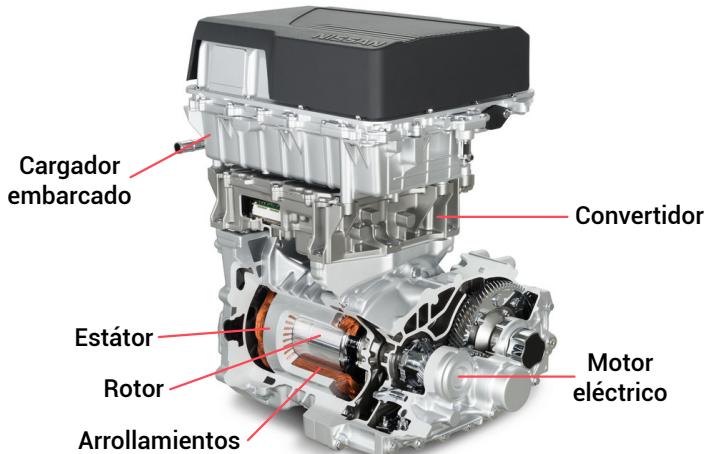
### 4.8.2.1. Motores eléctricos

Todo motor eléctrico funciona con base en los principios de magnetismo y polaridad, y el motor eléctrico de un vehículo no es la excepción. El funcionamiento básico del motor eléctrico se da con base en un sistema de bobinado que consta de un cilindro estático dentro al cual se enrosca un alambre de cobre, y en su núcleo se encuentra un segundo cilindro de libre movimiento llamado rotor, tal como se muestra en la figura 62. El proceso inicia con la fuente de energía del vehículo proveyendo corriente continua, la cual se transforma en corriente alterna por medio de un convertidor, para luego ser conducida a través del enroscado de alambre. La circulación de corriente en el bobinado genera un campo magnético, el cual por polaridad deriva en el movimiento del rotor que finalmente llega a las ruedas por medio del sistema de transmisión. Cabe mencionar que la fuente de energía del motor eléctrico puede ser una batería o puede ser una pila de

combustible en base a hidrógeno; dado que la segunda es aún poco común, este subtema se enfoca en el caso de las baterías.

### Figura 62.

*Partes principales de un motor eléctrico.*



Nota. Tomado de ¿Cómo funciona un motor eléctrico? [Fotografía], por Pérez, A., 2018, [Autobild](#). CC BY 2.0

Los vehículos 100 % eléctricos se distinguen principalmente por su rango de autonomía, es decir, por la distancia que pueden recorrer con una carga completa de su batería. La razón por la cual existen diferencias es porque un banco de baterías de alta capacidad puede llegar a pesar casi 400 kg , por lo que el vehículo requerirá una mayor potencia para mantener una relación peso-potencia adecuada. Un aspecto tecnológico que contribuye a la carga de baterías es el frenado regenerativo, el cual aprovecha la energía de la desaceleración y el frenado para recargar las baterías del vehículo. Respecto autonomía, se pueden distinguir dos tipos de vehículos eléctricos:

- **De amplio rango:** poseen un banco de baterías de hasta 100 KWh y por lo general ofrecen la opción de ser cargados en estaciones de carga rápida o supercargadores (ver figura 63).

### Figura 63.

*Tesla S como ejemplo de un vehículo eléctrico de amplio rango.*



Nota. Tomado de Tesla en el salón del automóvil de Tesla en Berlín [Fotografía], por Franz12, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

- **De rango limitado:** poseen bancos de baterías de menor tamaño y peso, típicamente llegando a 40 KWh, por lo que su uso puede verse limitado a trayectos urbanos (ver figura 64).

**Figura 64.**

*Nissan Leaf como ejemplo de un vehículo eléctrico de rango limitado.*



Nota. Tomado de Nissan Leaf blanco metálico en el 88º Salón Internacional del Automóvil de Ginebra GIMS [Fotografía], por Grzegorz Czapski, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

#### 4.8.2.2. Motores híbridos

Las principales marcas de vehículos han desarrollado diversas tecnologías y varias implementaciones distintas de motores híbridos, pero el principio fundamental de un sistema de propulsión híbrido es que el vehículo dispone de un motor eléctrico y un MCI que es generalmente de dimensiones muy reducidas. Las diferencias se observan en la manera en la cual estos dos motores participan o contribuyen para el requerimiento de energía durante el funcionamiento del vehículo, así:

- **Híbrido de rango extendido:** la potencia de tracción es provista únicamente por el motor eléctrico, pero cuenta con un motor de combustión interna cuyo propósito no es el de proveer propulsión

directamente, sino el de generar energía eléctrica para suplir al motor eléctrico en caso de un agotamiento de carga de la batería (Ver figura 65). Para poder comprender mejor sobre el funcionamiento de un vehículo híbrido típico, se recomienda consultar el video provisto en el REA 4: “[Toyota - Sistema Tecnológico Híbrido](#)”.

### **Figura 65.**

*Chevrolet Volt como ejemplo de un vehículo híbrido de rango extendido.*



*Nota.* Tomado de Chevrolet VOLT en la exhibición en el 81 [Fotografía], por Dong liu, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

- **Híbrido paralelo:** como su nombre lo indica, esta variante tecnológica permite el funcionamiento simultáneo del motor eléctrico y el MCI en condiciones de alta demanda de potencia de tracción. Sin embargo, en condiciones normales, el vehículo es propulsado únicamente por el motor eléctrico (Ver figura 66). Para poder comprender mejor sobre el funcionamiento de un vehículo híbrido en sistema paralelo, se recomienda consultar el video provisto en el REA 5: “[Chevrolet Volt -así funciona-](#)”.

## **Figura 66.**

*Toyota Prius como ejemplo de un vehículo híbrido paralelo.*



*Nota.* Tomado de Nuevos vehículos de motor híbrido Toyota Prius [Fotografía], por Attapon Thana, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0.

Es importante mencionar que las tecnologías del motor eléctrico están en constante evolución y mejora, especialmente las tecnologías e innovación en el desarrollo y optimización de sus fuentes de energía. Uno de los mayores desafíos que enfrentan los vehículos eléctricos es su autonomía, por ende, la carga y recarga de las baterías o pilas de combustible de hidrógeno. Este y otros aspectos críticos en la implementación de electromovilidad serán abordados en la siguiente unidad.

A continuación le invito a profundizar sus conocimientos sobre la eficiencia de la energética.

### **4.9. Eficiencia energética: combustibles alternativos**

Habiendo abordado la eficiencia energética desde el sistema de propulsión (MCI o eléctrico), una segunda dimensión a explorar que resulta evidente es el combustible o la fuente de energía del vehículo. Las alternativas de combustibles o fuentes de energía están inherentemente atados al sistema de propulsión, simplemente porque un MCI no puede funcionar con electricidad, ni un motor eléctrico con combustible.

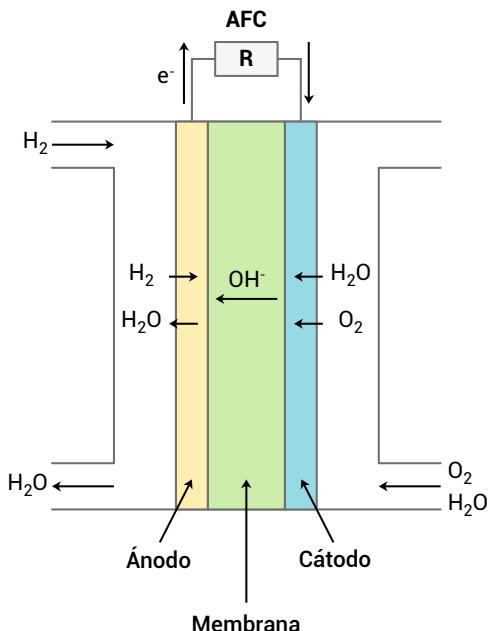
#### **4.9.1. Combustibles o fuentes de energía para motores eléctricos**

En el caso del motor eléctrico, la energía eléctrica se genera a través de reacciones químicas, ya sea desde una batería convencional (que ya se abordó anteriormente), o desde una pila de combustible (ver figura 67). La última está conformada por una membrana y dos electrodos (ánodo,

positivo; cátodo, negativo), donde el hidrógeno se puede considerar como un combustible, que al circular por la membrana da lugar a una reacción química de electrólisis, cuyos productos finales son: energía eléctrica, calor y agua – un fuerte contraste con el caso del MCI que genera energía termodinámica y varios gases y partículas contaminantes.

**Figura 67.**

*Diagrama de una pila de combustible de hidrógeno.*



*Nota.* Tomado de Pila de combustible, la eterna promesa [Fotografía], por Mayo, P., 2016, [espirituracer](#). CC BY 2.0

Los vehículos de hidrógeno (ver figura 68) aún se encuentran en una fase inicial de despliegue, debido al alto costo de las pilas de combustible y a dificultades asociadas con la producción y almacenamiento del hidrógeno en tanques especiales presurizados. De la misma manera que con los vehículos eléctricos a batería, existen barreras importantes, como la infraestructura de carga y la generación y generación limpia del hidrógeno como combustible.

**Figura 68.**

*Toyota Mirai como ejemplo de un vehículo eléctrico a hidrógeno.*



*Nota.* Tomado de Sedán Mirai de celda de combustible de hidrógeno [Fotografía], por Charles LaGreca, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

#### 4.9.2. Combustibles o fuentes de energía para MCI

En el caso del MCI, existen algunas alternativas al uso de la gasolina y el Diésel como combustibles, las más relevantes en términos de desarrollo y adopción global se describen a continuación.

- **Bioetanol:** es un alcohol etílico que se obtiene por la fermentación y destilación de azúcares (caña de azúcar, uva y remolacha) y almidones (cereales, tubérculos) (ver figura 69). Este combustible genera bajas emisiones y mejora la eficiencia de la combustión debido a que ofrece un elevado octanaje, incorpora oxígeno en su composición y su volatilidad permite elevar la compresión. Como desventajas se puede mencionar su alto poder corrosivo (lo cual deteriora los sistemas del vehículo por donde circula el combustible) y el uso intensivo del suelo y de fertilizantes que implicaría su expansión.

## Figura 69.

*Bioetanol en base a caña de azúcar.*



Nota. Tomado de ¿Que es el bioetanol? [Fotografía], por De Simone, M., 2018, [Inta](#). CC BY 2.0

- **Biodiésel:** se obtiene por un proceso de transesterificación<sup>3</sup> de aceites vegetales, grasas animales (ver figura 70). Este combustible tiene un balance positivo de CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida, reduce la emisión de MP, y es biodegradable. Como desventajas se puede mencionar que aumenta las emisiones de NO<sub>x</sub>, su alto costo de producción puede generar pérdidas de potencia y aumento en el consumo de combustible, su alto poder disolvente (lo cual deteriora los sistemas del vehículo por donde circula el combustible) y el uso intensivo del suelo y de fertilizantes que implicaría su expansión.

---

<sup>3</sup> La transesterificación es un proceso químico en donde las grasas y aceites son mezcladas con alcoholes y un catalizador para desencadenar la reacción (comúnmente NaOH o KOH), finalmente transformándose en glicerol y ésteres (que en nuestro caso son los biocombustibles).

## **Figura 70.**

*Biodiesel en un recipiente.*



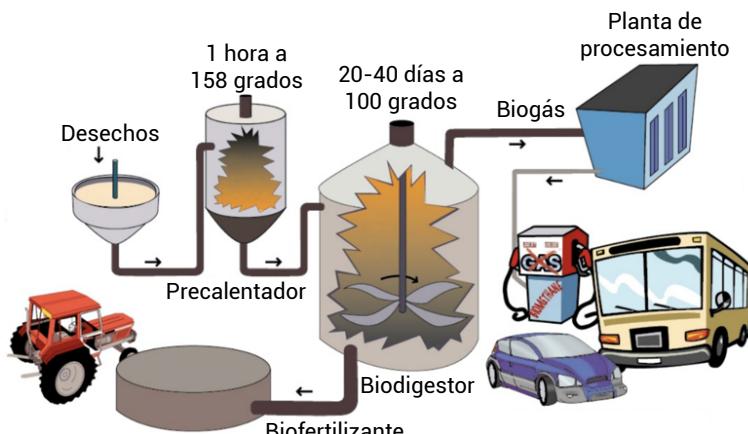
*Nota.* Tomado de Biodiésel, energía alternativa en vidrio transparente [Fotografía], por EVANATTOZA, 2023, [shutterstock](#). CC BY 2.0

- **Biogás:** se obtiene como un producto de la digestión anaerobia de materia orgánica, la cual genera grandes cantidades de gas metano. El biogás se puede obtener de manera muy eficiente como un producto secundario de otros procesos que generan desechos sólidos ricos en materia orgánica, como las plantas de tratamiento de agua o los rellenos sanitarios. La figura 71 ilustra un ejemplo de implementación de este proceso, empezando por el transporte de la materia orgánica hacia una primera instancia en un tanque de precalentado por una hora a 158 °C, para luego ser transportado a un tanque biodigestor, luego de 20 a 40 días a 100 °C se obtienen productos finales de fertilizante y biogás. Una primera ventaja importante es la circularidad del proceso y la sostenibilidad en la producción de energía, ya que es de origen 100 % renovable, pero además este combustible permite reducciones importantes de CO<sub>2</sub>, MP, NOX, entre otros. Una desventaja de esta alternativa, costo elevado de la infraestructura, operación y mantenimiento necesaria para implementar el proceso descrito en la figura 71.

Un tipo combustible adicional que también se ha utilizado desde hace mucho tiempo y en la actualidad es el gas natural. Sin embargo, al gas natural no se lo puede considerar alternativo desde la ecomovilidad, ya que la premisa fundamental de la sostenibilidad es alejarse tanto como sea posible de los combustibles fósiles. Sin embargo, es justo mencionar que el gas natural genera menos emisiones de contaminantes que la gasolina y reduce el ruido del motor.

**Figura 71.**

Pictograma sobre el proceso de generación de biogás.



Nota. Tomado de The Biogas Process [Ilustración], por noEnigma, 2011, [noenigma.com](http://noenigma.com). CC BY 2.0

A manera de conclusión general, se pueden entender a las soluciones de eficiencia energética en el transporte mediante dos niveles jerárquicos:

1. El motor y la energía eléctricos (tanto a batería como a pila de combustible) en un primer nivel, ya que eliminan por completo la combustión y la emisión de gases contaminantes a **tubo de escape**. Como se verá en la siguiente unidad, se debe tener muy en cuenta el ciclo de vida de la energía, ya que *no se puede obviar la contaminación involucrada en la generación de energía*.
2. Considerando que no es viable eliminar completamente al MCI en el corto y mediano plazo, los combustibles alternativos tienen también su importancia en un segundo nivel para la movilidad sostenible y la ecomovilidad. Es importante comprender que una barrera en la aplicabilidad y potencialidad de los combustibles alternativos está atada también a modificaciones de ciertos atributos y componentes de los motores, para ajustarse a las características específicas de cada combustible. De la misma manera, se debe analizar el ciclo de vida de la generación, transporte, almacenamiento de los combustibles, incluyendo los impactos en usos del suelo y costos de infraestructura y operación.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Revise el REA 3 "[Relación Peso-Potencia ¿Qué tan importante es?](#)": Este recurso ofrece una explicación a detalle respecto a la relación peso-potencia, y cómo afecta el desempeño del vehículo. De esta manera, usted podrá contextualizar y comprender sobre las consideraciones a tomar en cuenta al implementar estrategias de reducción de peso del motor y del vehículo.
4. Revise el REA 4 "[Toyota - Sistema Tecnológico Híbrido](#)": En este recurso se puede adquirir una comprensión a mayor detalle sobre el funcionamiento de un sistema híbrido, basado en el caso práctico de un auto de marca Toyota.
5. Revise el REA 5 "[Chevrolet Volt -así funciona-](#)": En este recurso se puede adquirir una comprensión a mayor detalle sobre el funcionamiento de un sistema híbrido en paralelo, basado en el caso práctico de un auto de marca Chevrolet. Este recurso, en conjunto con el REA 4, le permitirán visualizar e identificar diferencias importantes entre los dos tipos de sistema.
6. Realice la autoevaluación 13 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 13

1. La eficiencia en el consumo de combustible es **directamente** proporcional a la emisión de contaminantes.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. El “*engine downsizing*” es una estrategia que busca:
  - a. Mejorar el motor en términos de combustión.
  - b. Reducir el tamaño del motor para que el vehículo sea más potente.
  - c. Reducir el tamaño del motor para reducir el peso del vehículo.
  - d. Ninguna de las anteriores.
3. El sistema de turbo:
  - a. Recircula combustible desde el escape hacia el motor.
  - b. Incrementa el tamaño del motor.
  - c. Se enfoca en que los autos sean más veloces.
  - d. Recircula gases desde el escape hacia el cilindro.
4. No todo auto eléctrico es híbrido.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. Una desventaja de los biocombustibles es el uso intensivo del suelo.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
6. El período histórico en el cual hubo la mejoría más fuerte en el rendimiento del combustible fue:
  - a. De 1950 a 1990.
  - b. De 1950 a 1960.
  - c. De 1975 a 1987.
  - d. De 2000 a 2010.

7. El período de mayor mejoría en el rendimiento del combustible se dio debido a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.  
a. La energía; el automóvil.  
b. El parque automotor; los Estados Unidos.  
c. Regulación; carácter ambiental.  
d. La configuración; las ciudades.
8. Al hablar de estrategias de mejora para el MCI, estamos hablando de electromovilidad.  
a. Verdadero.  
b. Falso.
9. El principio detrás del MCI es \_\_\_\_\_, mientras que el del motor eléctrico es \_\_\_\_\_.  
a. La energía; la electricidad.  
b. Los pistones; la bobina.  
c. La termodinámica; el magnetismo.  
d. El magnetismo; la termodinámica.
10. La \_\_\_\_\_ es el proceso químico mediante el cual se obtiene el \_\_\_\_\_.  
a. Reacción; biogás.  
b. Transesterificación; hidrógeno.  
c. Reacción; bioetanol.  
d. Transesterificación; biodiesel.

[Ir al solucionario](#)



## Unidad 5. Consideraciones finales sobre soluciones de ecomovilidad y aspectos regulatorios

### Desafíos de la electromovilidad y revisión técnica vehicular

Esta semana de estudio se enfoca en establecer ciertas consideraciones especiales sobre dos soluciones de innovaciones en la movilidad que han tomado fuerza en los últimos años. En específico, en un primer tema se abordarán algunos aspectos externos que pueden significar barreras de adopción de la ecomovilidad, y en un segundo tema se abordarán los mecanismos de control e inspección vehicular.

#### 5.1. Electromovilidad: desafíos en infraestructura, demanda y generación de energía

En la unidad anterior se abordó la electromovilidad desde la perspectiva del vehículo y su tecnología, es decir, el motor eléctrico y los diferentes tipos de implementaciones de vehículos eléctricos o híbridos.

El siguiente aspecto importante para analizar es la carga del vehículo, ya que, de la misma manera que existe una densa red de estaciones de expendio de combustibles (gasolineras) para el automóvil con MCI, se debe poder solventar la recarga de baterías o pilas de combustible para el vehículo eléctrico. Este aspecto puede traer grandes desafíos, y el análisis de estos se puede abstraer como dar respuesta a las siguientes preguntas de manera secuencial:

- ¿Cómo se solventarán los requerimientos de carga de los vehículos en términos de infraestructura?
- ¿Cómo cambiaría el perfil de la demanda de energía en nuestras ciudades en escenarios de adopción masiva?
- ¿Cómo se solventará el incremento en demanda de energía respecto a la generación de energía y el “mix energético” del área de estudio?

La discusión de cada pregunta se proporciona a continuación.

### 5.1.1. Carga

Las necesidades de carga están íntimamente relacionadas con la autonomía energética de los vehículos eléctricos, la cual aumenta cada día gracias a constantes esfuerzos de investigación y desarrollo y avances tecnológicos. En la actualidad, existen ya varios vehículos con una **autonomía superior** a los 500 km , la cual permite al usuario movilizarse con absoluta libertad durante un día típico en un contexto urbano sin necesidad de recargar el vehículo – e incluso permitiría hacer la gran mayoría de los viajes interprovinciales típicos dentro del contexto ecuatoriano.

En este contexto, la autonomía se vuelve un factor determinante al momento de analizar las dos principales maneras de cargar los vehículos eléctricos: en casa o en infraestructura de carga pública. Considerando una autonomía incluso de 100 km , que ya es común en la mayoría de los **vehículos eléctricos** en la actualidad, se garantizaría que los vehículos puedan cargarse por la noche en la casa en contextos urbanos. Además, es posible cargar los vehículos en los parqueaderos de la oficina, universidad, o incluso públicos (dependiendo de las actividades diarias que realice cada usuario en cada caso particular).

Si bien no se puede obviar la necesidad de que las ciudades cuenten con una infraestructura de carga distribuida en puntos estratégicos, establecer e incentivar estrategias de “carga en casa” reducirían considerablemente el número necesario de estaciones y la dependencia en esta infraestructura. Incluso, los patrones de carga podrían ser normados desde el ámbito regulatorio.

Un aspecto importante es también la velocidad de carga, la cual depende del tipo de carga: conectando el vehículo a un tomacorriente común de 220 V , mediante torres de carga de corriente alterna y mediante torres de carga de corriente continua. Según **KIA**, la primera es la más lenta, pudiendo tomar 9.5 horas para una carga completa; la segunda es de 3-4 veces más rápida, y la tercera permite cargar la batería de 20 % a 80 % en 40 minutos. **Otras fuentes** reportan que ya existen torres de carga de corriente continua instaladas que permiten cargar un 80 % de la batería en 15 minutos.

### 5.1.2. El perfil de la demanda de energía

La tendencia mundial actual busca, idealmente, una electrificación masiva de la movilidad para un horizonte entre el 2030-2050. Considerando un

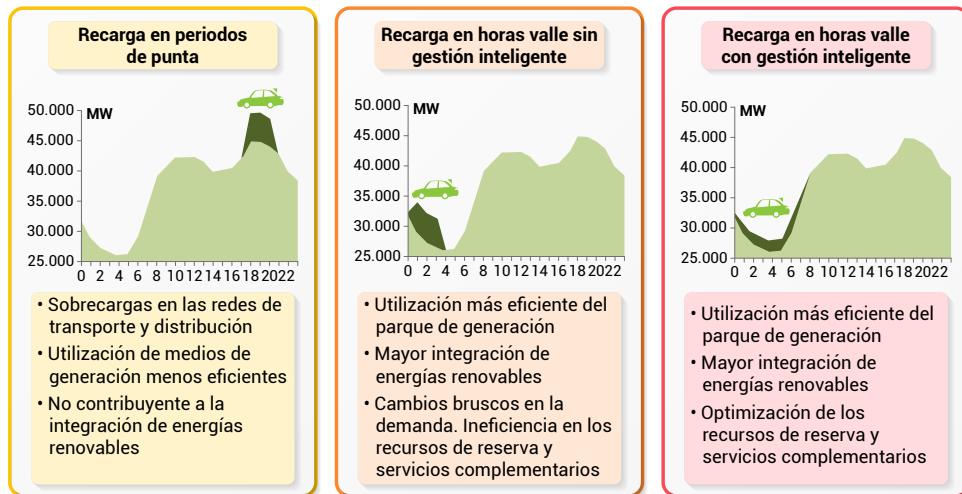
escenario de un recambio total hacia vehículos eléctricos, se deberá abastecer una gran demanda de energía eléctrica para cubrir el parque automotor existente. La manera en la que se establezcan los patrones de carga de una ciudad modificará considerablemente el perfil temporal de la demanda de energía; por ejemplo, si se vuelve común que los usuarios carguen sus vehículos al llegar a la oficina, existiría un gran pico en la demanda de energía prácticamente en un mismo punto del tiempo. Sucedería de la misma manera si todos los usuarios regresan al hogar luego de sus actividades diarias, y todos deciden cargar el vehículo simultáneamente entre 5-6 de la tarde.

La clave, entonces, reside en que el perfil de la demanda de energía de una ciudad se compone de la demanda desde varios sectores diferentes, y se podría suscitar un problema en generación de energía si los picos en la demanda actuales coincidieran con los picos de demanda adicionales por movilidad eléctrica. La figura 72 ejemplifica escenarios de carga respecto al perfil temporal de la demanda, evidenciando claramente las ventajas de cargar los vehículos de manera inteligente e incluso distribuida (más difícil de implementar) en las altas horas de la noche.

Cabe recalcar que, en ciudades donde se cuente con gran capacidad de generación de energía, es posible que estos incrementos de demanda en escenarios de adopción del 100 % no causen mayor problema. Sin embargo, en los casos en los que la capacidad de generación no abastezca, se podría incurrir en gastos por compra de energía a países vecinos, o se podría aumentar la producción energética, pero no necesariamente desde fuentes ambientalmente amigables.

**Figura 72.**

*Escenarios de carga en diferentes horas del día de acuerdo a la demanda de energía existente.*



*Nota.* Tomado de Las redes eléctricas inteligentes: seguridad, estabilidad y sostenibilidad del sistema [Ilustración], por Josa, A., 2017, [Slideplayer](#). CC BY 2.0

### 5.1.3. La generación de energía y el “mix energético”

En un escenario en el cual el perfil temporal de la demanda energética sobrepase la capacidad de generación de energía en un punto o período dado de tiempo, el gran problema que podría surgir sería que el déficit energético se solvente con fuentes de energía basada en carbón, como generación termoeléctrica, por ejemplo.

En este contexto, es de suma importancia considerar estos escenarios de adopción masiva, enmarcados en el “mix energético” actual, en cuanto más se podría incrementar la generación de fuentes limpias, y cuánto terminaría siendo solventado por fuentes altamente contaminantes. La justificación es simple, pero profunda: si la generación de energía se viese forzada a ser solventada por fuentes basadas en carbón, es posible que la electrificación sea más un problema que una solución.

El argumento propuesto no significa que la electromovilidad no sea una alternativa que ofrece gran potencial para la ecomovilidad y la lucha contra el cambio climático, simplemente evidencia que se debe analizar holística e integralmente estos aspectos externos, para asegurar que la solución sea realmente sostenible.

## 5.2. El mantenimiento vehicular y los mecanismos de control

Como se mencionó en la unidad 2, uno de los factores más relevantes que influye en la emisión de contaminantes es el mantenimiento vehicular y la edad del vehículo. Incluso, Alam y McNabola (2014), sugieren que una de las dimensiones del *eco-driving* se puede considerar como las decisiones del usuario sobre el mantenimiento de sus vehículos.

Intuitivamente, el paso del tiempo implica que los vehículos sufren deterioros que afectan su funcionamiento adecuado. Si un vehículo presenta falencias en cualquiera de sus sistemas, podrá implicar un incremento en su emisión de contaminantes. Si el motor de un vehículo presenta falencias en su sincronización, puede derivar en una combustión incompleta. Si un vehículo circula con sus neumáticos con una presión más baja que la especificada, la resistencia al movimiento es mayor, y por ende la potencia requerida, el consumo de combustible y las emisiones. Si un vehículo no posee un catalizador operando en condiciones adecuadas, los gases de escape no podrán ser transformados en compuestos menos contaminantes. Existen muchos otros ejemplos a más de los mencionados, pero el argumento consiste en que es de vital importancia que el usuario de un mantenimiento adecuado a su vehículo durante su vida útil.

Respecto a la antigüedad del vehículo, Cadie et al. (1993), reportan que el 3 % de vehículos más antiguos y deteriorados del parque automotor de su estudio, son responsables por el 27 % de la emisión total de contaminantes a nivel ciudad. En cambio, el 75 % de vehículos más nuevos son responsables solamente del 16 % de la emisión total de contaminantes. Considerando estos fuertes contrastes, la circulación de vehículos antiguos solamente se debe permitir si se puede demostrar que se encuentran en un buen estado de mantenimiento. Es precisamente para este fin que surge la necesidad de establecer un mecanismo de control.

### 5.2.1. La revisión técnica vehicular

Dada la importancia del mantenimiento y la edad vehicular en la emisión de contaminantes del parque automotor de una ciudad, es esencial contar con políticas públicas que faciliten la implementación y operación de centros de control vehicular en las ciudades.

Estos centros de control se encargan de inspeccionar a detalle el correcto funcionamiento mecánico de todos los sistemas de los vehículos,

así como las concentraciones de contaminantes emitidas respecto a las normativas vigentes. En el caso del Ecuador, como se vio en la unidad 1, existen las Normas INEN a gasolina (INEN, 2002b) y a diesel (INEN, 2002a), estableciendo los rangos permitidos de emisión de contaminantes de acuerdo al año del vehículo, el tipo de vehículo como liviano o pesado, y sus subtipos respectivos, entre otros parámetros relevantes. El fiel cumplimiento de estos controles de manera anual es requisito indispensable para que un vehículo pueda obtener su permiso de circulación y matrícula.

Los primeros pasos hacia un control mecánico y ambiental de los vehículos en el Ecuador se dieron mediante la instauración de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en la ciudad de Quito en el año 2004 (ver figura 73), seguido por la ciudad de Cuenca en el año 2006. Tras los casos de éxito en estas ciudades, en el año 2012, la Agencia Nacional de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial del Ecuador (ANT) estipuló la implementación, de carácter obligatorio, de centros RTV en todos los GAD del país. Si bien el cumplimiento de esta ley fue por muchos años parcial y bastante modesto, la implementación de centros RTV en varios GAD ha incrementado considerablemente en los últimos años.

**Figura 73.**  
*Centro de Revisión Técnica Vehicular en Quito.*



*Nota.* Tomado de Conozca los horarios para la Revisión Técnica Vehicular en Quito desde el 5 de julio [Fotografía], por Zambrano, S., 2022, [Metroecuador](#). CC BY 2.0

Un control anual del estado mecánico y tasas de emisión de contaminantes por medio de la RTV es indispensable para garantizar que el parque automotor de una ciudad opere dentro de los parámetros establecidos en la normativa vigente. Estos mecanismos de control toman particular

relevancia considerando los fuertes contrastes de emisión de contaminantes respecto a la edad del vehículo reportado por Cadie et al. (1993). Considérese los grandes esfuerzos que se han dedicado a soluciones de tipo *eco-routing* o *eco-driving*, para muchas veces alcanzar reducciones de 4-5 % , cuando no controlar el 3 % más antiguo de la flota de una ciudad implica no reducir un potencial 25 % .

Como se ha aprendido en esta asignatura, las iniciativas de movilidad alternativa al automóvil son aquellas que más promesa ofrecen para la movilidad sustentable. Sin embargo, partiendo de que cambiar nuestros hábitos de movilidad y erradicar al automóvil de nuestras ciudades es una tarea casi utópica, las diferentes iniciativas y estrategias tecnológicas, así como el control e inspección vehicular tienen gran importancia, y permiten mitigar los impactos negativos del automóvil al atacar el problema desde varios ángulos.



## Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Indague y profundice los contenidos en las fuentes descritas en la bibliografía, de esta manera usted puede complementar la síntesis provista en esta guía didáctica y solventar cualquier duda adicional.
2. Elabore un resumen o cuadro sinóptico de la unidad, para poder organizar y asimilar los conocimientos adquiridos de mejor manera.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.

3. Realice la autoevaluación 14 para poner a prueba su aprendizaje, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.



## Autoevaluación 14

1. Un escenario favorable de carga de vehículos sería que se puedan cargar en la casa a horas pico.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
2. La necesidad de carga de vehículos depende en mayor medida de:
  - a. El lugar de trabajo del usuario.
  - b. El costo de la electricidad.
  - c. La autonomía del vehículo.
  - d. El tipo de cargador.
3. El problema que se puede dar respecto a la **demand**a de energía es que, si todos los vehículos fuesen eléctricos, se va a necesitar muchos puntos de carga.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
4. En un escenario de sobredemanda, lo ideal sería que el mix energético tenga una predominancia de energías renovables.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.
5. La Revisión Técnica Vehicular en el Ecuador pretende prohibir el uso de vehículos antiguos para poder reducir las emisiones de gases contaminantes.
  - a. Verdadero.
  - b. Falso.

6. El \_\_\_ de la demanda energética hace alusión a los \_\_\_ \_\_\_\_de consumo de energía.
- Mix; usuarios; que requieren.
  - Mix; usuarios; temporales.
  - Perfil; patrones; temporales.
  - Perfil; usuarios; temporales.
7. La literatura reporta que existe infraestructura de carga que permite alcanzar \_\_\_ de la carga total de la batería en \_\_\_.
- 50 % ; 5 minutos.
  - 60 % ; 10 minutos.
  - 90 % ; 60 minutos.
  - 80 % ; 15 minutos.
8. Cuando se habla de un plan de carga eficiente y sostenible, se debe considerar cargar a horas claves, así como distribuir la demanda energética durante estas horas.
- Verdadero.
  - Falso.
9. Al controlar solamente el \_\_\_ más antiguo de la flota, se puede mejorar las emisiones en un \_\_\_.
- 25 % ; 75 %.
  - 10 % ; 50 %.
  - 75 % ; 3 %.
  - 3 % ; 25 %.
10. El primer paso tomado por el país en materia de Revisión Técnica Vehicular se dio en \_\_\_ y \_\_\_, en los años \_\_\_ y \_\_\_, respectivamente.
- Quito; Cuenca; 2000; 2004.
  - Cuenca; Quito; 2000; 2004.
  - Cuenca; Quito; 2004; 2006.
  - Quito; Cuenca; 2004; 2006.

[Ir al solucionario](#)



### Actividades finales del bimestre

#### Resumen y repaso del bimestre

Esta última semana de estudio se enfoca en un repaso general del bimestre, previo al examen final. Los conocimientos que usted debería haber adquirido en este bimestre son los siguientes:

1. **Unidad 3: Temas 3.3 - 3.6: Los ODS y las LEDS y su relación con el transporte.**
2. **Unidad 4: Las tres dimensiones de aplicación de la ecomovilidad (nuevas tendencias, nuevas tecnologías, y energías alternativas).**
3. **Unidad 5: Desafíos en la electromovilidad y aspectos regulatorios.**



### Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimado estudiante le invito a realizar las siguientes actividades:

1. Lea comprensivamente los resúmenes y cuadros sinópticos que ha elaborado en cada una de las semanas de estudio.
2. Revise y vuelva a realizar las autoevaluaciones de cada una de las semanas de estudio, se recomienda realizar la autoevaluación sin revisar el contenido ni las soluciones, para luego corroborar y/o rectificar el aprendizaje.
3. La tutoría de esta semana ofrecerá una síntesis de los contenidos cubiertos en este segundo bimestre, se recomienda que realice las actividades de aprendizaje aquí sugeridas, para que pueda consultar al profesor tutor sobre cualquier duda que pudiese tener antes del examen final.

*Nota.* Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o en un documento Word.



## 4. Solucionario

Autoevaluación 1		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	d	Un avance a la época respecto a la propulsión animal, pero no aún en base a un combustible.
2	b	Existieron varios inventores en la historia con sus prototipos antes de Otto.
3	b	MCI: Motor de Combustión Interna
4	c	El orden de los factores SI altera el producto final en este caso.
5	b	El motor a diesel ofrece esta flexibilidad.
6	b	El motor típico a diesel tiene 4 tiempos.
7	c	El automóvil era sumamente costoso, sólo al alcance de la élite.
8	b	Da Vinci, en Italia, y luego en Francia y Alemania, antes que en los Estados Unidos.
9	c	Lo "eco" es ambiental, pero para ser sostenible completamente debe ser económico y socialmente adecuado.
10	a	Por lo mencionado en la anterior pregunta.

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 2

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Surgió por innovaciones en la producción industrial, lo que permitió disminuir su costo.
2	c	De acuerdo a lo mencionado en la anterior pregunta.
3	b	Una ciudad con usos mixtos del suelo es ideal para la movilidad activa.
4	b	Se establecen debido a la preocupación respecto al smog que ya en ese entonces se volvió un problema.
5	a	Si bien el problema del smog se evidenció fuertemente por primera vez en California en 1943, las primeras regulaciones se establecieron ahí en 1970.
6	a, c	No es un tema de vialidad ni de costo de combustible.
7	b	El automóvil es el medio de transporte más cómodo a nivel individual; son sus impactos a nivel colectivo los que se debe considerar.
8	a	Saturar las urbes con vías implica reducir el espacio para otros modos de transporte y para las personas.
9	d	A Europa le tomó tiempo seguir los pasos de California.
10	d	Las normas INEN respecto a emisiones se publicaron en el año 2002.

Ir a la  
autoevaluación

### Autoevaluación 3

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	El transporte es el segundo sector, el primero es la energía.
2	b	El tipo de transporte de que más generó fue el automóvil privado.
3	a	La necesidad (demanda) de transporte se deriva de la necesidad del ser humano de realizar actividades.
4	d	Los tres son elementos importantes de la oferta del transporte.
5	a	Si la demanda supera a la oferta, el sistema no puede abastecer los viajes requeridos.
6	c	Un bus como vehículo es más grande que un auto, pero transporta muchas más personas.
7	d	No se trata de si la oferta o demanda son altas, se trata de la relación entre oferta y demanda.
8	b	Al ponderar se filtran las fluctuaciones altas y bajas.
9	a	Una hora dada del día puede ser pico en una calle o sector, mientras que es valle en otra calle o sector.
10	a	Ni sumando carga liviana y pesada superan al automóvil.

Ir a la  
autoevaluación

#### Autoevaluación 4

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c	El combustible y el aire son indispensables para la combustión.
2	a	Los NO <sub>x</sub> son compuestos nitrogenados, no propanos.
3	b	La relación de 14.7 es de aire a gasolina, no al revés.
4	b	El CO <sub>2</sub> se relaciona con gases de efecto invernadero y algunas afecciones de salud, pero no existe aún evidencia científica que lo relacione con el cáncer.
5	d	Se estima que pueden durar hasta 60 minutos luego de parar por completo el vehículo.
6	d	De acuerdo con la pregunta 3.
7	b	Puede incrementarse por un factor de 10.
8	b	Se dan también cuando está parado, hasta que se enfríe luego del uso, y durante el tanqueo.
9	c	Es un período relativamente corto de 2-3 minutos, hasta que se caliente el catalizador del vehículo.
10	a	El material particulado es de gran importancia en el análisis de emisiones, por afectar tanto a la salud como al medio ambiente.

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 5

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Por el contrario, la manera en que se conduce un vehículo depende fuertemente de estos factores
2	d	Estudios han encontrado que la conducción agresiva genera el triple de emisiones.
3	a	Los ciclos de conducción se pueden modelar, o se pueden generar por medio del computador de un vehículo en circulación en condiciones reales.
4	b	Un motor de mayor cilindraje (potencia) consume más combustible, por lo tanto, emite más gases.
5	c	Tal como se puede observar en la fórmula del VSP, donde el mayor coeficiente es cúbico.
6	b	Una camioneta Pickup (ej: Ford F150) contamina más del doble que un vehículo liviano promedio.
7	a	La curva de emisiones de NO <sub>x</sub> respecto a la velocidad revela que las emisiones incrementan considerable y progresivamente a medida que se incrementa la velocidad.
8	b	La curva de emisiones de CO <sub>2</sub> respecto a la velocidad muestra un patrón inverso al de los NO <sub>x</sub> .
9	d	La curva de emisiones de HC respecto a la velocidad muestra un patrón diferente a la de los NO <sub>x</sub> y el CO <sub>2</sub> , donde su punto más bajo es a velocidades medias.
10	b	En este rango de velocidad, todas las curvas de emisión están en su parte más favorable.

Ir a la  
autoevaluación

Autoevaluación 6		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Al ponderar se filtran las fluctuaciones altas y bajas.
2	c	Simplemente, donde hay más congestión, hay más vehículos en un espacio limitado, por ende, mayor concentración de ruido.
3	c	Es la octava más común, siendo la única en el “top ten” que no está relacionada con afecciones a la salud.
4	d	La más común es impericia e imprudencia del conductor
5	b	El peatón tiene menos probabilidad de cometer una imprudencia si goza de infraestructura segregada, segura y amigable para caminar.
6	a, b, c	Los patrones de conducción no se consideran como un factor que influya en el ruido.
7	d	Solamente se cumple con el 11.5%. Esto demuestra que este tipo de externalidad del transporte ha sido obviada en mayor medida que las emisiones.
8	b	Esto se evidencia en las estadísticas de la ANT mostradas en la semana de estudio.
9	c	En el año 2017
10	b	El Plan cuenta con varios ejes, incluyendo institucionalidad y respuesta a accidentes, por ejemplo.

[Ir a la autoevaluación](#)

Autoevaluación 7		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	A diferencia del transporte que engloba a todos los actores
2	c	Es el fenómeno que surge cuando se quiere satisfacer la demanda simplemente al ampliar vías (incrementar oferta); lo que sucede es que se incentiva (induce) al usuario a usar más el vehículo, y las vías se vuelven a saturar rápidamente.
3	a	La manera en que se planifica el crecimiento e infraestructura de una ciudad determina también los problemas (o no) de transporte.
4	b	Son; ecológico, económico, social.
5	a	El actor o modo de transporte con mayor prioridad es el peatón, luego el ciclista.
6	b	De acuerdo a lo establecido en la pregunta 1
7	b	Ejemplos: Un automóvil es el vehículo de varios modos: automóvil, Uber, taxi, auto compartido. Por lo tanto, el vehículo no define el modo de transporte, sino el modo de transporte opera en base a un vehículo dado (en el caso del peatón el vehículo se puede considerar como el mismo cuerpo humano).
8	c	De acuerdo a lo establecido en la pregunta 2
9	c	Estos datos alarmantes son por año
10	b	La movilidad sostenible no busca prohibir ni penalizar al usuario del automóvil, sino busca mejorar las condiciones para los demás modos de transporte, así como de las ciudades, para incentivar modos activos y sostenibles y desincentivar el automóvil.

[Ir a la  
autoevaluación](#)

## Autoevaluación 8

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	d	Todos los objetivos mencionados tienen relación directa con el transporte.
2	b	La ciudad y la movilidad están íntimamente relacionadas.
3	a	El ODS 3 se relaciona con la emisión de contaminantes por parte de vehículos motorizados y sus efectos nocivos a la salud y al medio ambiente.
4	a	Electro: energía; movilidad: transporte
5	a	El transporte permite el progreso humano, ya que permite que las personas sean productivas y realicen actividades importantes para su progreso. En este sentido, la educación y las desigualdades juegan un papel importante.
6	c	El Acuerdo de París del 2015 significó un hito en la sostenibilidad mundial.
7	c	Ambos porcentajes se han proyectado con crecimiento, es por esto que es importante concientizar a la población sobre la movilidad sostenible.
8	a	El mismo razonamiento de la pregunta anterior, con la diferencia que el consumo de energía es más amplio que solamente lo relacionado con el sector transporte.
9	a	Si bien la brecha de género se manifiesta en varias formas, una de las más críticas es la seguridad en el transporte.
10	b	La mayor parte del financiamiento verde ha sido destinada a energía, lo cual está de la mano con el hecho de que la energía es también el sector que mayor impacto genera.

Ir a la  
autoevaluación

## Autoevaluación 9

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Son términos equivalentes para fines prácticos
2	b	Las LEDS son estrategias que se definen a nivel de país
3	a	Las NDC que se han llegado a implementar se reportan en las conferencias anuales COP (Conference of Parties, en inglés), donde participan los 187 estados miembros del Acuerdo de París.
4	a	En el caso del Ecuador, el transporte contamina más que la energía por algunos motivos, principalmente por la generación “ limpia ” de energía hidroeléctrica, así como por el hecho de que no se necesitan sistemas de calefacción en épocas típicas de invierno.
5	a	Efectivamente, y en línea con los esfuerzos globales, la primera NDC del Ecuador estipula ejes de acción en transporte sostenible.
6	c	La planificación en sostenibilidad para NDCs, a más de los aspectos técnicos particulares de cada intervención, requiere también planificación sobre el aseguramiento de fondos.
7	b	De acuerdo a lo establecido en la pregunta 2
8	a	Una LEDS si puede servir como guía para los GADs municipales
9	b	Toda NDC reporta NAMAs
10	a	Al ser una acción de mitigación concreta, la NAMA puede ser LEDS

Ir a la  
autoevaluación

Autoevaluación 10		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	La movilidad activa se instancia en la urbe, por lo que el urbanismo es fundamental, y en específico el urbanismo táctico como herramienta para potenciar la movilidad activa.
2	b	Es toda forma de movilidad en la cual se requiera de esfuerzo físico del usuario para el desplazamiento.
3	b	Si el usuario no se siente seguro, mal puede optar por movilidad activa.
4	b	La falta de cobertura de modos de mayor envergadura (como el transporte público) se puede solventar al combinar modos de transporte para estos tramos sin accesibilidad.
5	d	Si los diferentes modos o servicios no se pueden conectar adecuadamente en espacio y tiempo, no existe viaje multimodal.
6	b	La asignatura aborda las tres dimensiones más relevantes en la actualidad: las tendencias de movilidad sostenible, tecnología y energía.
7	a, d	El costo y una mayor distancia recorrida (que además es normalmente menor) no se relacionan con la salud.
8	c	El segregar la circulación de modos susceptibles es una estrategia de promoción sumamente efectiva (no solo para la bicicleta, sino otras formas de micromovilidad y peatones también).
9	b	Basta con combinar 2 modos para que sea considerado multimodalidad. Incluso, se puede decir que cualquier modo que se combine con un sistema masivo de transporte público ya es un ejemplo de movilidad sostenible y eficiente.
10	d	Al brindar facilidad al usuario para que planifique viajes multimodales complejos que de otra manera no lo haría.

[Ir a la autoevaluación](#)

Autoevaluación 11		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c	5 personas compartiendo son 4 vehículos menos: 80%.
2	b	Si bien un bus es más grande, transporta muchísimas más personas que un auto (incluso si el auto fuese completamente compartido entre 5 personas).
3	a	Un viaje en Uber de una persona individual genera prácticamente los mismos impactos en congestión, emisiones, ruido que si esa persona lo hiciera en su propio auto (solamente se reduciría demanda de parqueo).
4	a	Esto se debe a que los usuarios solicitan un viaje en tiempo real, por lo que un servicio MaaS debe poder intercambiar información rápidamente con los proveedores de servicio individuales.
5	b	No todo transporte multimodal se puede caracterizar como MaaS, ya que no necesariamente se realiza a través de una app/web, ni tiene pago integrado, ni es coordinado por un proveedor (puede ser planificado "manualmente" por el usuario).
6	c	Son más de 300 años desde que se estableció un sistema de transporte público formal.
7	a	Existen un sinnúmero de ejemplos alrededor del mundo de movilidad compartida en bicicleta o escooters, por poner ejemplos.
8	c	La sostenibilidad de este servicio de movilidad se puede alcanzar a través de la movilidad compartida.
9	b	Sin una interfaz de usuario, donde las personas puedan acceder al servicio, especificar su viaje y escoger soluciones, es imposible que se de un servicio MaaS.
10	d	Dado el alto grado de coordinación que se requiere, un servicio de transporte público que no tenga horarios, paradas y líneas formalmente establecidas no puede ser coordinado dentro de un servicio MaaS.

[Ir a la  
autoevaluación](#)

Autoevaluación 12		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c	Routing = rutas; eco = ambientalmente favorables
2	b	Driving = conducción; eco = ambientalmente favorables
3	d	Sin la tecnología no se podría optimizar un problema tan complejo como el ruteo en tiempo real
4	b	Todo lo contrario, potencian estas estrategias porque <b>eliminan</b> la intervención del conductor
5	a	Un ejemplo es los hogares, donde en lugar de coordinar para hacer un solo viaje en un auto, se puede planificar para que el vehículo autónomo "vaya y vuelva" para cada miembro familiar.
6	c	Si bien los automóviles y usuarios son elementos importantes, lo principal es las rutas.
7	a	Se optimiza tiempo y otras variables, y se adiciona el criterio ambiental.
8	b	Si bien los automóviles y las rutas son elementos importantes, lo principal es el usuario y sus patrones de conducción.
9	d	Si bien típicamente a la demanda inducida se la asocia con la inversión indiscriminada en infraestructura vial, los vehículos autónomos también pueden tener un rol importante en este fenómeno.
10	b	Todo lo contrario, el regular la adopción para que sea sostenible aseguraría el bienestar colectivo.

[Ir a la  
autoevaluación](#)

### Autoevaluación 13

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Es <b>inversamente</b> proporcional
2	c	"Engine downsizing" en inglés se traduce como reducción de tamaño del motor
3	d	Los gases de escape que son reinserados por el sistema de turbo mejoran las condiciones para una combustión más eficiente.
4	a	La palabra híbrido viene de la mezcla o fusión de 2 cosas, por lo que un auto que es completamente eléctrico no es un auto híbrido.
5	a	Para producir biocombustibles se necesita explotar el uso agrícola del suelo, lo cual genera también impactos ambientales.
6	c	Como se observa en el gráfico en la semana de estudio, los autos fabricados entre 1975 y 1987 evidenciaron una gran mejoría en su rendimiento.
7	c	La razón de la mejoría fue, sin duda, el establecimiento de normativa ambiental.
8	b	No, porque la electromovilidad se basa en motores eléctricos, no en MCI.
9	c	Termodinámica = combustión; magnetismo = electricidad
10	d	El biodiesel surge del proceso químico de transesterificación de grasas y aceites.

[Ir a la  
autoevaluación](#)

## Autoevaluación 14

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Las horas pico serían el peor escenario de carga, lo mejor es en altas horas de la noche, cuando no existe una demanda alta de energía.
2	c	Mientras más autonomía tenga un vehículo, más distancia podrá recorrer sin necesidad de ser cargado fuera del hogar.
3	b	Los puntos de carga son un problema de infraestructura, no de demanda. El problema respecto a la demanda de energía se da por el aspecto temporal.
4	a	Si se va a generar una sobredemanda debido a vehículos eléctricos, es importante entender cómo se solventaría esa sobredemanda. La solución puede ser peor que el problema si, por ejemplo, un país opera normalmente a límite con sus energías limpias, y la sobredemanda por electromovilidad se solventa por medio de energía termoeléctrica.
5	b	No pretende <b>prohibir</b> el uso a nadie ni a ningún vehículo, sino asegurarse de que los vehículos (especialmente los más antiguos) operen en condiciones que aseguren que sus emisiones cumplan con la normativa.
6	c	Comúnmente se refiere al perfil de la demanda energética como la variación temporal de la misma durante el día, mes, semana, así como durante diferentes estaciones del año.
7	d	Esta tecnología sería la más avanzada que se reporta hasta el año 2022.
8	a	Esto está íntimamente relacionado con el perfil temporal de la demanda y el mix energético de cada ciudad/país.
9	d	De este dato surge la importancia de establecer programas de mantenimiento y control.
10	d	Complementando la pregunta anterior, la RTV en Ecuador es de vital importancia. Nótese que en este período inicial de ciudades pioneras como Quito y Cuenca, se publican las normas INEN respecto a emisiones vehiculares.

[Ir a la autoevaluación](#)



---

## 5. Referencias bibliográficas

---

- Ahn, K., & Rakha, H. A. (2013). Network-wide impacts of eco-routing strategies: A large-scale case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.09.006>
- Alam, Md. S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of *Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations*. *Transport Policy*, 35, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.016>
- Alfaseeh, L., & Farooq, B. (2020). *Multi-Factor Taxonomy of Eco-Routing Models and Future Outlook*. *Journal of Sensors*, 2020, e4362493. <https://doi.org/10.1155/2020/4362493>
- Cadie, S. H., Gorse, R. A., & Lawson, D. R. (1993). Real-World Vehicle Emissions: A Summary of the Third Annual CRC-APRAC On-Road Vehicle Emissions Workshop. *Air & Waste*, 43(8), 1084–1090. <https://doi.org/10.1080/1073161X.1993.10467186>
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). Ingeniería de Tránsito: *Fundamentos y aplicaciones*. Alpha Editorial.
- Calderón, F., & Miller, E. J. (2020). A literature review of mobility services: *Definitions, modelling state-of-the-art, and key considerations for a conceptual modelling framework*. *Transport Reviews*, 40(3), 312–332. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1704916>
- Chiara, F., Wang, J., Patil, C. B., Hsieh, M.-F., & Yan, F. (2011). *Development and experimental validation of a control-oriented Diesel engine model for fuel consumption and brake torque predictions*. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 17(3), 261–277. <https://doi.org/10.1080/13873954.2011.562902>
- Climate Policy Info Hub. (n.d.). *Overview of Climate Targets in Europe*. Retrieved January 16, 2023, from <http://climatepolicyinfohub.eu/overview-climate-targets-europe>

- De Vlieger, I. (1997). *On board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol-driven passenger cars*. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3753–3761. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00212-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00212-4)
- Dong, X., Fu, J. S., & Tschantz, M. F. (2018). *Modeling could soak evaporative vapor emissions from gasoline-powered automobiles using a newly developed method*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 68(12), 1317–1332. <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1503206>
- Dunckel-Graglia, A. (2013). Rosa, el nuevo color del feminismo: *Un análisis del transporte exclusivo para mujeres*. *La ventana. Revista de estudios de género*, 4(37), 148–176.
- Eckermann, E. (2001). *World History of the Automobile*. SAE International.
- EPA. (2022). The 2022 EPA Automotive Trends Report. *United States Environmental Protection Agency*. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-12/420r22029.pdf>
- Ericsson, E. (2000). Variability in urban driving patterns. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(5), 337–354. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(00\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(00)00003-1)
- European Commission. (2016). *A European Strategy for Low-Emission Mobility*. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e44d3c21-531e-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e44d3c21-531e-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)
- Grupo FARO. (2021). Documento metodológico “*Guía para la inclusión de las NDC Ecuador a nivel subnacional en la planificación territorial*.” Grupo FARO. <https://grupofaro.org/publicaciones/guia-para-la-inclusion-de-las-ndc-ecuador-a-nivel-subnacional-en-la-planificacion-territorial/>
- Guirao Abad, B. (2000). El cálculo del tráfico inducido como herramienta en la planificación de las infraestructuras de transporte: *Aplicación a la puesta en servicio de las nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad en España (east=-3.7492200000000366; north=40.46366700000001; name=España) [Phd, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM)]*. <https://oa.upm.es/1359/>

Hatzopoulou, M. (2018). Course: Transport Emissions Modelling. Lecture 1-Part 4-Factors Influencing Emissions. *University of Toronto [Powerpoint slides]*.

Hinicio. (2021). *Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador*. <https://cupdf.com/document/estrategia-nacional-de-electromovilidad-para-ecuador.html>

INEN. (2002a). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL. (Primera)*. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

INEN. (2002b). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. (Primera)*. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

Kumar, P. G., Lekhana, P., Tejaswi, M., & Chandrakala, S. (2021). *Effects of vehicular emissions on the urban environment- a state of the art*. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6314–6320. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.739>

LLACTALAB. (n.d.). ¿Qué es el Planificador de rutas multimodal? LlactaLAB – Universidad de Cuenca. Retrieved January 16, 2023, from <https://llactalab.ucuenca.edu.ec/ruteador/>

MAE. (2011). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>

MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/ESTRATEGIA-NACIONAL-DE-CAMBIO-CLIMATICO-DEL-ECUADOR.pdf>

MAE, & MEF. (2021). *Estrategia Nacional de Financiamiento Climático del Ecuador*. Ministerio del Ambiente y Ministerio de Economía y Finanzas del Ecuador. <https://www.bivica.org/file/view/id/5789>

- McNally, M. G. (2008). *The Four Step Model*. <https://escholarship.org/uc/item/0r75311t>
- Minnesota DOT. (n.d.). *Mn/DOT joins Interstate Highway System's 50th anniversary celebration*. Retrieved January 16, 2023, from <https://web.archive.org/web/20071204072603/http://www.dot.state.mn.us/interstate50/50facts.html>
- Minnesota Pollution Control Agency. (n.d.). Volatile organic compounds (VOCs). *Minnesota Pollution Control Agency*. Retrieved January 16, 2023, from <https://www.pca.state.mn.us/pollutants-and-contaminants/volatile-organic-compounds-vocs>
- MMA. (n.d.). *Estrategia de desarrollo bajo en carbono*. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Retrieved January 16, 2023, from <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/estrategia-de-desarrollo-bajo-en-carbono/>
- Mulley, C., & Kronsell, A. (2018). Workshop 7 report: *The “uberisation” of public transport and mobility as a service (MaaS): Implications for future mainstream public transport*. *Research in Transportation Economics*, 69, 568–572. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.08.007>
- National Academies Press. (2005). *Assessing and Managing the Ecological Impacts of Paved Roads*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11535>
- OMS. (2022). *Traumatismos causados por el tránsito*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- ONU. (n.d.-a). ODS 7: *Energía asequible y no contaminante*. Desarrollo Sostenible. Retrieved January 16, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- ONU. (n.d.-b). ODS11: *Ciudades y comunidades sostenibles*. Desarrollo Sostenible. Retrieved January 16, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- ONU. (n.d.-c). ODS13: *Acción por el clima*. Desarrollo Sostenible. Retrieved January 16, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>

- ONU. (n.d.-d). Sostenibilidad | Naciones Unidas. United Nations; *United Nations*. Retrieved January 16, 2023, from <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>
- ONU. (2019). *Sustainable Development Report 2019*. <https://www.sustainabledevelopment.report>
- Ortega, C. T., Peralvo, F. C., Gavilanes, J. M., Walden, C. S., & Inga, O. D. (2017). *Elaboración del mapa de ruido de las calles de la ciudad de Cuenca, a de partir de características viales y densidad de tráfico*. Universidad-Verdad, 73, Article 73. <https://doi.org/10.33324/uv.v1i73.36>
- OTLE. (2020). Informe 2020 | OTLE. *Observatorio del Transporte y la Logística en España*. <https://observatoriotransporte.mitma.es/inform/es/2020/indice/>
- Parissien, S. (2014). *The Life of the Automobile: The Complete History of the Motor Car*. Macmillan.
- Patil, C. M., Varade, S., & Wadkar, S. (2017). *A Review of Engine Downsizing and its Effects*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-of-Engine-Downsizing-and-its-Effects-Patil-Varade/32e50ef8f8084cc79a62d5cfa2bd0610aa381ead>
- República del Ecuador. (2019). *PRIMERA CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL PARA EL ACUERDO DE PARÍS BAJO LA CONVENCIÓN MARCO DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO*. <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Primera%20NDC%20Ecuador.pdf>
- SAE. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. SAE International. [https://www.sae.org/standards/content/j3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/)
- Singh, H., Kushwaha, V., Agarwal, A. D., & Sandhu, S. S. (2016). *Fatal Road Traffic Accidents: Causes and Factors Responsible*. *Journal of Indian Academy of Forensic Medicine*, 38(1), 52. <https://doi.org/10.5958/0974-0848.2016.00014.2>
- US EPA. (2016, June 27). *Timeline of Major Accomplishments in Transportation, Air Pollution, and Climate Change [Collections and Lists]*.

<https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/timeline-major-accomplishments-transportation-air>

Yusuf, A. A., & Inambao, F. L. (2019). *Effect of cold start emissions from gasoline-fueled engines of light-duty vehicles at low and high ambient temperatures: Recent trends. Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100417. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100417>

Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). *A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>

Zhou, X., Tanvir, S., Lei, H., Taylor, J., Liu, B., Roushail, N. M., & Christopher Frey, H. (2015). *Integrating a simplified emission estimation model and mesoscopic dynamic traffic simulator to efficiently evaluate emission impacts of traffic management strategies. Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 37, 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.013>