

# Transporte



# Capítulo 13. Transporte

## Autores y colaboradores

### Autor principal de coordinación federal

**Robert Kafalenos**, US Department of Transportation

### Autor principal del capítulo

**Cris B. Liban**, Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority

### Autores del capítulo

**Lilian Alessa**, University of Idaho

**Susan Anenberg**, George Washington University

**Mikhail Chester**, Arizona State University

**Joshua DeFlorio**, Port Authority of New York & New Jersey

**Francisco J. Dóñez**, US Environmental Protection Agency

**Aimee Flannery**, Jacobs

**Michael R. Sanio**, Institute for Sustainable Infrastructure

**Beverly A. Scott**, Introducing Youth to American Infrastructure Inc.

**Anne Marie K. Stoner**, Earth Knowledge Inc.

### Contribuyentes técnicos

**Jack Clark**, International Transportation Learning Center

**Kristina A. Dahl**, Union of Concerned Scientists

**Alissa Kendall**, University of California, Davis

**Samuel A. Markolf**, University of California, Merced

**Katelyn O'Dell**, George Washington University, Department of Environmental and Occupational Health

**Steven Olmsted**, Arizona Department of Transportation

**Laurel Paget-Seekins**, Open Society Foundations, Leadership in Government Fellowship

**Karen E. Philbrick**, Mineta Transportation Institute

**Tara L. Ramani**, Texas A&M Transportation Institute

**Manjit K. Sooch**, Alameda-Contra Costa Transit District

**Benjamin S. Underwood**, North Carolina State University

**Madison A. Walker**, Arizona State University

**Editor revisor**

**John R. Posey**, East–West Gateway Council of Governments

**Arte de apertura de capítulo**

**Oxana Kovalchuk**

**Cita recomendada**

Liban, C.B., R. Kafalenos, L. Alessa, S. Anenberg, M. Chester, J. DeFlorio, F.J. Dóñez, A. Flannery, M.R. Sanio, B.A. Scott, and A.M.K. Stoner, 2023: Cap. 13. Transporte. En: *La Quinta Evaluación Nacional del Clima*. Crimmins, A.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, Eds. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023.CH13.ES>

# Índice de Contenidos

<b>Introducción .....</b>	<b>5</b>
Mensaje clave 13.1 <b>Limitar las emisiones del sector del transporte e integrar las proyecciones climáticas puede reducir los riesgos .....</b>	<b>6</b>
Mensaje clave 13.2 <b>El cambio climático combinado con otros elementos de perturbación exige nuevos marcos y competencias .....</b>	<b>11</b>
Mensaje clave 13.3 <b>El transporte sostenible produciría beneficios sociales.....</b>	<b>14</b>
Mensaje clave 13.4 <b>La distribución equitativa de los beneficios y concesiones mutuas del transporte requiere la participación de la comunidad .....</b>	<b>17</b>
<b>Cuentas trazables.....</b>	<b>20</b>
Descripción del proceso .....	20
Mensaje clave 13.1 .....	21
Mensaje clave 13.2.....	22
Mensaje clave 13.3.....	23
Mensaje clave 13.4.....	25
<b>Referencias .....</b>	<b>27</b>

## Introducción

El transporte es fundamental para mejorar la calidad de vida en Estados Unidos y es un factor clave de la actividad económica y social de nuestras comunidades. Los sistemas de transporte y movilidad son algo más que un conjunto de modos (a pie, en bicicleta, en automóvil, en camión, en autobús, en tren, en avión o en barco) para trasladar personas y mercancías en entornos urbanos y rurales. También son un catalizador para el cambio y ofrecen la oportunidad de reducir los impactos de un clima cambiante. Las inversiones en los sistemas de transporte están vinculadas a resultados de seguridad, medioambientales, sociales y económicos.

El sector del transporte está experimentando rápidos cambios que involucran tecnologías, comportamientos, mano de obra, cadenas de suministro y logística, todo lo cual se enfrenta a riesgos cada vez mayores derivados de los peligros climáticos. Las evaluaciones anteriores destacaban los riesgos derivados de las inversiones en transporte que no tenían en cuenta el cambio climático. Continúa siendo un reto manejar el sistema de transporte existente en un clima cambiante y, al mismo tiempo, planificar las necesidades futuras de transporte con menos impactos negativos para el medio ambiente y las comunidades. Los patrones históricos de uso de la tierra centradas en el automóvil dificultan la transición a un transporte con bajas emisiones de carbono (Capítulo 12). Estas condiciones exigen que los responsables de la toma de decisiones se basen en los mejores datos, la ciencia y las prácticas empresariales, así como en un compromiso significativo con las comunidades más afectadas, para realizar inversiones sólidas en transporte a corto y largo plazos.

El sistema de transporte de nuestro país opera a una escala geográfica vasta y única y presta servicio a un conjunto diverso de usuarios. Es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG), pero también es vulnerable a los riesgos climáticos. Realizar inversiones en transporte que sean sostenibles, resilientes al clima, basadas en evidencia y equitativas involucra una evaluación de riesgos y un análisis dinámico detallado de los costos y los impactos a largo plazo. Las inversiones en ciencia y tecnología pueden permitir la rápida implementación de decisiones y análisis basados en el clima que incorporen una serie de consideraciones sociales, políticas, financieras y de ingeniería para mejorar la movilidad y aumentar las opciones de movilidad en comunidades urbanas y rurales.

Un sector del transporte con menos emisiones mitigaría las emisiones de GHG, reduciría la cantidad de carbono incrustado en los materiales desplegados y fomentaría aire más limpio y comunidades más sanas. Sin embargo, esta transformación involucrará concesiones mutuas con algunos impactos negativos. Las estrategias de adaptación y mitigación variarán según el lugar. La toma de decisiones inclusiva y los procesos basados en datos ayudarán a garantizar que tales impactos no recaigan de forma desproporcionada sobre comunidades ya sobrecargadas.



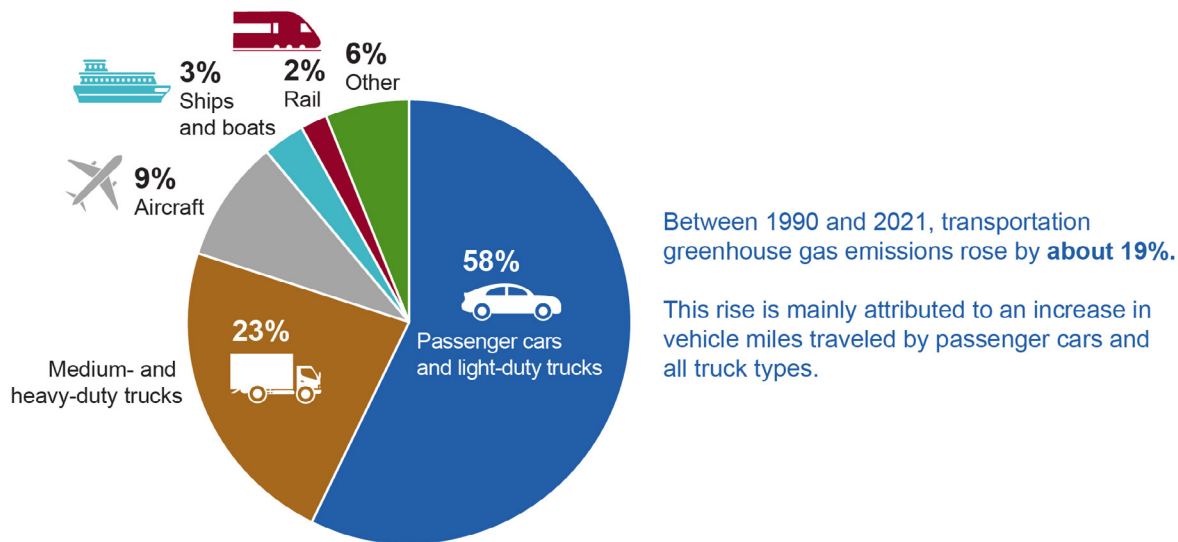
## Mensaje clave 13.1

### Limitar las emisiones del sector del transporte e integrar las proyecciones climáticas puede reducir los riesgos

El sector del transporte es la mayor fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en Estados Unidos, aunque las fuentes de emisiones del transporte están cambiando (*confianza muy alta*). El sector también se enfrenta a un riesgo creciente de eventos meteorológicos extremos relacionados con el clima (*confianza muy alta*). La incorporación de las proyecciones climáticas y las mejores prácticas de adaptación y resiliencia en la planificación, el diseño, las operaciones y el mantenimiento del transporte puede reducir esos riesgos para el sector (*confianza muy alta*).

El sector del transporte es la mayor fuente de emisiones de GHG en Estados Unidos con un 28.5 % del total de las emisiones nacionales en 2021 (Figura 13.1). El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sigue siendo el GHG dominante en el sector<sup>1</sup>. Limitar el calentamiento global a 1.5 °C (2.7 °F) por encima de los niveles preindustriales requeriría un camino hacia la consecución de cero emisiones netas de GHG para 2050<sup>2</sup>. Sin embargo, bajo la política actual a partir de noviembre de 2021, las proyecciones de uso de energía y emisiones de GHG del sector del transporte estadounidense en 2050 son similares a los niveles actuales<sup>3</sup>. Estas proyecciones parten del supuesto de un aumento continuado de la demanda de transporte de mercancías y del número de millas recorridas en vehículo por persona, así como de las tendencias actuales de los sistemas de propulsión. Otros estudios anticipan un cambio más rápido a tecnologías con menos emisiones de GHG como consecuencia del descenso de los costos de los sistemas de propulsión eléctricos y otras tecnologías, en parte como resultado de cambios en políticas federales y estatales<sup>4,5,6,7</sup>.

## Emisiones de gases de efecto invernadero de 2021 del transporte nacional de Estados Unidos por modo



**El transporte sigue siendo la mayor fuente de emisiones en los EE. UU., con los automóviles y los camiones ligeros como principales colaboradores.**

**Figura 13.1.** Las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) del sector del transporte nacional de Estados Unidos aumentaron alrededor de un 19 % entre 1990 y 2021, y sigue siendo la mayor fuente del total nacional de emisiones de GHG, donde los automóviles de pasajeros y todos los tipos de camiones son los que más contribuyen al aumento de las emisiones del transporte. “Otros” se refiere a autobuses, motocicletas, tuberías y lubricantes. Las cifras no suman 100 % debido al redondeo. Créditos de la figura: Arizona State University y Texas Tech University. Consulte los metadatos de las figuras para conocer otros colaboradores.

La planificación multimodal se lleva a cabo en las Organizaciones de Planificación Metropolitana (Metropolitan Planning Organizations, MPO) o por los estados, y se guía por los aportes de muchas partes interesadas. Involucra una evaluación exhaustiva de las necesidades de transporte e incluye la participación pública para abordar las necesidades de múltiples usuarios. Esto incluye fomentar un mayor uso del transporte público y de modos de transporte activos como caminar o montar en bicicleta<sup>8,9,10,11,12</sup>. Las hojas de ruta para alcanzar los objetivos de emisiones netas cero en 2050 suelen incluir grandes esfuerzos para sustituir los vehículos de pasajeros, de transporte público y de mercancías por vehículos eléctricos (electric vehicles, EV), lo que aumentará la demanda de electricidad (Capítulos 5, 32). Algunos gobiernos estatales y organizaciones sin fines de lucro están fomentando el uso de combustibles con bajas emisiones de carbono como el hidrógeno y los biocombustibles para vehículos pesados y difíciles de electrificar, así como para medios de transporte acuáticos y aeronaves (Capítulo 32). Aunque el aumento de los esfuerzos para electrificar los vehículos podría reducir las emisiones de combustibles fósiles, también hay que tener en cuenta los desafíos que plantea este cambio, como aumento de la presión sobre las redes de energía; transición de la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles a recursos renovables con el fin de cargar los vehículos eléctricos; y reutilización, reciclaje y eliminación segura de las baterías de los vehículos eléctricos (KM 13.4; Capítulo 17).

La pandemia del COVID-19 redujo brevemente las emisiones de GHG del sector del transporte, pero las emisiones han recuperado principalmente los niveles anteriores a la pandemia (KM 13.3; enfoque en eventos compuestos; enfoque en el COVID-19 y cambio climático)<sup>13,14,15,16</sup>. En la actualidad, los automóviles de pasajeros son los que más contribuyen a las emisiones del transporte; sin embargo, se espera que aumente la proporción de emisiones procedentes de camiones pesados y de fuentes que no son de carretera (p. ej., trenes, aviones y barcos) debido al aumento de la demanda (Capítulo 10). Los camiones pesados y los

vehículos que no son de carretera utilizan combustibles más contaminantes o que podrían causar mayores emisiones de GHG en comparación con los automóviles de pasajeros (p. ej., diésel y combustible para aviones)<sup>17,18</sup>. El aumento de la dependencia del transporte de mercancías en camiones pesados podría contrarrestar cualquier mejora en la eficiencia del combustible, lo que provocaría un aumento neto de las emisiones de GHG de aquí a 2050<sup>18</sup>. Sin embargo, los costos de los vehículos pesados de cero emisiones están cambiando rápidamente<sup>19</sup>.

Del mismo modo, el sector de la aviación podría registrar un aumento del 50 % en el uso de combustible entre 2020 y 2050 debido al creciente número de vuelos, incluso con tecnologías avanzadas de motores<sup>17</sup>. Por ejemplo, el Gran Desafío del Combustible de Aviación Sostenible (Sustainable Aviation Fuel, SAF) del gobierno federal reúne los esfuerzos del Departamento de Energía, del Departamento de Transporte (Department of Transportation, DOT), del Departamento de Agricultura y de otras agencias federales para reducir el costo, mejorar la sostenibilidad y expandir la producción de SAF. Este esfuerzo pretende producir SAF que logre una reducción mínima del 50 % en las emisiones de GHG del ciclo de vida en comparación con los combustibles convencionales y tiene como meta a largo plazo suministrar suficiente SAF para satisfacer el 100 % de la demanda de combustible de aviación en 2050<sup>20</sup>. Los esfuerzos de reducción de emisiones tienen en cuenta tanto las emisiones de GHG de CO<sub>2</sub> y de gases distintos al CO<sub>2</sub><sup>17</sup>.

El cambio climático y los eventos meteorológicos extremos impactan negativamente en los activos de transporte y en la seguridad de las personas, lo que a menudo afecta de manera desproporcionada las poblaciones socialmente vulnerables (p. ej., EPA 2021<sup>21</sup>). Entre los ejemplos de eventos meteorológicos extremos que causaron impactos significativos relacionados con el transporte solo en 2021 se incluyen los flujos de escombros y las inundaciones después de los incendios forestales de California, la tormenta de invierno en Texas y los huracanes Elsa, Florence e Ida, que causaron varias muertes y miles de millones de dólares en daños en la costa este y Louisiana<sup>22</sup>.

Las estrategias que incorporan datos climáticos e impactos futuros proyectados en los análisis para apoyar toda la gama de procesos de transporte (planificación y gestión de activos a lo largo de sus ciclos de vida para incluir consideraciones de diseño, construcción, operaciones, mantenimiento y necesidades de los usuarios) tienen el potencial de reducir riesgos y costos a largo plazo (Capítulo 31; Figuras 31.5, 22.15; KM 12.2). La falta de adaptación de la red de transporte a los impactos del cambio climático podría resultar costosa (p. ej., Chinowsky *et al.* 2013<sup>23</sup>; Schweikert *et al.* 2015<sup>24</sup>; Neumann *et al.* 2021<sup>25</sup>). En particular, se espera que los cambios proyectados en la temperatura y las precipitaciones, el aumento del nivel del mar, el aumento o disminución del nivel de las aguas continentales y las marejadas ciclónicas afecten significativamente vías férreas, carreteras, puertos, aeropuertos y otras propiedades ribereñas y costeras relacionadas con el transporte en Estados Unidos (Capítulo 12). Los planificadores del transporte utilizan cada vez más marcos y herramientas analíticas para comprender las vulnerabilidades de sus redes en la búsqueda de un futuro más resiliente (Tabla 13.1), aunque el enfoque de la adaptación climática y la resiliencia en el transporte varía mucho de una región a otra y de un estado a otro (KM 26.5)<sup>26,27,28</sup>.



**Tabla 13.1. Vulnerabilidades climáticas y del transporte**

LEYENDA: Se muestra una selección de riesgos climáticos y las vulnerabilidades del transporte resultantes. Las columnas muestran los riesgos climáticos seleccionados y las filas muestran los sistemas de transporte individuales y los impactos asociados sobre ellos. En algunos casos, se incluyen posibles adaptaciones a las vulnerabilidades. Las celdas con pocas viñetas representan la escasez de investigación y no la falta de impacto o vulnerabilidad ante los riesgos climáticos.

Modo de transporte	Temperaturas extremas	Tormentas	Sequía	Fuego
<b>Transporte activo (a pie y en bicicleta)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de transporte activo a vehículo o transporte público<sup>29</sup>.</li> <li>• Impactos negativos para la salud de peatones y ciclistas (KM 15.1)<sup>29</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de transporte activo a vehículo o transporte público<sup>30</sup>.</li> <li>• Obstrucciones y daños a las infraestructuras<sup>30</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos adversos para la salud de peatones y ciclistas debido a la degradación de la calidad del aire<sup>31</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio del transporte activo a vehículo o transporte público<sup>32</sup>.</li> <li>• Reducción del transporte activo debido a problemas de salud a corto y largo plazos<sup>32</sup>.</li> </ul>
<b>Aviación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños en las pistas por el calor y el descongelamiento del permafrost<sup>33,34</sup>.</li> <li>• Horarios de vuelo modificados<sup>35</sup>.</li> <li>• Aumento de la actividad de los insectos y probabilidad de colisión con aves<sup>36,37,38</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intrusión de agua en el aeropuerto costero<sup>34,39</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hundimiento del suelo<sup>40</sup>.</li> <li>• Mayor riesgo de tormentas de polvo<sup>41</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento del riesgo de inundaciones debido a la pérdida de vegetación que cubre el suelo<sup>42</sup>.</li> </ul>
<b>Carreteras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrietamiento, deformación y formación de surcos por el calor y el descongelamiento del permafrost<sup>34,40</sup>.</li> <li>• Condiciones de trabajo inseguras (KM 15.1)<sup>33</sup>.</li> <li>• Mayor frecuencia de mantenimiento<sup>43,44,45</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños por inundaciones, erosión, suelos saturados y aumento del nivel del mar (Capítulo 9)<sup>34,40,43</sup>.</li> <li>• Mayor riesgo de deslizamientos de tierra<sup>43</sup>.</li> <li>• Ciclo de vida reducido por escorrentías repetidas<sup>46</sup>.</li> <li>• Vías de circulación y rutas de autobús bloqueadas o desviadas debido a las inundaciones<sup>28</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la integridad del pavimento debido a hundimientos, suelos colapsables y aumento del bombeo de aguas subterráneas<sup>40,43</sup>.</li> <li>• Reducción de la estabilidad de los taludes debido a la disminución de la absorción de la siembra al borde de la carretera<sup>47</sup>.</li> <li>• Mantenimiento de emergencia de puentes<sup>48</sup>.</li> <li>• Reducción de la visibilidad y aumento de los cierres por tormentas de polvo<sup>41</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre de carreteras y visibilidad reducida<sup>40</sup>.</li> <li>• Obstrucciones y flujos de escombros (KM 6.1)<sup>49</sup>.</li> <li>• Mayor probabilidad de escorrentía<sup>26,43</sup>.</li> <li>• Reducción de la estabilidad de la ladera debido a la cicatriz quemada<sup>50</sup>.</li> </ul>

<b>Ferrocarril</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pandeo de carriles (KM 5.1)<sup>34,40</sup>.</li> <li>• Velocidad reducida de los trenes<sup>51</sup>.</li> <li>• Hundimiento de la línea catenaria<sup>52</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundación de puentes, túneles y vías bajas<sup>33,34</sup>.</li> <li>• Daños por deslizamientos de tierra<sup>52</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la estabilidad del suelo que afectan la geometría y la integridad de la vía<sup>53</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos dañados<sup>54</sup>.</li> <li>• Interrupción y desvío del sistema<sup>54</sup>.</li> </ul>
<b>Tuberías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños estructurales debido al descongelamiento del permafrost (KM 5.1)<sup>55</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de drenaje sobrecargados<sup>40</sup>.</li> <li>• Desplazamiento, exposición y fractura de tuberías debido a fuertes precipitaciones<sup>34</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruptura de tuberías por hundimiento del suelo<sup>34</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicidad inducida por el fuego en los sistemas de agua de plástico<sup>56</sup>.</li> <li>• Tuberías debilitadas por el aumento de la escorrentía y los flujos de escombros<sup>57</sup>.</li> </ul>
<b>Fluvial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de los problemas de acumulación de hielo y mayor acceso a los puertos (Capítulo 10)<sup>34</sup>.</li> <li>• Temporadas de navegación más largas<sup>34</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños en los puertos por el aumento de marejadas ciclónicas y mareas<sup>34</sup>.</li> <li>• Crecida del río<sup>34</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la capacidad de carga de los buques debido al descenso del nivel del agua<sup>34</sup>.</li> <li>• Transporte fluvial interrumpido debido a caudales fluviales inconsistentes (Capítulos 22, 24)<sup>33,34</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupción de las operaciones portuarias debido a perturbaciones en la electricidad y la cadena de suministro<sup>58,59</sup>.</li> </ul>

Las herramientas y directrices ayudan a las organizaciones a planificar los impactos del cambio climático, aunque cada agencia debe tomar la iniciativa de utilizarlas y cuestionar los supuestos de planificación existentes. Algunos ejemplos son el Marco de Evaluación de la Vulnerabilidad y Adaptación de la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA)<sup>27</sup> que puede ayudar a las agencias de transporte a evaluar la vulnerabilidad de sus infraestructuras a los impactos climáticos y meteorológicos extremos. Otra es la Herramienta de Evaluación de la Vulnerabilidad del Departamento de Transporte de Estados Unidos<sup>60</sup>, diseñada para ayudar a los planificadores del transporte a realizar un análisis cuantitativo basado en indicadores de la vulnerabilidad de los sistemas de transporte a los factores climáticos como el aumento del nivel del mar, los cambios en las precipitaciones y el aumento de las temperaturas. Un estudio realizado en 2021 por el Consejo de Investigación del Transporte proporcionó un marco de apoyo a la toma de decisiones basado en el riesgo para fundamentar los métodos cuantitativos de medición de los beneficios de la resiliencia<sup>61</sup>. Otras investigaciones podrían ayudar a modelar el deterioro y la vulnerabilidad de los activos. Sin embargo, los estudios piloto del DOT de Colorado y de los DOT de Utah siguieron marcos similares basados en el riesgo<sup>61</sup>.

La FHWA ha desplegado múltiples esfuerzos de resiliencia climática, incluido el Programa Piloto de Resiliencia y Durabilidad ante Condiciones Meteorológicas Extremas para asociarse con departamentos estatales de transporte, organizaciones de planificación metropolitana y otros entes con la meta de evaluar la vulnerabilidad de los activos de transporte regionales ante eventos meteorológicos extremos<sup>62</sup>. La Organización de Planificación Metropolitana de Houston–Galveston participó en este programa piloto y descubrió que el 13 % de las millas de autopistas y el 12 % de las millas de carreteras principales eran muy vulnerables a inundaciones, marejadas ciclónicas y el aumento del nivel del mar<sup>63</sup>.

El programa piloto de la FHWA incluía también la región de tres condados de la bahía de Tampa en Florida, una de las zonas del país más vulnerables a las inundaciones, con tormentas frecuentes e inundaciones persistentes. La Organización de Planificación Metropolitana del Condado de Hillsborough descubrió que, si se tiene en cuenta el aumento del nivel del mar proyectado para un futuro próximo, el 25 % de las principales carreteras de la región podrían verse afectadas por un huracán de categoría 3<sup>64</sup>.

Varios departamentos estatales de transporte han utilizado algunos o parte de estos marcos para realizar evaluaciones detalladas de la vulnerabilidad y conocer el estado de sus activos y los riesgos derivados de las amenazas climáticas. Estos esfuerzos también pueden estar impulsados por la legislación estatal, como en California y Nueva York<sup>65,66</sup>, por enfoques ascendentes en agencias estatales y locales individuales. El Departamento de Transporte de California (California Department of Transportation, Caltrans) descubrió que el 20 % de los puentes, el 19 % de las alcantarillas grandes, el 20 % de las alcantarillas pequeñas y el 18 % de los segmentos de carretera evaluados y manejados por ellos se encontraban en la categoría de mayor riesgo. Esto indica que una gran proporción de la infraestructura de Caltrans corre el riesgo de sufrir daños o destrucción debido al aumento de las marejadas ciclónicas, las inundaciones extremas, la erosión de los acantilados, las temperaturas extremas y los efectos de los incendios forestales<sup>43,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78</sup>. California ha mapeado recientemente las infraestructuras de transporte costero vulnerables a un aumento de 3 pies del nivel del mar en Los Ángeles y San Francisco y está considerando una serie de estrategias de adaptación, incluidas soluciones basadas en la naturaleza (Capítulos 9, 28). Otros estados (como Washington, Tennessee y Maryland) y autoridades subnacionales han realizado esfuerzos similares.

Numerosas agencias y organizaciones de todo el país también han emprendido iniciativas para abordar los impactos del clima en diversos sistemas de transporte. Aunque muchos de ellos se encuentran aún en las fases iniciales de desarrollo, existen oportunidades para mejorar las lecciones que las agencias estatales y locales han aprendido de los programas piloto a nivel local (Capítulo 12)<sup>17,28,79</sup>.

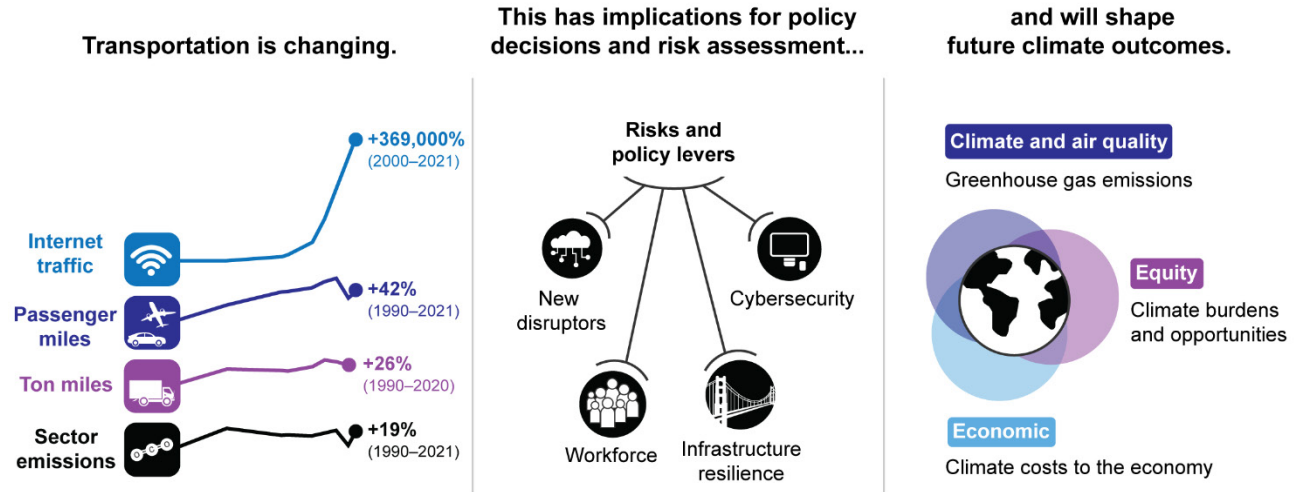
### Mensaje clave 13.2

#### El cambio climático combinado con otros elementos de perturbación exige nuevos marcos y competencias

Las acciones climáticas brindan la oportunidad de abordar elementos de perturbación concurrentes, lo que incluye integración de la cibertecnología, desafíos que plantea el estado de los activos existentes y evolución de la mano de obra (*confianza media*). El cambio climático ha acelerado la transición hacia el uso de enfoques más avanzados, incluidas tecnologías actualizadas, herramientas y mejores prácticas (*confianza alta*). Se necesita más contratación y formación de la mano de obra del sector para abordar de manera efectiva estos desafíos fundamentales (*confianza alta*).

Avanzar hacia un sistema de transporte descarbonizado, adaptado al clima y resiliente puede ser algo más que una simple respuesta a la crisis climática. El sector del transporte del siglo XXI está experimentando una rápida transformación. La integración de la cibertecnología y los avances en vehículos autónomos y conectados están cambiando la naturaleza de lo que son los sistemas de transporte y su funcionamiento. El futuro del transporte es un panorama complejo, integrado y cambiante, marcado por una gran incertidumbre<sup>80</sup>. Se enfrenta a desafíos sin precedentes provenientes de varias fuentes: el COVID-19; el crecimiento de nuevas tecnologías, modelos de negocio y oportunidades; un cambio masivo hacia la electrificación; un sector logístico en transformación<sup>81,82</sup>; e importantes desafíos de mano de obra, diversidad e inclusión. Las vulnerabilidades cibernéticas plantean un profundo desafío a la industria del transporte<sup>83,84,85</sup> y las comunidades, así como riesgos para la seguridad nacional. La Figura 13.2 ilustra la compleja relación entre el sector del transporte, las decisiones políticas, la evaluación de riesgos y los futuros resultados climáticos. Las decisiones que se tomen actualmente sobre el sistema de transporte tienen implicaciones a largo plazo para las emisiones de GHG y la adaptación al clima. Las nuevas herramientas y la formación tienen el potencial de ayudar a navegar por las alteración y adaptación climáticas.

## Futuro del transporte

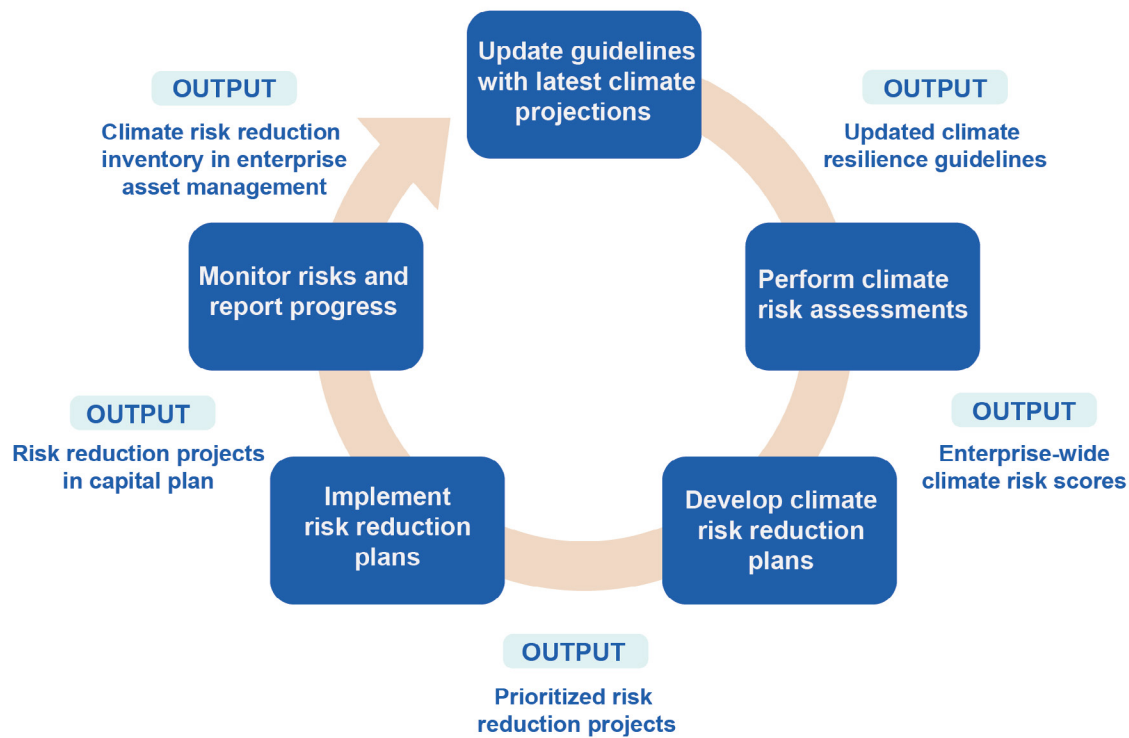


**Los cambios en el panorama del transporte y la forma en que respondamos a ellos determinarán los futuros resultados climáticos.**

**Figura 13.2.** La forma en que se trasladan las personas, los bienes y los servicios ha cambiado desde 1990, especialmente con el espectacular aumento del tráfico por internet. Estos cambios crean nuevos desafíos como impactos en la ciberseguridad y, unidos a los desafíos de la mano de obra y de la resiliencia de las infraestructuras, están aumentando las decisiones políticas en materia de transporte. Estas decisiones determinarán los futuros resultados climáticos. Créditos de la figura: Open Society Foundations, Introducing Youth to American Infrastructure Inc., NOAA NCEI y CISESS NC.

Están surgiendo marcos para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a incorporar la incertidumbre climática a la planificación de infraestructuras<sup>86</sup>. Utilizando los datos disponibles y las herramientas proporcionadas por los avances tecnológicos en otros sectores, como informática, sensores, cibertecnología y estadística, agencias públicas y compañías privadas están creando una mayor conciencia y, en muchos casos, tomando medidas para abordar la incertidumbre provocada por el cambio climático sobre el uso y la vida útil previstos de los sistemas de transporte y sobre el diseño, la construcción, las operaciones y el mantenimiento de infraestructuras relacionadas con el transporte (Figura 13.3).

## Ciclo de planificación de la resiliencia



### Mejorar la resiliencia del transporte requiere un enfoque iterativo.

**Figura 13.3.** Este concepto demuestra un posible enfoque iterativo de la planificación, la inversión y la creación de resiliencia climática en el sector del transporte, empezando por 1) integración de proyecciones climáticas actualizadas en directrices y flujos de trabajo; y seguido de 2) evaluación de los riesgos relacionados con el cambio climático; 3) priorización de las inversiones y estrategias de mitigación de riesgos climáticos; 4) implementación de las estrategias priorizadas; y 5) seguimiento y notificación continuos de los avances; para culminar con actualizaciones de los datos de gestión de activos empresariales (enterprise asset management, EAM), la base para el siguiente ciclo de resiliencia. Este proceso se sustenta en una sólida política de resiliencia climática. Este enfoque está concebido para garantizar que la búsqueda de la resiliencia sea continua, adaptable y a la vez pertinente en lo inmediato y centrada en el futuro. Créditos de la figura: Port Authority of New York and New Jersey.

La integración de los datos climáticos en la ciencia de la ingeniería es una práctica emergente<sup>26,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98</sup>. Los avances en las herramientas utilizadas para la planificación, el diseño y la construcción de proyectos de transporte e infraestructuras están cambiando aún más el estado de la práctica<sup>92,95,99,100,101,102,103</sup>. Los resultados de varios años de investigación sobre el clima están empezando a llegar a la programación y ejecución de proyectos de transporte. La planificación de la adaptación está empezando a reconocer los desafíos y las oportunidades de los elementos de perturbación concurrentes. Por ejemplo, aprovechando sensores de calor y calidad del aire de bajo costo y redes de comunicación cada vez más accesibles, los investigadores están demostrando la capacidad de informar a los usuarios de movilidad activa de los lugares de alta exposición<sup>104</sup>. Los responsables de la toma de decisiones que se enfrentan a la evacuación de grandes grupos de personas en situaciones extremas pueden considerar el uso de vehículos eléctricos (electric vehicles, EV) o de flotas no tradicionales. Por ejemplo, se está intentando utilizar EV para suministrar energía a los edificios durante los apagones<sup>105,106</sup>. Los sensores que pueden detectar riesgos climáticos como inundaciones y comunicar los riesgos al público, o que pueden integrarse en los sistemas de transporte inteligentes existentes, están avanzando rápidamente<sup>107</sup>.



Planificar la adaptación al mismo tiempo que otros elementos de perturbación también exigirá nuevas capacidades de los trabajadores. El sector del transporte se enfrenta a una cantidad de desafíos relacionados con la mano de obra, lo que incluye envejecimiento, altas tasas de jubilación, problemas de retención y escasez en toda la industria de puestos de trabajo esenciales específicos; la persistente subrepresentación de mujeres y personas de color; los retos de concienciación e imagen profesional que afectan la atracción y contratación de nuevos empleados; y los importantes impactos tecnológicos que requieren mayor formación y educación relacionadas con la mayor adopción de vehículos eléctricos, riesgos de la tecnología de la información/ciberseguridad y crecientes avances en inteligencia artificial, robótica, vehículos autónomos y conectados<sup>108</sup>. A medida que más empleados adquieran las competencias necesarias para hacer frente a los riesgos climáticos, el sector estará mejor posicionado para aumentar su resiliencia<sup>27,109,110,111</sup>. El sector del transporte puede definir las competencias necesarias para su futura mano de obra y colaborar con programas educativos (incluidas universidades, sociedades profesionales y programas de formación continua) para modernizar la formación. Elevar la gestión de los recursos humanos como un elemento importante de la evaluación de riesgos y vulnerabilidades organizacionales contribuirá a garantizar que el desarrollo y la preparación de la mano de obra formen parte integral de los esfuerzos de mitigación y adaptación climática (KM 5.2, 7.3, 11.3, 16.2, 20.6; Capítulo 29). El sector se beneficiaría aún más de “K to gray”, una estrategia múltiple que reconoce la importancia del desarrollo y la preparación de los empleados y la mano de obra a todos los niveles y edades<sup>112</sup>.

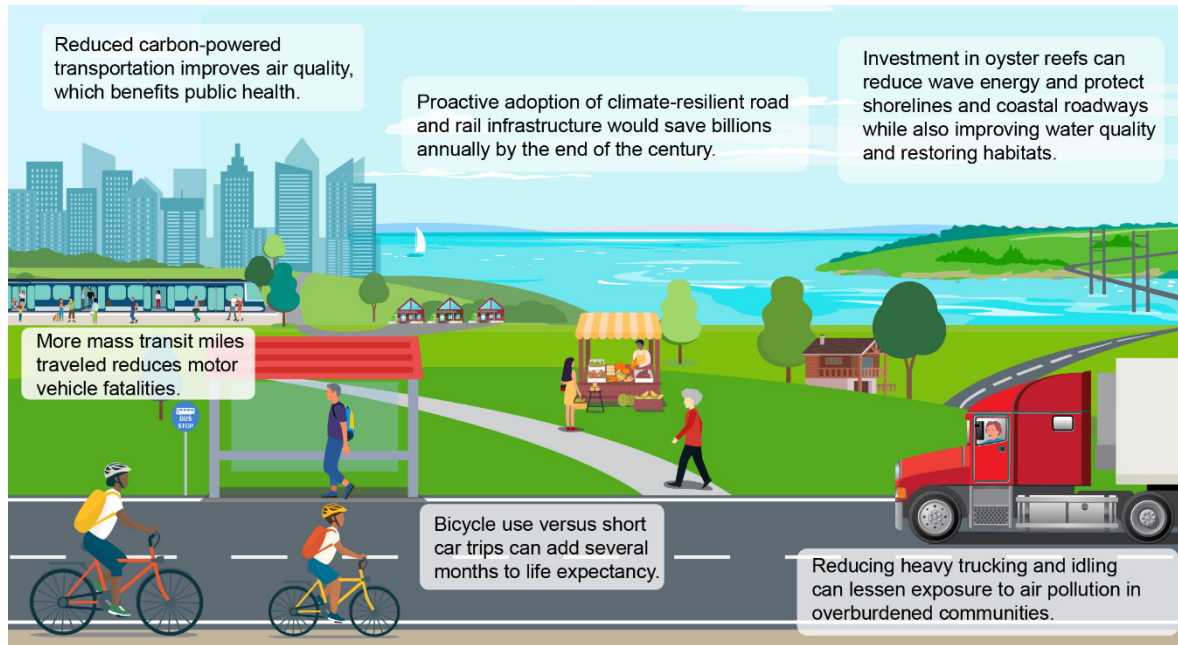
### Mensaje clave 13.3

#### El transporte sostenible produciría beneficios sociales

Un sistema de transporte libre de carbono, sostenible y resiliente tendría beneficios colaterales para la salud humana, la justicia medioambiental, el entorno natural y el desarrollo económico (*confianza muy alta*). Si se tienen en cuenta estos beneficios colaterales, las ventajas de las medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero en el sector del transporte superan con creces los costos (*confianza alta*).

Un sistema de transporte libre de carbono, sostenible y resiliente tendría beneficios sociales más allá de la reducción de los impactos del cambio climático, lo que potencialmente conduciría a mejoras en la calidad del aire, la forma física, la incidencia de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, la salud mental, las tasas de accidentes, la contaminación acústica, la equidad social, los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad, la independencia energética y la economía<sup>113,114</sup>. Si se tienen en cuenta estos beneficios colaterales, los beneficios de las acciones de mitigación de GHG en el sector del transporte superan con creces los costos (Figura 13.4)<sup>115</sup>. Si se tienen en cuenta los impactos para los distintos subgrupos de población, también se puede garantizar que estas acciones mejoren la equidad de salud, medioambiental y social. Estos beneficios sociales colaterales serían especialmente importantes en las zonas urbanas, donde un gran número de personas sufren una elevada contaminación atmosférica, desigualdades de salud, estrés térmico, congestión del tráfico, largos desplazamientos al trabajo y las consecuencias negativas para la salud de un estilo de vida sedentario (Capítulo 12). En contraste con los impactos a largo plazo y a escala planetaria de la reducción de los GHG del sector del transporte, estos beneficios sociales se acumularían de forma inmediata y local, dondequiera que se implementen los cambios en las emisiones del transporte.

## Beneficios colaterales de la mitigación y la resiliencia



**Descarbonizar el transporte podría ahorrar dinero y mejorar la calidad del aire, la equidad social, la salud de las personas y los ecosistemas.**

**Figura 13.4.** La integración de la mitigación y la resiliencia en las políticas de transporte y la planificación a múltiples escalas conduce a mejora de la calidad del aire, mayor acondicionamiento físico gracias al uso de la bicicleta, reducción de la injusticia medioambiental como resultado de la disminución de los camiones pesados y los vehículos al ralentí, ecosistemas más saludables y más oportunidades económicas. Créditos de la figura: George Washington University y Jacobs.

Los beneficios de la resiliencia de las infraestructuras y el transporte también están bien documentados e incluyen mayor fiabilidad; menores costos para los viajeros, la industria y los consumidores, así como para propietarios y operadores de las infraestructuras de transporte; mayor seguridad y mejores resultados en materia de salud para trabajadores y viajeros; y la capacidad de apoyar las evacuaciones (KM 22.3)<sup>116,117,118,119,120</sup>. Sin embargo, se necesitan recursos considerables para garantizar los beneficios continuos y el estado de conservación de los sistemas de transporte sostenibles y resilientes al clima para todas las comunidades<sup>102</sup>.

La reducción de los GHG en el sector del transporte también lograría beneficios colaterales derivados de mejoras en la calidad del aire, la equidad climática y medioambiental y el acondicionamiento físico, así como una menor incidencia de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Figura 13.4; KM 12.3; Capítulos 14, 24, 32), todo lo cual podría contrarrestar algunos impactos del clima sobre la salud humana (Capítulo 15). Dado el elevado costo económico de la contaminación atmosférica en Estados Unidos, el valor monetario de estos beneficios sería considerable<sup>121</sup>. Las emisiones relacionadas con el tráfico contribuyen de forma significativa a los contaminantes atmosféricos, específicamente partículas finas (PM<sub>2.5</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), todos ellos asociados a mayores tasas de enfermedad y muerte<sup>122,123,124,125,126</sup>. Además, la evidencia emergente sugiere que la exposición a niveles elevados de CO<sub>2</sub> en interiores afecta la función cognitiva<sup>127</sup>. La reducción de los niveles de CO<sub>2</sub> del sector del transporte también podría reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en interiores<sup>128</sup>.

La eficiencia del combustible, normas más estrictas sobre las emisiones de los vehículos, reducción del tráfico de vehículos de pasajeros, electrificación de los vehículos, cambio de modo de transporte hacia el transporte público y desplazamientos a pie o en bicicleta generarían beneficios colaterales derivados de la

mejora de la calidad del aire y de la salud. Los estudios de modelación muestran que la electrificación de los vehículos reduce la mortalidad relacionada con las  $PM_{2.5}$  y  $O_3$ , incluso si se tiene en cuenta el aumento de las emisiones derivado de la demanda adicional de energía<sup>129</sup>. Sin embargo, el aumento del consumo de energía derivado de la demanda de electricidad, la extracción de litio y el posible aumento del peso de los vehículos pueden contrarrestar algunas de estas mejoras de la calidad del aire cuando la generación de electricidad procede de la ignición de combustibles fósiles, lo que destaca la importancia de la transición a la generación de electricidad sin combustión, por ejemplo a partir de fuentes de energía renovables (KM 13.4; Capítulo 12).

Los cierres originados por el COVID-19 proporcionaron una oportunidad sin precedentes para examinar cómo la reducción de la actividad de los vehículos de pasajeros (y el aumento del teletrabajo y el uso de la bicicleta) afectaba las emisiones de  $CO_2$  y la contaminación atmosférica. Las emisiones de  $CO_2$  disminuyeron alrededor de un 32 % en abril de 2020, pero repuntaron hasta niveles casi normales en 2021, lo que indica que los cambios en el estilo de vida (como los experimentados durante la pandemia) deben ir acompañados de cambios transformadores en los sistemas de transporte para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de GHG (enfoque en el COVID-19 y cambio climático). En cuanto a la contaminación atmosférica, muchas ciudades experimentaron reducciones drásticas de las emisiones de  $NO_2$ <sup>130,131</sup>, aunque los impactos sobre las  $PM_{2.5}$  y  $O_3$  fueron mucho más variables y dependientes de la ubicación<sup>132</sup>. Debido a que la contaminación atmosférica relacionada con el tráfico se distribuye de forma poco equitativa dentro de las ciudades de los EE. UU.<sup>131,133</sup>, avanzar hacia un sistema de transporte sin emisiones de carbono también favorecería la equidad medioambiental y de salud. Por ejemplo, la desigualdad en la contaminación atmosférica se reduciría mediante electrificación de los vehículos, mejora de la eficiencia del combustible y acciones estructurales para reducir las millas recorridas por vehículos para el traslado de personas y mercancías, como cambiar el diseño de las ciudades y aumentar la dependencia de modos que reducen emisiones, aumentar el uso del transporte público y trasladar las mercancías por ferrocarril en vez de por carretera (Capítulo 12). Caminar o ir en bicicleta en vez de conducir mejora el acondicionamiento físico y la salud en general<sup>115,134,135,136</sup>, además podrían tomarse medidas para garantizar que el acceso seguro a estos modos de transporte activo esté disponible de forma equitativa para todos los grupos sociales. El transporte activo y más tiempo en entornos naturales también tienen beneficios para la salud mental, como la mejora de la función cognitiva y el bienestar<sup>137</sup>. La reducción del tráfico de vehículos también provoca menos colisiones y lesiones<sup>115</sup>.

En los años recientes se han desarrollado varias herramientas de apoyo a la toma de decisiones para cuantificar y valorar los múltiples beneficios de las acciones que reducen las emisiones de GHG del transporte, entre ellas el Modelo Integrado de Transporte e Impacto en la Salud<sup>138</sup> y la Herramienta de Evaluación Económica de la Salud para los desplazamientos a pie y en bicicleta<sup>139</sup>. La integración de los beneficios colaterales en las políticas de transporte y la planificación a múltiples escalas (p. ej., vecinal, urbana y nacional) puede crear un atractivo adicional para reducir las emisiones de GHG del sector del transporte tanto para los responsables de la toma de decisiones como para el público. Los mensajes clave 13.1 y 13.2 proporcionan un contexto sobre cómo considerar las incertidumbres en estas decisiones.

**Mensaje clave 13.4.****La distribución equitativa de los beneficios y concesiones mutuas del transporte requiere la participación de la comunidad**

Aunque la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el sector del transporte producirá beneficios y beneficios colaterales esenciales, incluida la solución de las desigualdades existentes, se hacen necesarias consideraciones adicionales para evitar o reducir las posibles consecuencias adversas asociadas a estas medidas (*confianza alta*). Para avanzar hacia la resiliencia climática y la justicia medioambiental es necesario que estas consideraciones, así como las desigualdades actuales e históricas, se evalúen mediante procesos transparentes e inclusivos con el fin de proporcionar una protección equitativa frente a los peligros medioambientales y de salud y un acceso equitativo a los beneficios del transporte (*confianza alta*).

La necesidad de mitigación y adaptación climática ha creado la oportunidad de replantearse los sistemas de transporte y el uso de la tierra a todos los niveles. Aun así, estas transformaciones (o las decisiones de mantener el *statu quo*) pueden incluir algunos riesgos, ya que los beneficios algunas veces van acompañados de impactos adversos o inciertos (KM 13.2; Capítulo 12). Las acciones políticas y normativas en Estados Unidos se basan generalmente en el compromiso entre una variedad de intereses, lo que puede ocasionar concesiones mutuas que no alcancen las acciones idealizadas de mitigación o adaptación climática. Para avanzar hacia una resiliencia climática equitativa y hacia la justicia medioambiental a través de una transición justa es necesario que la consideración de estas concesiones mutuas se aborde a través de la plena participación de las comunidades pertinentes (Capítulos 16, 31; KM 22,3)<sup>140</sup>. La justicia medioambiental también exige que las concesiones mutuas se gestionen de forma que se tenga en cuenta la autodeterminación de la comunidad<sup>141,142</sup>, así como las necesidades de las comunidades afectadas por las infraestructuras de transporte y los impactos del entorno construido existente o que actualmente carecen de servicios de transporte fiables, sostenibles y asequibles (Figura 13.5; Capítulos 11, 17)<sup>106,143,144</sup>.

La adopción de fuentes de energía alternativas para reducir las emisiones del transporte procedentes de combustibles fósiles tiene un enorme potencial de reducción directa de los GHG y de la contaminación atmosférica, así como oportunidades para una transición justa, pero también incluye posibles riesgos o concesiones mutuas. Por ejemplo, la producción de baterías para vehículos eléctricos requiere grandes cantidades de litio, níquel, cobre, tantalio y otros minerales. La extracción de estas materias primas puede provocar degradación del medio ambiente, daños a la salud pública o desplazamiento de las comunidades cercanas, así como impactos culturales, incluida la pérdida de espacios sagrados<sup>145,146</sup>. Los riesgos potenciales asociados a la adopción de fuentes de energía alternativas deben considerarse en el contexto de las concesiones mutuas actuales relacionadas con las fuentes de energía existentes, incluidos los efectos bien documentados sobre el medio ambiente y el cambio climático global, los impactos adversos sobre la salud humana derivados del uso de vehículos con motor de combustión interna y centrales eléctricas de energía fósil (KM 5.2, 12.2). La ubicación de las instalaciones de generación de energía, incluidas las energías renovables a escala comercial, puede tener impactos similares. Los expertos también han señalado que las baterías y los componentes electrónicos usados plantean el problema —y la oportunidad— de la reutilización, el reciclaje y la eliminación<sup>147</sup>, lo cual los investigadores están tratando de resolver. Los cambios en la fuente de alimentación de los vehículos también pueden afectar la distribución de los cánones de uso de la carretera<sup>148</sup>; las tasas de registro preferentes están diseñadas para señalar la escogencia de una fuente de energía sobre otra. Ambas estrategias de ingresos podrían conllevar concesiones mutuas en el financiamien-

to del transporte. La transición a vehículos de emisiones cero puede ocasionar únicamente reducciones localizadas de la contaminación atmosférica (KM 13.3, 14.5)<sup>149,150</sup>.

### Consideraciones sobre la adaptación climática equitativa y la mitigación de GHG de los sistemas de transporte



**La reducción de las emisiones involucra compromisos que tienen implicaciones en la fiabilidad, la equidad y la calidad medioambiental.**

**Figura 13.5.** Esta figura muestra muchas de las consideraciones en las que pueden surgir riesgos cuando se realizan cambios en los sistemas de transporte. Cada pestaña de la figura representa una posible concesión mutua a todos los demás factores mostrados. Por ejemplo, cambiar los combustibles del transporte o adoptar sistemas de propulsión eléctricos puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos, pero también puede afectar la disponibilidad del transporte (lo que incluye tanto la ubicación geográfica como la asequibilidad) y la fiabilidad en comunidades desatendidas o en comunidades que se adaptan a climas cambiantes. Además, la extracción de materias primas para esas tecnologías puede dañar ecosistemas y paisajes culturales o sagrados. En consecuencia, las decisiones sobre la mitigación y adaptación climática de los sistemas de transporte deben considerarse cuidadosamente a través de las lentes de la justicia medioambiental y la autodeterminación de la comunidad. Créditos de la figura: EPA y University of Idaho.

Las medidas de adaptación al clima conllevan tener en cuenta las concesiones mutuas. Por ejemplo, el desplazamiento de una carretera costera hacia el interior para evitar el aumento del nivel del mar (es decir, retirada controlada) puede no permitir un cambio modal inmediato, pero puede brindar la oportunidad de reconsiderar el tamaño y la capacidad de la carretera además de también permitir la restauración del paisaje a lo largo de la alineación original, como ilustran el proyecto de rediseño de la autopista A1A en Fort Lauderdale (Florida) y el proyecto de realineación de la autopista 1 de Piedras Blancas en San Luis Obispo (California) (Capítulo 9)<sup>151,152</sup>.



En el caso del sistema de transporte de mercancías, también habrá que prestar especial atención a la distribución equitativa de las concesiones mutuas en un marco de cambio climático. Además de cambiar los vehículos y equipos por tecnologías de emisiones más bajas o nulas, existen oportunidades de obtener ahorros energéticos y reducciones de emisiones trasladando el transporte de mercancías de la carretera al ferrocarril o al agua. Será necesario un mayor desarrollo de las infraestructuras para hacer más viable este cambio de modo de transporte.

La modificación de la huella geográfica de los sistemas de transporte de mercancías también plantea concesiones mutuas. Las instalaciones portuarias interiores pueden recibir y gestionar cargas que han sido descargadas de un puerto marítimo situado a cierta distancia y transportadas a través de modos de transporte poco contaminantes (en términos de emisiones de contaminantes atmosféricos y GHG del tubo de escape y del ciclo de vida completo, como locomotoras o camiones eléctricos o híbridos) o modos altamente eficientes (uso de energía por carga y milla, como el ferrocarril) o ambos, con el potencial de aumentar la eficiencia del sistema y reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y GHG y reducir la exposición a contaminantes atmosféricos en las comunidades cercanas a los puertos marítimos<sup>153</sup>. Sin embargo, las personas que viven cerca de esas instalaciones de transporte interior de mercancías podrían, a su vez, experimentar un aumento del tráfico, de la contaminación atmosférica y de los daños medioambientales, lo que crea o agrava la injusticia medioambiental. Las metodologías de inventario de emisiones pueden ayudar a cuantificar estos impactos y permitir a las comunidades afectadas y a los responsables de la toma de decisiones desarrollar estrategias de reducción de emisiones de diferentes actividades o tipos de equipos (enfoque en riesgos de las cadenas de suministro)<sup>154,155</sup>.

También están quedando claras las concesiones mutuas relacionadas con la mano de obra del transporte de mercancías. Por ejemplo, los propietarios-operadores de camiones independientes, que no trabajan para un empleador más grande y son dueños de sus propios camiones, pueden no tener los recursos para comprar y operar vehículos más limpios o tener acceso a una infraestructura adecuada de carga o abastecimiento de combustible<sup>156,157</sup>.

## Cuentas trazables

### *Descripción del proceso*

En la selección del equipo de autores se tuvo en cuenta el equilibrio de género, raza, geografía y tipo de afiliación. Además, en el desarrollo de este capítulo se consideró esencial un enfoque sistémico holístico. Aunque el transporte es la principal fuente de gases de efecto invernadero y contaminación atmosférica, se reconoce que la mitigación de los impactos del cambio climático y el desarrollo de estrategias de adaptación del transporte tienen implicaciones vitales para otros sectores. Por estas razones los autores también fueron seleccionados por su experiencia en entorno construido e infraestructuras, desarrollo de la mano de obra, educación, financiamiento, salud pública, seguridad, experiencia del cliente, diversidad, inclusión y análisis de datos a escala reducida, así como por su conocimiento de los sistemas y recursos mundiales. Se prestó especial atención a la comprensión por parte de los autores de las perspectivas de las comunidades rurales, urbanas pobres, árticas y de las Islas del Pacífico; de los jóvenes; y del Sur Global.

El equipo de autores tenía previsto reunirse todos los miércoles a lo largo del proceso de la Quinta Evaluación Nacional del Clima (Fifth National Climate Assessment, NCA5). Durante esas reuniones, el líder de capítulo (chapter lead, CL) facilitó las reuniones repasando los resultados e hitos esperados en cada fase del proyecto, mitigó cualquier preocupación específica sobre el proceso, invitó a ponentes como personal de la Unidad de Apoyo Técnico (Technical Support Unit, TSU), contribuyentes técnicos según fuera necesario y desarrolló y dio seguimiento de los hitos y resultados esperados. En determinadas semanas no se celebraron reuniones, bien para disponer de tiempo para completar tareas específicas o para que los miembros del equipo de autores consultaran con el personal de la TSU, o bien cuando era necesario evaluar un hito o un producto dentro del equipo del capítulo o con los equipos de otros capítulos. Estas reuniones semanales del equipo también fueron oportunidades para llegar a un consenso.

Al equipo de autores se le asignaron subsecciones en las que trabajar y desarrollar, pero cada miembro del equipo de subsección era libre de trabajar o colaborar, según el caso, con otros equipos de subsección.

El CL y el autor principal de coordinación federal (coordinating lead author, CLA) se reunieron con los líderes de otros capítulos, tomando nota de sus mensajes clave (Key Messages, KM). El CL proporcionó una visión general de estos KM al equipo de autores del capítulo de Transporte para ayudar a dar forma al desarrollo de cada uno de ellos y su narrativa de apoyo, figuras y tablas (cuando era apropiado). El CLA confirmó con el CLA de otros capítulos que las afirmaciones realizadas en el capítulo de Transporte podían verse reforzadas por las valoraciones realizadas por otros capítulos y viceversa.

El equipo de autores celebró una reunión pública en febrero de 2022 después de la presentación del Borrador Cero de la Resolución con dos sesiones plenarias y tres sesiones de trabajo. En estas reuniones se recibieron aportes del público en general. Se celebraron reuniones adicionales con jóvenes interesados en participar en el proceso de la NCA5. Transporte y otros capítulos hicieron una presentación y se unieron a las salas de descanso donde se respondieron las preguntas. El público y las Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, NASEM) enviaron comentarios adicionales sobre el Borrador de la Tercera Resolución.

Estos comentarios públicos y de las NASEM se asignaron individualmente a los autores de los capítulos que mejor podían ofrecer un borrador de respuesta. El equipo de autores revisó los borradores de respuestas y los finalizó por consenso. El editor de revisión del capítulo aportó sus comentarios sobre estas respuestas y se adoptó una respuesta final. El capítulo se revisó de acuerdo con las respuestas finales a los comentarios del público y de las NASEM.

## Mensaje clave 13.1

### Limitar las emisiones del sector del transporte e integrar las proyecciones climáticas puede reducir los riesgos

#### Descripción de la base de evidencia

Existe evidencia significativa y cada vez más numerosa de las emisiones de gases de efecto invernadero (greenhouse gas, GHG) del sector del transporte y de cómo esas emisiones podrían cambiar en el futuro. El Inventario de Emisiones y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero de Estados Unidos de la EPA ofrece una estimación anual de las emisiones de GHG del sector del transporte<sup>1</sup>. Los escenarios que describen los cambios en las emisiones de este sector en el futuro difieren con base en las suposiciones sobre la tecnología, el sistema de propulsión, la demanda y otras variables<sup>1,2,3,5,6</sup>. La literatura se centra a menudo en la identificación de una confluencia de variables necesarias para alcanzar las metas de reducción de GHG. La adopción de vehículos eléctricos (electric vehicle, EV), incluida la intensidad de GHG de la recarga y el desarrollo de vehículos de celdas de combustible se han convertido en ricos campos de estudio<sup>7</sup>. Los costos de descarbonización de los vehículos pesados están disminuyendo, pero el aumento de las millas recorridas por los camiones podría contrarrestar los beneficios<sup>18,19</sup>. Los pronósticos de la aviación suelen contrastar las ganancias en ahorro de combustible con los cambios en la demanda<sup>17</sup>.

La literatura y las evidencia sobre el impacto de los riesgos climáticos en las infraestructuras y operaciones de transporte están creciendo rápidamente. Por lo general, la literatura trata de las vulnerabilidades de los sistemas o de los costos de adaptación<sup>23,40</sup>. Estos costos de las medidas de adaptación y mitigación varían de un país a otro y de acuerdo con la escala de las acciones, no son objeto de un seguimiento consistente a lo largo de la vida de una política o programa y tienden a ser objeto de seguimiento únicamente en cada fase de la iniciativa. También existe un conjunto creciente de marcos de riesgo, vulnerabilidad y resiliencia para los sistemas de transporte, y no ha surgido un consenso claro sobre los pasos precisos necesarios para proteger los sistemas de transporte frente a la incertidumbre asociada a las amenazas climáticas<sup>61</sup>.

En cuanto a la incorporación de los cambios observados y proyectados en el clima a los criterios de diseño de los sistemas de infraestructuras, existe una base de evidencia pequeña pero creciente. Aunque se pueden poner en práctica en infraestructuras de transporte, la mayoría de los trabajos en este ámbito se refieren a las infraestructuras en general.

#### Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Las perspectivas a largo plazo y la extrapolación de las tendencias de las emisiones de GHG del transporte, especialmente teniendo en cuenta las perturbaciones de la cadena de suministro derivadas del COVID-19, son muy inciertas<sup>15,16</sup>. Aunque las cuotas de mercado de los EV están creciendo, todavía representan una pequeña fracción de la flota de vehículos ligeros y una fracción aún menor de la flota de vehículos pesados<sup>7</sup>. El modo en que la adopción de los EV y el desarrollo y la adopción de los vehículos de celdas de combustible, en combinación con otros factores, se traduzcan en futuros cambios de las emisiones de GHG en el sector del transporte es muy incierto.

También existe incertidumbre sobre si la incorporación de nuevos datos, datos mejorados y proyecciones climáticas a la toma de decisiones en el sector del transporte conduce a mejores resultados y de qué manera. La incertidumbre de los datos climáticos localizados, del clima futuro y de la puesta en práctica de los enfoques basados en el riesgo heredados con nuevos paradigmas climáticos ocasionan una imagen poco clara de cómo los datos nuevos y mejorados con nuevos marcos de resiliencia se traducen en una mejor toma de decisiones<sup>40</sup>.

## Descripción de confianza y probabilidad

Hay *confianza muy alta* en que el sector del transporte es el que más contribuye a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero. Así lo corroboran los datos ampliamente revisados, estudiados y verificados sobre desplazamientos de vehículos y emisiones asociadas. También existe *confianza muy alta* en que el sector del transporte se enfrenta a un riesgo cada vez mayor de eventos meteorológicos extremos relacionados con el clima. Los sistemas de transporte son diversos y están presentes en todos los lugares de Estados Unidos, lo que significa que están expuestos a todos los riesgos climáticos. El envejecimiento de los activos y los desafíos de estado de conservación contribuyen a este riesgo. Existe *confianza muy alta* en que las agencias de transporte y las organizaciones de planificación comprenden los posibles impactos climáticos y los están abordando en diversos grados mediante la incorporación de proyecciones climáticas en la planificación, el diseño, las operaciones y el mantenimiento para reducir los riesgos del sector. Artículos revisados por expertos e informes y documentos a disposición del público respaldan los niveles de confianza declarados.

En lo que respecta específicamente a las vulnerabilidades y los impactos, el equipo de autores reconoce que es posible que las agencias no divulguen datos operativos y que, por lo tanto, esta información no esté a disposición del público, salvo en los casos en que dicha información sea útil para respaldar la literatura no oficial. Esas referencias se citaron con pleno conocimiento de que los datos y las estadísticas pueden haberse comunicado sin el contexto completo de la fuente de la información empírica.

## Mensaje clave 13.2

### El cambio climático combinado con otros elementos de perturbación exige nuevos marcos y competencias

#### Descripción de la base de evidencia

Esta evaluación se basa en fuentes públicas disponibles, lo que incluye información federal y estatal; conversaciones con diversos expertos en la materia y contribuyentes técnicos; y una exploración de literatura específica, incluidas algunas fuentes revisadas por expertos. Aunque la literatura revisada por expertos apoya ampliamente la noción de que el sector del transporte se enfrenta a una variedad de cambios emergentes y potencialmente perturbadores<sup>80</sup>, existen pocas fuentes revisadas por expertos que vinculen explícitamente la coordinación de esos desafíos (y soluciones) a la acción climática. La mejor demostración de la aceleración de la toma de decisiones informadas sobre el cambio climático en el sector del transporte es la reciente proliferación de marcos y herramientas para este fin<sup>27,86</sup>, pero la literatura revisada por expertos también respalda esta afirmación<sup>99</sup>. Una amplia literatura no oficial revisada por expertos respalda el debate sobre los desafíos emergentes de la mano de obra del transporte<sup>112</sup> y la correspondiente necesidad de mejorar las cualificaciones y diversificar la demografía de los trabajadores del transporte para abordar estos desafíos.

#### Principales incertidumbres y brechas en la investigación

El mensaje clave 13.2 se centra en las oportunidades y amenazas potenciales derivadas de la convergencia de un clima cambiante, los nuevos elementos de perturbación no climáticos y la rápida transformación simultánea del sector del transporte y su mano de obra, todo lo cual agrava la incertidumbre. En particular, la tasa de adopción de los vehículos eléctricos y la madurez y el despliegue de las tecnologías de vehículos autónomos y conectados son entre moderados y muy inciertos. Además, el sector del transporte no es monolítico, lo que puede reducir la credibilidad de las afirmaciones o conclusiones generales. Existen grandes diferencias entre los distintos modos de transporte y regiones de Estados Unidos, incluidas

notables divergencias entre entornos urbanos, suburbanos y rurales; zonas de relativa riqueza o pobreza; y comunidades históricamente subrepresentadas o sobrecargadas.

Entre las principales brechas de la investigación está la relativa falta de datos públicos suficientemente uniformes, detallados y creíbles (especialmente de los subsectores dominados por operadores privados o en los que los datos operativos de las agencias no están a disposición del público), lo que complica los intentos de tomar decisiones basadas en datos y monitorear los resultados. En relación con esto, en la actualidad existe poco consenso sobre cómo se informa en el sector sobre la sostenibilidad y la resiliencia, así como sobre las metas, el progreso y los resultados en materia de cambio climático.

Por último, la literatura revisada por expertos sobre los posibles beneficios colaterales (o negativos) de coordinar las respuestas a los desafíos relacionados con el clima y los elementos de perturbación no climáticos es relativamente escasa, a pesar de la abundante evidencia anecdótica.

### Descripción de confianza y probabilidad

Debido a la falta de una base sólida de literatura revisada por expertos, a la afirmación de que la acción climática presenta una oportunidad para abordar los elementos perturbadores emergentes no climáticos, se le asigna una *confianza media* basada principalmente en literatura no oficial y opiniones creíbles de expertos. La bien documentada y relativamente reciente proliferación de recursos para apoyar la acción climática deliberada en el sector arroja un nivel de *confianza alta* para la afirmación de que los enfoques y las herramientas están disponibles y se están usando, con la advertencia de que existe poca evidencia de que estas herramientas produzcan resultados procesables o exitosos. Existe *confianza alta* en que se necesita más contratación y formación para garantizar que la mano de obra del sector pueda tener éxito en medio de las rápidas transformaciones climáticas y no climáticas. No se dispone de datos suficientes para respaldar las evaluaciones de probabilidad.

## Mensaje clave 13.3

### El transporte sostenible produciría beneficios sociales

#### Descripción de la base de evidencia

Esta evaluación se basa en artículos de revistas revisados por expertos e informes disponibles públicamente que evalúan múltiples impactos de las medidas adoptadas en el sector del transporte para mitigar las emisiones de carbono y ser más resilientes ante los efectos del cambio climático. La base de evidencia de los beneficios colaterales procede de estudios centrados tanto en la carga social del sistema de transporte actual como en los beneficios sociales que se derivarían de un sistema de transporte menos intensivo en carbono y más resiliente al cambio climático. Esta base de evidencia abarca los impactos del transporte en la salud a través de los accidentes de tráfico, los altos niveles de contaminación atmosférica y acústica, los efectos de isla de calor y la falta de espacios verdes y de actividad física<sup>114</sup>. También trata de cómo el transporte proporciona muchos puestos de trabajo que generan ingresos y mejoran la salud<sup>114</sup>. Estos estudios son multidisciplinarios y varían en sus métodos, incluidos enfoques tanto cuantitativos como cualitativos.

Entre las consecuencias más estudiadas de nuestro actual sistema de transporte están la calidad del aire y los impactos sobre la salud. Un amplio espectro de literatura desarrollada durante décadas demuestra que las emisiones de los vehículos contribuyen a la mala calidad del aire y a una variedad de resultados nocivos para la salud como mortalidad prematura, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias y cáncer de pulmón<sup>122,123,126</sup>. Los estudios también han demostrado que las políticas que reducen las emisiones del sector del transporte, incluida la transición a vehículos de cero emisiones, pueden reducir la incidencia de<sup>124</sup> y la exacerbación del asma<sup>125</sup>. Otros estudios han explorado los posibles beneficios para la salud y la



calidad del aire de políticas hipotéticas, teniendo en cuenta tanto la reducción de las emisiones contaminantes del tubo de escape como el posible aumento de las emisiones procedentes de la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles<sup>129</sup>.

Aunque son menos los estudios que se centran en las otras vías de mejora que se derivarían de las distintas medidas que podrían adoptarse para descarbonizar y mejorar la resiliencia del sistema de transporte, cada vez son más las publicaciones que evalúan los beneficios para el acondicionamiento físico<sup>134,135</sup>, reducción de colisiones y lesiones<sup>115</sup>, mejora de la salud de los trabajadores del transporte<sup>117</sup>, la justicia medioambiental y la equidad en salud<sup>131</sup>. Menos estudios han adoptado una visión holística de muchos beneficios sociales que se acumularían simultáneamente, lo cual es necesario para evaluar de forma exhaustiva las diferentes medidas que podrían adoptarse, desde las normas sobre emisiones del tubo de escape y eficiencia del combustible hasta la reestructuración del sistema de transporte en las ciudades para fomentar el transporte público y los desplazamientos a pie y en bicicleta. Sin embargo, según los estudios, estos beneficios colaterales potenciales pueden motivar la adopción de medidas públicas, privadas y financieras para mitigar los gases de efecto invernadero<sup>113</sup> y pueden compensar los costos de la acción<sup>115</sup>.

### Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Las evaluaciones de beneficios colaterales suelen ser muy específicas de cada contexto, lo que limita la capacidad de extrapolar los resultados a distintas zonas geográficas, poblaciones y acciones, incluidas políticas, programas y proyectos. Los costos de implementación de las medidas de adaptación y mitigación varían de un país a otro y, a menudo, solo se controlan en fases particulares de la iniciativa. Faltan investigaciones que verifiquen los costos y beneficios reales de los programas y proyectos que ya se han puesto en marcha para reducir las emisiones de carbono relacionadas con el transporte y mejorar la resiliencia del sistema de transporte. Algunas calculadoras nacionales realizan este tipo de análisis costo-beneficio. Entre ellos, el Modelo Integrado de Transporte e Impacto en la Salud<sup>138</sup> y la Herramienta de Evaluación Económica de la Salud de los desplazamientos a pie y en bicicleta<sup>139</sup>. Sin embargo, sigue existiendo una brecha en cuanto a la consistencia del verdadero significado de los resultados cuantificados en relación con el sector del transporte, la zona en la que se crean esos programas o proyectos y cómo podrían integrarse esos resultados para obtener una medida precisa de los beneficios más allá de los beneficios colaterales del proyecto. Una brecha importante radica en un seguimiento más holístico del ciclo de vida de los costos a lo largo de la vida del activo o programa.

También hay una falta de investigación que evalúe los beneficios distributivos de políticas, programas, proyectos de mitigación y resiliencia del transporte en diferentes subgrupos de población y comunidades sobrecargadas. Por ejemplo, los estudios revelan que las emisiones de los tubos de escape del transporte contribuyen a las disparidades raciales y socioeconómicas en los niveles de contaminación atmosférica; sin embargo, varias limitaciones técnicas clave dificultan la caracterización completa de las comunidades que podrían experimentar las mayores mejoras en la calidad del aire y los beneficios para la salud asociados a las políticas nacionales, estatales y locales u otras medidas que reduzcan las emisiones de los tubos de escape del transporte. Del mismo modo, es necesario considerar la efectividad de las diferentes acciones de mitigación y adaptación para diferentes lugares y poblaciones, dadas las desigualdades en las opciones de transporte seguras, accesibles y confiables.

### Descripción de confianza y probabilidad

Existe *confianza muy alta* en que las políticas, los programas y los proyectos para reducir las emisiones de carbono relacionadas con el transporte y la transición a un sistema de transporte más resiliente generarían beneficios colaterales de salud, medioambientales y económicos. Esta conclusión se basa en la solidez y consistencia de la literatura revisada por expertos y de los reportes disponibles públicamente que documentan las numerosas mejoras sociales que se derivarían de las acciones para descarbonizar el

sector del transporte y hacerlo más resiliente al cambio climático. A pesar de las brechas en la investigación que limitan nuestra comprensión de los beneficios colaterales de las medidas específicas de mitigación y adaptación tomadas en lugares específicos y de los impactos de estas medidas en la equidad de salud, medioambiental y social, la amplia y multidisciplinar literatura que constata que la mitigación y la mejora de la resiliencia generan numerosos beneficios colaterales para la sociedad proporciona evidencia suficiente para llegar a esta conclusión.

Existe *confianza alta* en que si se tienen en cuenta estos beneficios colaterales, las ventajas de las medidas de mitigación de GHG en el sector del transporte superan con creces los costos. Alguna evidencia sugiere que los posibles beneficios colaterales superan los costos de tomar la acción, sobre todo cuando esta se traduce en una reducción de la mortalidad humana. Sin embargo, el valor de los beneficios colaterales y los costos dependen en gran medida del contexto y del tipo, de la escala y del diseño de la acción que se esté considerando o adoptando.

### Mensaje clave 13.4

## La distribución equitativa de los beneficios y concesiones mutuas del transporte requiere la participación de la comunidad

### Descripción de la base de evidencia

Esta evaluación se basa en artículos de revistas revisadas por expertos e informes gubernamentales. Los impactos medioambientales y sociales de las distintas tecnologías y sistemas de transporte están bien documentados<sup>146</sup>. También se conocen bien las fuentes y ubicaciones específicas de las materias primas para las tecnologías de transporte electrificado, se han analizado en profundidad los impactos medioambientales y comunitarios de las operaciones de minería y extracción en muchos lugares específicos<sup>145</sup>. Las concesiones mutuas de la mitigación del cambio climático y la adaptación en el sector del transporte de mercancías también son bien conocidas, ya que los gobiernos, los operadores de transporte de mercancías y los propietarios de la carga están implementando y analizando simultáneamente acciones en esas áreas y planificando para el futuro, con una amplia documentación de esos procesos<sup>153</sup>. Los beneficios de la participación de la comunidad en los procesos gubernamentales, incluido el sector del transporte, también están ampliamente documentados en la literatura<sup>140</sup>. También está surgiendo la mejor práctica de incluir criterios de equidad e inclusión en el desarrollo y la implementación de las estrategias de transporte<sup>143,144</sup>.

### Principales incertidumbres y brechas en la investigación

Las proyecciones de los impactos medioambientales y sociales específicos del ciclo de vida de las tecnologías y los sistemas de transporte aún no implementados son necesariamente inciertas. Específicamente, los impactos de la extracción de minerales para obtener materias primas para las baterías de los vehículos eléctricos se han analizado ampliamente en los emplazamientos situados en el triángulo del litio de Suramérica; sin embargo, la extracción a gran escala de este tipo de materiales es menos frecuente en los EE. UU., por lo que se han realizado menos análisis de estos impactos<sup>145</sup>. También faltan estudios que analicen los beneficios medioambientales y de GHG del cambio de modo de transporte de mercancías.

### Descripción de confianza y probabilidad

Existe *confianza alta* en que se producirán concesiones mutuas significativas en la implementación de medidas de adaptación y mitigación en el sector del transporte basándose en la solidez y consistencia de la literatura revisada por expertos y los informes disponibles públicamente sobre transiciones medioambientales y energéticas contemporáneas. Existe *confianza alta* en que la justicia medioambiental requiere procesos

transparentes e inclusivos, ya que la literatura y las políticas gubernamentales<sup>141</sup> indican claramente que la igualdad de acceso a los procesos de toma de decisiones es un elemento clave de la justicia medioambiental.

## Referencias

1. EPA, 2023: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2021. EPA 430–R-23–002. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/draft-inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2021>
2. IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Shukla, P.R., J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, and J. Malley, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
3. EIA, 2022: Annual Energy Outlook 2022. U.S. Energy Information Administration, Washington, DC. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/narrative/introduction/sub-topic-02.php>
4. Bertrand, S., 2022: How the Inflation Reduction Act and Bipartisan Infrastructure Law Work Together to Advance Climate Action. Environmental and Energy Study Institute. <https://www.eesi.org/articles/view/how-the-inflation-reduction-act-and-bipartisan-infrastructure-law-work-together-to-advance-climate-action>
5. CARB, 2022: Proposed Advanced Clean Cars II Regulations: All New Passenger Vehicles Sold in California to be Zero Emissions by 2035. California Environmental Protection Agency, California Air Resources Board. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program/advanced-clean-cars-ii>
6. DOE, 2020: SMART Mobility: Multi-Modal Freight Capstone Report. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/08/f77/SMART-MMF\\_Capstone\\_08.03.20.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/08/f77/SMART-MMF_Capstone_08.03.20.pdf)
7. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021: *Assessment of Technologies for Improving Light-Duty Vehicle Fuel Economy—2025–2035*. The National Academies Press, Washington, DC, 468 pp. <https://doi.org/10.17226/26092>
8. FHWA, 2018: The Transportation Planning Process Briefing Book. FHWA–HEP–18–015. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. [https://www.fhwa.dot.gov/planning/publications/briefing\\_book/index.cfm](https://www.fhwa.dot.gov/planning/publications/briefing_book/index.cfm)
9. IEA, 2021: Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency, Paris, France. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
10. Larson, E., C. Greig, J. Jenkins, E. Mayfield, A. Pascale, C. Zhang, J. Drossman, R. Williams, S. Pacala, R. Socolow, E. Baik, R. Birdsey, R. Duke, R. Jones, B. Haley, E. Leslie, K. Paustian, and A. Swan, 2021: Final Report Summary—Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts. Princeton University, Princeton, NJ. <https://netzeroamerica.princeton.edu/the-report>
11. Sperling, D., Lew Fulton, and V. Arroyo, 2020: Ch. 5.2. Accelerating deep decarbonization in the U.S. transportation sector. In: *Zero Carbon Action Plan* 188. Sustainable Development Solutions Network, New York, 188–210. <https://scholarship.law.georgetown.edu/facpub/2318/>
12. Baek, Y., T. Boettner, R. Cleetus, S. Clemmer, C. Esquivia-Zapata, C. Farley, B. Isaac, J. Koepfel, J. Martin, J. McNamara, C. Pinto de Moura, S. Sathia, S. Sattler, M. Unseld, and S. Welton, 2021: A Transformative Climate Action Framework: Putting People at the Center of Our Nation’s Clean Energy Transition. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA, 25 pp. <https://www.ucsusa.org/resources/clean-energy-transformation>
13. BTS, 2022: On Earth Day 2022, BTS Looks at Public Transportation Ridership and Tailpipe Emissions. U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/data-spotlight/earth-day-2022-bts-looks-public-transportation-ridership-and-tailpipe-emissions>
14. Kumar, A., P. Singh, P. Raizada, and C.M. Hussain, 2022: Impact of COVID-19 on greenhouse gases emissions: A critical review. *Science of The Total Environment*, **806**, 150349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150349>
15. Tollefson, J., 2021: Carbon emissions rapidly rebounded following COVID pandemic dip. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03036-x>
16. Tollefson, J., 2021: COVID curbed carbon emissions in 2020—But not by much. *Nature*, **589** (7842), 343. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00090-3>

17. FAA, 2021: United States 2021 Aviation Climate Action Plan. Federal Aviation Administration. [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation\\_Climate\\_Action\\_Plan.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf)
18. ITF, 2018: Is Low-Carbon Road Freight Possible? International Transport Forum, 5 pp. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop24-road-freight.pdf>
19. Ledna, C., M. Muratori, A. Yip, P. Jadun, and C. Hoehne, 2022: Decarbonizing Medium- & Heavy-Duty On-Road Vehicles: Zero-Emission Vehicles Cost Analysis. U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory, 69 pp. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/82081.pdf>
20. DOE, DOT, USDA, and EPA, 2022: SAF Grand Challenge Roadmap: Flight Plan for Sustainable Aviation Fuel. U.S. Department of Energy, U.S. Department of Transportation, U.S. Department of Agriculture, and U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>
21. EPA, 2021: Climate Change and Social Vulnerability in the United States: A Focus on Six Impacts. EPA 430-R-21-003. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/cira/social-vulnerability-report>
22. NCEI, 2022: U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters: Disaster and Risk Mapping. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Centers for Environmental Information. <https://www.ncdc.noaa.gov/billions/mapping>
23. Chinowsky, P.S., J.C. Price, and J.E. Neumann, 2013: Assessment of climate change adaptation costs for the U.S. road network. *Global Environmental Change*, **23** (4), 764–773. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.03.004>
24. Schweikert, A., X. Espinet, S. Goldstein, and P. Chinowsky, 2015: Resilience versus risk: Assessing cost of climate change adaptation to California's transportation system and the city of Sacramento, California. *Transportation Research Record*, **2532** (1), 13–20. <https://doi.org/10.3141/2532-02>
25. Neumann, J.E., P. Chinowsky, J. Helman, M. Black, C. Fant, K. Strzepek, and J. Martinich, 2021: Climate effects on US infrastructure: The economics of adaptation for rail, roads, and coastal development. *Climatic Change*, **167** (3), 44. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03179-w>
26. FHWA, 2017: Synthesis of Approaches for Addressing Resilience in Project Development. FHWA-HEP-17-082. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. [https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing\\_and\\_current\\_research/teacr/synthesis/fhwahep17082.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/ongoing_and_current_research/teacr/synthesis/fhwahep17082.pdf)
27. FHWA, 2017: Vulnerability Assessment and Adaptation Framework, 3rd Edition. FHWA-HEP-18-020. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. [https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/adaptation\\_framework/](https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/adaptation_framework/)
28. FTA, 2014: Transit and Climate Change Adaptation: Synthesis of FTA-Funded Pilot Projects. FTA Report No. 0069. U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration, Washington, DC. [https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA\\_Report\\_No.\\_0069\\_0.pdf](https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/FTA_Report_No._0069_0.pdf)
29. Karner, A., D.M. Hondula, and J.K. Vanos, 2015: Heat exposure during non-motorized travel: Implications for transportation policy under climate change. *Journal of Transport & Health*, **2** (4), 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2015.10.001>
30. Doubleday, A., Y. Choe, S. Miles, and N.A. Errett, 2019: Daily bicycle and pedestrian activity as an indicator of disaster recovery: A Hurricane Harvey case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16** (16), 2836. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162836>
31. NCEH, 2022: Drought and Your Health. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Environmental Health. <https://www.cdc.gov/nceh/features/drought/index.html>
32. Doubleday, A., Y. Choe, T.M. Busch Isaksen, and N.A. Errett, 2021: Urban bike and pedestrian activity impacts from wildfire smoke events in Seattle, WA. *Journal of Transport & Health*, **21**, 101033. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101033>
33. EPA, 2016: Climate Impacts on Transportation. U.S. Environmental Protection Agency. <https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-transportation>
34. Transportation Research Board and National Research Council, 2008: *Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation: Special Report 290*. The National Academies Press, Washington, DC, 296 pp. <https://doi.org/10.17226/12179>



35. Carpenter, B.T., 2019: An overview and analysis of the impacts of extreme heat on the aviation industry. *Pursuit - The Journal of Undergraduate Research at The University of Tennessee*, **9** (1), 2. <https://trace.tennessee.edu/pursuit/vol9/iss1/2>
36. Burger, J., 1983: Bird control at airports. *Environmental Conservation*, **10** (2), 115–124. <http://www.jstor.org/stable/44517477>
37. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2015: *Climate Change Adaptation Planning: Risk Assessment for Airports*. The National Academies Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/23461>
38. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018: *Using Existing Airport Management Systems to Manage Climate Risk*. The National Academies Press, Washington, DC, 64 pp. <https://doi.org/10.17226/25327>
39. Lindbergh, S., Y. Ju, Y. He, J. Radke, and J. Rakas, 2022: Cross-sectoral and multiscale exposure assessment to advance climate adaptation policy: The case of future coastal flooding of California’s airports. *Climate Risk Management*, **38**, 100462. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100462>
40. Markolf, S.A., C. Hoehne, A. Fraser, M.V. Chester, and B.S. Underwood, 2019: Transportation resilience to climate change and extreme weather events—Beyond risk and robustness. *Transport Policy*, **74**, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.11.003>
41. Middleton, N., P. Tozer, and B. Tozer, 2019: Sand and dust storms: Underrated natural hazards. *Disasters*, **43** (2), 390–409. <https://doi.org/10.1111/disa.12320>
42. Phillips, C. and K. Dahl, 2022: *Fire and Water in the Western United States: How Worsening Wildfires Threaten Water Resources in the West*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA. <https://www.ucsusa.org/resources/wildfire-water-western-united-states>
43. Caltrans, 2019: 2019 Climate Change Vulnerability Assessments. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/programs/transportation-planning/division-of-transportation-planning/air-quality-and-climate-change/2019-climate-change-vulnerability-assessments>
44. Mallick, R.B., M.J. Radzicki, J.S. Daniel, and J.M. Jacobs, 2014: Use of system dynamics to understand long-term impact of climate change on pavement performance and maintenance cost. *Transportation Research Record*, **2455** (1), 1–9. <https://doi.org/10.3141/2455-01>
45. Underwood, B.S., Z. Guido, P. Gudipudi, and Y. Feinberg, 2017: Increased costs to US pavement infrastructure from future temperature rise. *Nature Climate Change*, **7**, 704. <https://doi.org/10.1038/nclimate3390>
46. Union of Concerned Scientists, 2019: Testimony of Dr. Kristina Dahl, “The Need for Resilience: Preparing American’s Transportation Infrastructure for Climate Change”. Union of Concerned Scientists, 8 pp. <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2019/07/dahl-written-testimony-transportation-infrastructure-5-21-19.pdf>
47. MNDOT, 2022: Roadside Vegetation Management. Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN. <https://www.dot.state.mn.us/roadsides/vegetation/>
48. Mendez, B., 2022: Staying safe in the heat wave: How we’re protecting city infrastructure and reminders for safe and healthy travel. Seattle Department of Transportation Blog, Seattle, WA. <https://sdotblog.seattle.gov/2022/07/25/staying-safe-in-the-heat-wave-how-were-protecting-city-infrastructure-and-reminders-for-safe-and-healthy-travel/>
49. California Water Science Center, 2018: Post-Fire Flooding and Debris Flow. U.S. Geological Survey. <https://ca.water.usgs.gov/wildfires/wildfires-debris-flow.html>
50. Chester, M.V. and R. Li, 2020: Vulnerability of California Roadways to Post-Wildfire Debris Flow. Report No. UC-ITS-2020-38. University of California, Institute of Transportation Studies. <https://doi.org/10.17610/t60w35>
51. Rowan, E., C. Evans, M. Riley-Gilbert, R. Hyman, R. Kafalenos, B. Beucler, B. Rodehorst, A. Choate, and P. Schultz, 2013: Assessing the sensitivity of transportation assets to extreme weather events and climate change. *Transportation Research Record*, **2326** (1), 16–23. <https://doi.org/10.3141/2326-03>
52. Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority, 2019: Metro Climate Action and Adaptation Plan. Environmental Compliance and Sustainability Department. [https://libraryarchives.metro.net/dpghtl/sustainability/2019-Climate\\_Action\\_Plan.pdf](https://libraryarchives.metro.net/dpghtl/sustainability/2019-Climate_Action_Plan.pdf)

53. Rossetti, M.A., 2003: Potential Impacts of Climate Change on Railroads. U.S. Department of Transportation, Volpe Center, 13 pp. [https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/rossetti\\_CC\\_Impact\\_Railroads.pdf](https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/rossetti_CC_Impact_Railroads.pdf)
54. Chinowsky, P., J. Helman, S. Gulati, J. Neumann, and J. Martinich, 2019: Impacts of climate change on operation of the US rail network. *Transport Policy*, **75**, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.05.007>
55. Williams, P.J., M. Wallis, P. Wadhams, J.A. Dowdeswell, and A.N. Schofield, 1995: Permafrost and climate change: Geotechnical implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, **352** (1699), 347–358. <https://doi.org/10.1098/rsta.1995.0075>
56. Isaacson, K.P., C.R. Proctor, Q.E. Wang, E.Y. Edwards, Y. Noh, A.D. Shah, and A.J. Whelton, 2021: Drinking water contamination from the thermal degradation of plastics: Implications for wildfire and structure fire response. *Environmental Science: Water Research & Technology*, **7** (2), 274–284. <https://doi.org/10.1039/d0ew00836b>
57. Gartner, J.E. and M. Jakob, 2019: Debris-flow risk assessment and mitigation design for pipelines in British Columbia, Canada. In: *7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*. Golden, CO. Colorado School of Mines. <https://doi.org/10.25676/11124/173156>
58. Egan, D., C. Nelson, F. Roberts, A. Rose, A. Tucci, and R. Whytlaw, 2022: Complex economic consequence analysis to protect the maritime infrastructure. In: *2022 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*. 14–15 November 2022, 1–6. <https://doi.org/10.1109/hst56032.2022.10024979>
59. Ma, F., J.Y. Lee, D. Camenzind, and M. Wolcott, 2022: Probabilistic wildfire risk assessment methodology and evaluation of a supply chain network. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, **82**, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103340>
60. DOT, 2015: Vulnerability Assessment Scoring Tool User’s Guide. U.S. Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting, 34 pp. [https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/tools/scoring\\_tools\\_guide/vast\\_users\\_guide.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/tools/scoring_tools_guide/vast_users_guide.pdf)
61. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2021: *Investing in Transportation Resilience: A Framework for Informed Choices*. The National Academies Press, Washington, DC, 156 pp. <https://doi.org/10.17226/26292>
62. FHWA, 2023: Resilience Pilots. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/resilience/pilots/>
63. Houston-Galveston Area Council, 2021: Resilience and Durability to Extreme Weather in the H-GAC Region Pilot Program Report. Houston-Galveston Area Council. <https://www.h-gac.com/getmedia/4a9d1f74-a43c-4279-8f82-f11da502e1e8/h-gac-resiliency-pilot-program-final-report.pdf>
64. Hillsborough County Metropolitan Planning Organization, 2019: Resilient Tampa Bay: Transportation Pilot Program Project. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Tampa, FL. <https://planhillsborough.org/wp-content/uploads/2023/01/Final-TM-HillsboroughMPO-2045LRTP-ResilientTampaBay.pdf>
65. An Act to Amend the Environmental Conservation Law, the Public Service Law, the Public Authorities Law, the Labor Law and the Community Risk and Resiliency Act, in Relation to Establishing the New York State Climate Leadership and Community Protection Act. S. 6599, A. 8429, State of New York, June 18, 2019. <https://legislation.nysenate.gov/pdf/bills/2019/s6599>
66. Resiliency Through Adaptation, Economic Vitality, and Equity Act of 2022. AB1384, Chapter 338, State of California, September 16, 2022. <https://legiscan.com/CA/text/AB1384/id/2424711>
67. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 2. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d2-adaptation-priorities-report-2020-a1ly.pdf>
68. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 3. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d3-adaptation-priorities-report-2020-a1ly.pdf>

69. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 4. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d4-adaptation-priorities-report-2020-v2-a11y.pdf>
70. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 6. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d6-adaptation-priorities-report-2020-a11y.pdf>
71. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 8. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d8-adaptation-priorities-report-2020-a11y.pdf>
72. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 10. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d10-adaptation-priorities-report-2021-a11y.pdf>
73. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 11. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d11-adaptation-priorities-report-2020-a11y.pdf>
74. Caltrans, 2020: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 12. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d12-adaptation-priorities-report-2020-a11y.pdf>
75. Caltrans, 2021: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 1. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d1-adaptation-priorities-report-2021-a11y.pdf>
76. Caltrans, 2021: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 5. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d5-adaptation-priorities-report-2021-a11y.pdf>
77. Caltrans, 2021: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 7. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d7-adaptation-priorities-report-2021-a11y.pdf>
78. Caltrans, 2021: 2020 Adaptation Priorities Reports: Caltrans Adaptation Priorities Report—District 9. State of California, California Department of Transportation. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/2020-adaption-priorities-reports/d9-adaptation-priorities-report-2021-a11y.pdf>
79. FTA, 2023: Sustainable Transit for a Healthy Planet Challenge. U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration. <https://www.transit.dot.gov/climate-challenge>
80. Chester, M.V. and B. Allenby, 2021: Transportation for the Anthropocene. *Transfers Magazine*. <https://transfersmagazine.org/magazine-article/issue-7/transportation-for-the-anthropocene/>
81. Bui, A., P. Slowik, and N. Lutsey, 2021: Evaluating Electric Vehicle Market Growth Across U.S. Cities. International Council on Clean Transportation, 19 pp. <https://theicct.org/publication/evaluating-electric-vehicle-market-growth-across-u-s-cities/>
82. Howard, B., S. Vaidyanathan, C. Cohn, N. Henner, and B. Jennings, 2021: The State Transportation Electrification Scorecard. American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, DC. <https://www.aceee.org/electric-vehicle-scorecard>

83. *Joint Hearing on Transportation Cybersecurity: Protecting Planes, Trains, and Pipelines From Cyber Threats*, House of Representatives, Subcommittee on Cybersecurity, Infrastructure Protection, and Innovation and the Subcommittee on Transportation and Maritime Security of the Committee on Homeland Security, 2021: United States Congress, One Hundred Seventeenth, First Session. <https://www.congress.gov/117/chr/CHRG-117hrg46812/CHRG-117hrg46812.pdf>
84. MTI, 2020: *How Prepared Is Transit for a Cyber Attack?* Mineta Transportation Institute, San Jose, CA. <https://transweb.sjsu.edu/press/how-prepared-transit-cyber-attack>
85. TSA, 2021: *Surface Transportation Cybersecurity Toolkit*. Transportation Security Administration. <https://www.tsa.gov/for-industry/surface-transportation-cybersecurity-toolkit>
86. Lempert, R.J., M. Miro, and D. Prodocimi, 2021: *A DMDU Guidebook for Transportation Planning Under a Changing Climate*. Lefevre, B. and E. Monter, Eds. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0003042>
87. ASCE, 2020: *Policy Statement 500 - Resilient Infrastructure Initiatives*. American Society Civil Engineers. <https://www.asce.org/advocacy/policy-statements/ps500---resilient-infrastructure-initiatives>
88. ASCE, 2021: *Policy Statement 418 - The Role of the Civil Engineer in Sustainable Development*. American Society of Civil Engineers. <https://www.asce.org/advocacy/policy-statements/ps418---the-role-of-the-civil-engineer-in-sustainable-development>
89. ASCE, 2021: *Policy Statement 451 - Life-Cycle Cost Analysis*. American Society Civil Engineers. <https://www.asce.org/advocacy/policy-statements/ps451---life-cycle-cost-analysis>
90. ASCE, 2021: *Policy Statement 556 - Owners Commitment to Sustainability*. American Society Civil Engineers. <https://www.asce.org/advocacy/policy-statements/ps556---owners-commitment-to-sustainability>
91. ASCE, 2023: *ASCE NOAA Taskforce*. American Society of Civil Engineers. <https://www.asce.org/initiatives/asce-noaa-taskforce>
92. Ayyub, B.M., Ed. 2018: *Climate-Resilient Infrastructure: Adaptive Design and Risk Management*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA. <https://doi.org/10.1061/9780784415191>
93. California Building Standards Commission, 2019: *2019 California Green Building Standards Code, Title 24, Part 11*. International Code Council, Washington, DC. [https://calgreenenergyservices.com/wp/wp-content/uploads/2019\\_california\\_green\\_code.pdf](https://calgreenenergyservices.com/wp/wp-content/uploads/2019_california_green_code.pdf)
94. DOT, 2017: *Bridges and Structures: Geohazards*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/hazards/>
95. ISI, 2018: *Envision: Sustainable Infrastructure Framework Guidance Manual*. Institute for Sustainable Infrastructure, Washington, DC. <https://sustainableinfrastructure.org/wp-content/uploads/EnvisionV3.9.7.2018.pdf>
96. TRB, 2019: *Applying Climate Change Information to Hydrologic and Hydraulic Design of Transportation Infrastructure*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transportation Research Board. <https://apps.trb.org/cmsfeed/trbnetprojectdisplay.asp?projectid=4046>
97. TRB, 2022: *Design Guide and Standards for Infrastructure Resilience*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transportation Research Board. <https://apps.trb.org/cmsfeed/trbnetprojectdisplay.asp?projectid=4971>
98. TRB, 2022: *Pilot Test of Climate Change Design Practices Guide for Hydrology and Hydraulics*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transportation Research Board. <https://apps.trb.org/cmsfeed/trbnetprojectdisplay.asp?projectid=4858>
99. Carluccio, S., J. Mian, L. Andrews, and O. Pritchard, 2021: *A Review of the Landscape of Guidance, Tools and Standards for Sustainable and Resilient Infrastructure*. International Coalition for Sustainable Infrastructure. <https://www.resilienceshift.org/publication/a-review-of-the-landscape-of-guidance-tools-and-standards-for-sustainable-and-resilient-infrastructure/>
100. GAO, 2021: *Climate Resilience: Options to Enhance the Resilience of Federally Funded Roads and Reduce Fiscal Exposure*. GAO-21-436. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-21-436.pdf>



101. GIZ GmbH, 2022: Sustainable Infrastructure Tool Navigator. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. <https://sustainable-infrastructure-tools.org/get-started/>
102. TRB, 2020: Guide Specification for Service Life Design of Highway Bridges. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transportation Research Board. <https://trid.trb.org/view/1758793>
103. USGBC-LA, 2016: Building Resilience Los Angeles: A Primer for Facilities. US Green Building Council-Los Angeles. <https://usgbc-la.org/programs/climate-resilience/>
104. Kumar, P., L. Morawska, C. Martani, G. Biskos, M. Neophytou, S. Di Sabatino, M. Bell, L. Norford, and R. Britter, 2015: The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. *Environment International*, **75**, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
105. Donadee, J., R. Shaw, O. Garnett, E. Cutter, and L. Min, 2019: Potential benefits of vehicle-to-grid technology in California: High value for capabilities beyond one-way managed charging. *IEEE Electrification Magazine*, **7** (2), 40–45. <https://doi.org/10.1109/mele.2019.2908793>
106. Feng, K., N. Lin, S. Xian, and M.V. Chester, 2020: Can we evacuate from hurricanes with electric vehicles? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **86**, 102458. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102458>
107. Silverman, A.I., T. Brain, B. Branco, P.s.v. Challagonda, P. Choi, R. Fischman, K. Graziano, E. Hénaff, C. Mydlarz, P. Rothman, and R. Toledo-Crow, 2022: Making waves: Uses of real-time, hyperlocal flood sensor data for emergency management, resiliency planning, and flood impact mitigation. *Water Research*, **220**, 118648. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118648>
108. Subramanya, K. and S. Kermanshachi, 2021: Impact of COVID-19 on transportation industry: Comparative analysis of road, air, and rail transportation modes. In: *International Conference on Transportation and Development 2021*. Virtual Conference, 8–10 June 2021, 230–242. <https://doi.org/10.1061/9780784483534.020>
109. Dowds, J. and G. McRae, 2021: Workforce Development Needs of Transportation Sector Climate Adaptation Professionals. National Center for Sustainable Transportation, 48 pp. <https://doi.org/10.7922/g2kk993x>
110. GAO, 2022: FEMA Workforce: Long-Standing and New Challenges Could Affect Mission Success: Statement of Chris P. Currie, Director, Homeland Security and Justice. GAO-22-105631. U.S. Government Accountability Office. <https://www.gao.gov/assets/gao-22-105631.pdf>
111. TRB, 2019: Transportation Workforce of the Future. Number 323. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Transportation Research Board. <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews323.pdf>
112. NIAC, 2021: Workforce and Talent Management Study. National Infrastructure Advisory Council, 96 pp. <https://www.cisa.gov/resources-tools/resources/national-infrastructure-advisory-council-workforce-and-talent-management>
113. Bain, Paul G., Taciano L. Milfont, Y. Kashima, M. Bilewicz, G. Doron, Ragna B. Garðarsdóttir, Valdiney V. Gouveia, Y. Guan, L.-O. Johansson, C. Pasquali, V. Corral-Verdugo, Juan I. Aragones, A. Utsugi, C. Demarque, S. Otto, J. Park, M. Soland, L. Steg, R. González, N. Lebedeva, Ole J. Madsen, C. Wagner, Charity S. Akotia, T. Kurz, José L. Saiz, P.W. Schultz, G. Einarsdóttir, and N.M. Saviolidis, 2016: Co-benefits of addressing climate change can motivate action around the world. *Nature Climate Change*, **6** (2), 154–157. <https://doi.org/10.1038/nclimate2814>
114. Nieuwenhuijsen, M.J. and H. Khreis, 2020: Ch. 1. Transport and health; an introduction. In: *Advances in Transportation and Health*. Nieuwenhuijsen, M.J. and H. Khreis, Eds. Elsevier, 3–32. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819136-1.00001-2>
115. Mueller, N., D. Rojas-Rueda, T. Cole-Hunter, A. de Nazelle, E. Dons, R. Gerike, T. Götschi, L. Int Panis, S. Kahlmeier, and M. Nieuwenhuijsen, 2015: Health impact assessment of active transportation: A systematic review. *Preventive Medicine*, **76**, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.04.010>
116. California Natural Resources Agency, 2022: Building Climate Resilience. State of California, California Natural Resources Agency. <https://resources.ca.gov/initiatives/building-climate-resilience>
117. Karthick, S., S. Kermanshachi, B. Rouhanizadeh, and M. Namian, 2021: Short- and long-term health challenges of transportation workforce due to extreme weather conditions. In: *Tran-SET 2021*. American Society of Civil Engineers, 39–51. <https://doi.org/10.1061/9780784483787.005>

118. Martín, B., E. Ortega, R. Cuevas-Wizner, A. Ledda, and A. De Montis, 2021: Assessing road network resilience: An accessibility comparative analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **95**, 102851. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102851>
119. Reid, R.L., 2022: How to make infrastructure more resilient against climate change. *Civil Engineering Magazine*. <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/issues/magazine-issue/article/2022/01/how-to-make-infrastructure-more-resilient-against-climate-change>
120. Zhou, Y., J. Wang, and H. Yang, 2019: Resilience of transportation systems: Concepts and comprehensive review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **20** (12), 4262–4276. <https://doi.org/10.1109/tits.2018.2883766>
121. EPA, 2011: The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020: Summary Report. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, 34 pp. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/summaryreport.pdf>
122. Alotaibi, R., M. Bechle, J.D. Marshall, T. Ramani, J. Zietsman, M.J. Nieuwenhuijsen, and H. Khreis, 2019: Traffic related air pollution and the burden of childhood asthma in the contiguous United States in 2000 and 2010. *Environment International*, **127**, 858–867. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.041>
123. Anenberg, S.C., J. Miller, D.K. Henze, R. Minjares, and P. Achakulwisut, 2019: The global burden of transportation tailpipe emissions on air pollution-related mortality in 2010 and 2015. *Environmental Research Letters*, **14** (9), 094012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab35fc>
124. Garcia, E., K.T. Berhane, T. Islam, R. McConnell, R. Urman, Z. Chen, and F.D. Gilliland, 2019: Association of changes in air quality with incident asthma in children in California, 1993–2014. *JAMA*, **321** (19), 1906–1915. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.5357>
125. Garcia, E., J. Johnston, R. McConnell, L. Palinkas, and S.P. Eckel, 2023: California's early transition to electric vehicles: Observed health and air quality co-benefits. *Science of The Total Environment*, **867**, 161761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161761>
126. Health Effects Institute, 2022: Systematic Review and Meta-analysis of Selected Health Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution. Special Report 23. Health Effects Institute. <https://www.healtheffects.org/publication/systematic-review-and-meta-analysis-selected-health-effects-long-term-exposure-traffic>
127. Du, B., M.C. Tandoc, M.L. Mack, and J.A. Siegel, 2020: Indoor CO<sub>2</sub> concentrations and cognitive function: A critical review. *Indoor Air*, **30** (6), 1067–1082. <https://doi.org/10.1111/ina.12706>
128. Karnauskas, K.B., S.L. Miller, and A.C. Schapiro, 2020: Fossil fuel combustion is driving indoor CO<sub>2</sub> toward levels harmful to human cognition. *GeoHealth*, **4** (5), e2019GH000237. <https://doi.org/10.1029/2019gh000237>
129. Peters, D.R., J.L. Schnell, P.L. Kinney, V. Naik, and D.E. Horton, 2020: Public health and climate benefits and trade-offs of U.S. vehicle electrification. *GeoHealth*, **4** (10), e2020GH000275. <https://doi.org/10.1029/2020gh000275>
130. Goldberg, D.L., S.C. Anenberg, D. Griffin, C.A. McLinden, Z. Lu, and D.G. Streets, 2020: Disentangling the impact of the COVID-19 lockdowns on urban NO<sub>2</sub> from natural variability. *Geophysical Research Letters*, **47** (17), e2020GL089269. <https://doi.org/10.1029/2020gl089269>
131. Kerr, G.H., D.L. Goldberg, and S.C. Anenberg, 2021: COVID-19 pandemic reveals persistent disparities in nitrogen dioxide pollution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (30), e2022409118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2022409118>
132. Laughner, J.L., J.L. Neu, D. Schimel, P.O. Wennberg, K. Barsanti, K.W. Bowman, A. Chatterjee, B.E. Croes, H.L. Fitzmaurice, D.K. Henze, J. Kim, E.A. Kort, Z. Liu, K. Miyazaki, A.J. Turner, S. Anenberg, J. Avise, H. Cao, D. Crisp, J.d. Gouw, A. Eldering, J.C. Fyfe, D.L. Goldberg, K.R. Gurney, S. Hasheminassab, F. Hopkins, C.E. Ivey, D.B.A. Jones, J. Liu, N.S. Lovenduski, R.V. Martin, G.A. McKinley, L. Ott, B. Poulter, M. Ru, S.P. Sander, N. Swart, Y.L. Yung, and Z.-C. Zeng, 2021: Societal shifts due to COVID-19 reveal large-scale complexities and feedbacks between atmospheric chemistry and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **118** (46), e2109481118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2109481118>
133. Demetillo, M.A.G., C. Harkins, B.C. McDonald, P.S. Chodrow, K. Sun, and S.E. Pusede, 2021: Space-based observational constraints on NO<sub>2</sub> air pollution inequality from diesel traffic in major US cities. *Geophysical Research Letters*, **48** (17), e2021GL094333. <https://doi.org/10.1029/2021gl094333>



134. Grabow, M.L., S. Spak, J. Sledge, S. Ventura, and J.A. Patz, 2009: Health co-benefits from green transportation: The triple-win biking project. *Epidemiology*, **20** (6), S263. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000362879.73665.06>
135. Maizlish, N., J. Woodcock, S. Co, B. Ostro, A. Fanai, and D. Fairley, 2013: Health cobenefits and transportation-related reductions in greenhouse gas emissions in the San Francisco Bay Area. *American Journal of Public Health*, **103** (4), 703–709. <https://doi.org/10.2105/ajph.2012.300939>
136. Peng, B., S. Erdoğan, A.A. Nasri, and Z. Zou, 2021: Towards a health-conscious transportation planning: A framework for estimating health impacts of active transportation at local level. *Journal of Transport & Health*, **22**, 101231. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101231>
137. Leyland, L.-A., B. Spencer, N. Beale, T. Jones, and C.M. van Reekum, 2019: The effect of cycling on cognitive function and well-being in older adults. *PLoS ONE*, **14** (2), e0211779. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211779>
138. Maizlish, N., C. Jiang, and A. Weiher, 2021: User's Guide and Technical Manual: USA R/Shiny Version. Integrated Transport and Health Impact Model. [http://cal-ithim.org/ithim/ITHIM\\_manual.pdf](http://cal-ithim.org/ithim/ITHIM_manual.pdf)
139. WHO, 2021: Health Economic Assessment Tool (HEAT) for Walking and for Cycling. Kahlmeier, S., T. Götschi, N. Cavill, A.C. Fernandez, C. Brand, D.R. Rueda, J. Woodcock, P. Kelly, C. Lieb, P. Oja, C. Foster, H. Rutter, and F. Racioppi, Eds. World Health Organization, 73 pp. [https://www.who.int/publications/i/item/health-economic-assessment-tool-\(heat\)-for-walking-and-for-cycling](https://www.who.int/publications/i/item/health-economic-assessment-tool-(heat)-for-walking-and-for-cycling)
140. Innes, J.E. and D.E. Booher, 2004: Reframing public participation: Strategies for the 21st century. *Planning Theory & Practice*, **5** (4), 419–436. <https://doi.org/10.1080/1464935042000293170>
141. EPA, 2022: Learn About Environmental Justice. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/environmentaljustice/learn-about-environmental-justice>
142. McGregor, D., S. Whitaker, and M. Sritharan, 2020: Indigenous environmental justice and sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **43**, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.01.007>
143. DOT, 2023: Justice40 Initiative. U.S. Department of Transportation, accessed May 18, 2023. <https://www.transportation.gov/equity-justice40>
144. FHWA, 2023: Promoting Resilient Operations for Transformative, Efficient, and Cost-Saving Transportation (PROTECT) Program. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. <https://www.fhwa.dot.gov/environment/protect/>
145. Agusdinata, D.B., W. Liu, H. Eakin, and H. Romero, 2018: Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: Towards a research agenda. *Environmental Research Letters*, **13** (12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>
146. Dall-Orsoletta, A., P. Ferreira, and G. Gilson Dranka, 2022: Low-carbon technologies and just energy transition: Prospects for electric vehicles. *Energy Conversion and Management: X*, **16**, 100271. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100271>
147. Gaines, L., K. Richa, and J. Spangenberg, 2018: Key issues for Li-ion battery recycling. *MRS Energy & Sustainability*, **5** (1), 12. <https://doi.org/10.1557/mre.2018.13>
148. Duncan, D. and J. Graham, 2013: Road user fees instead of fuel taxes: The quest for political acceptability. *Public Administration Review*, **73** (3), 415–426. <https://doi.org/10.1111/puar.12045>
149. Reckien, D., S. Lwasa, D. Satterthwaite, D. McEvoy, F. Creutzig, M. Montgomery, D. Schensul, D. Balk, I.A. Khan, B. Fernandez, D. Brown, J.C. Osorio, M. Tovar-Restrepo, A. de Sherbinin, W. Feringa, A. Sverdlik, E. Porio, A. Nair, S. McCormick, and E. Bautista, 2018: Ch. 6. Equity, environmental justice, and urban climate change. In: *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Rosenzweig, C., P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, S. Ali Ibrahim, and W.D. Solecki, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173–224. <https://doi.org/10.1017/9781316563878.013>
150. Walls, M. and J. Hanson, 1999: Distributional aspects of an environmental tax shift: The case of motor vehicle emissions taxes. *National Tax Journal*, **52** (1), 53–65. <https://doi.org/10.1086/ntj41789375>
151. GCC, 2016: Fort Lauderdale, Florida - Highway A1A Redesign Project. Georgetown University, Georgetown Climate Center. <https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/fort-lauderdale-florida-highway-ala-redesign-project.html>

152. GCC, 2020: Piedras Blancas Highway 1 Realignment - Caltrans/San Luis Obispo. Georgetown University, Georgetown Climate Center. <https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/piedras-blancas-highway-1-realignment-caltrans-san-luis-obispo.html>
153. Kaack, L.H., P. Vaishnav, M.G. Morgan, I.L. Azevedo, and S. Rai, 2018: Decarbonizing intraregional freight systems with a focus on modal shift. *Environmental Research Letters*, **13** (8), 083001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad56c>
154. EPA, 2022: Ports Emissions Inventory Guidance: Methodologies for Estimating Port-Related and Goods Movement Mobile Source Emissions. EPA-420-B-22-011. U.S. Environmental Protection Agency. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1014J1S.pdf>
155. Khaslavskaya, A. and V. Roso, 2020: Dry ports: Research outcomes, trends, and future implications. *Maritime Economics & Logistics*, **22** (2), 265-292. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00152-9>
156. Giuliano, G., L. White, and S. Dexter, 2018: Developing Markets for Zero-Emission Vehicles in Goods Movement. National Center for Sustainable Transportation. <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/35513>
157. Tetra Tech, Gladstein, and Neandross and Associates, 2020: Clean Air Action Plan: 2018 Feasibility Assessment for Drayage Trucks. Port of Long Beach and Port of Los Angeles. <https://cleanairactionplan.org/download/222/other-documents/5029/final-drayage-truck-feasibility-assessment.pdf>