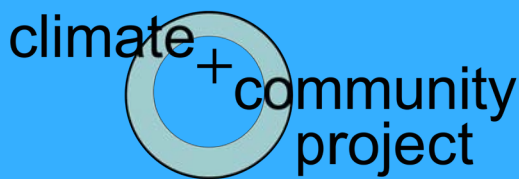


# ***Objetivo de emisiones cero con una mayor movilidad y una menor explotación minera***

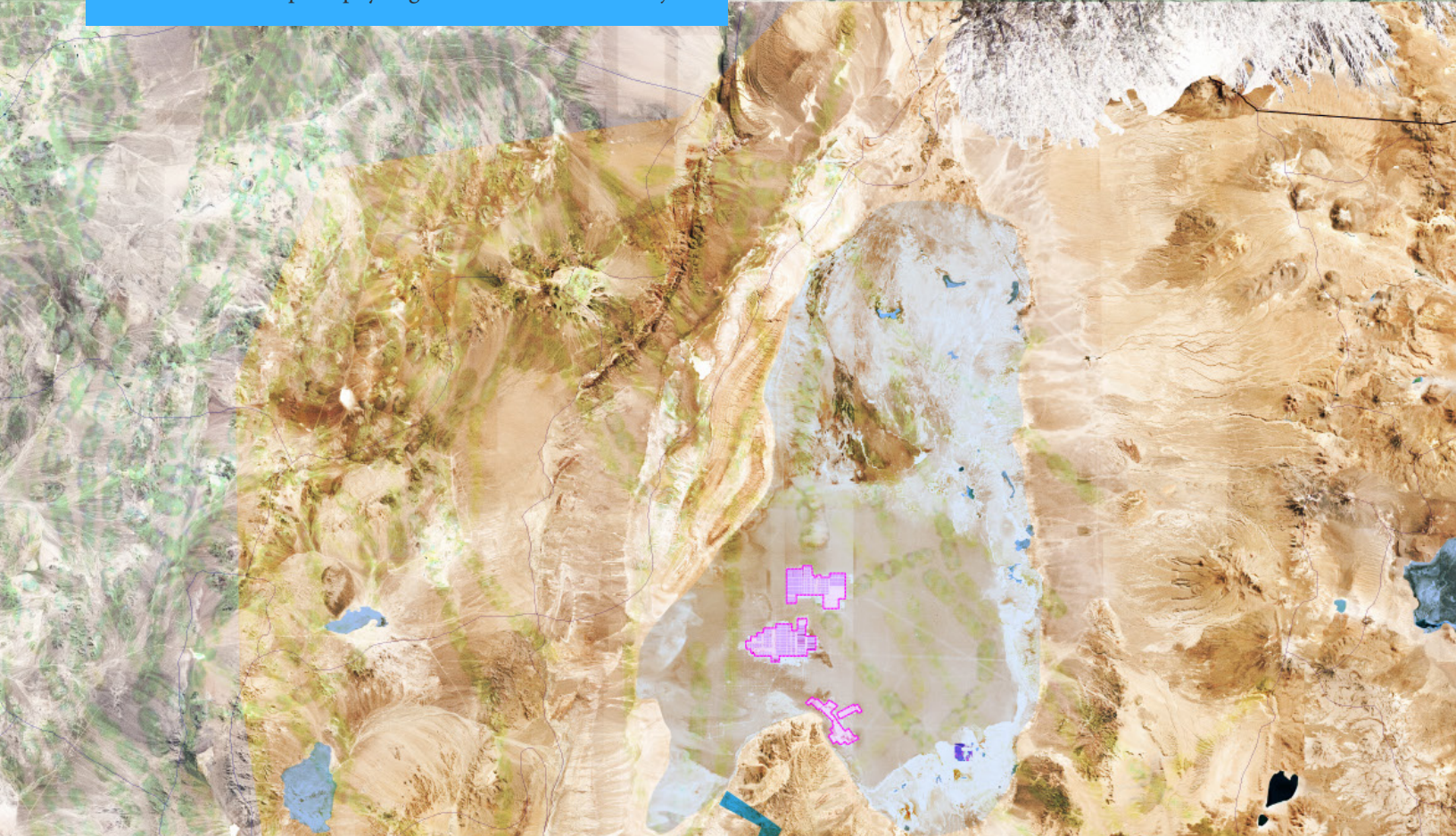
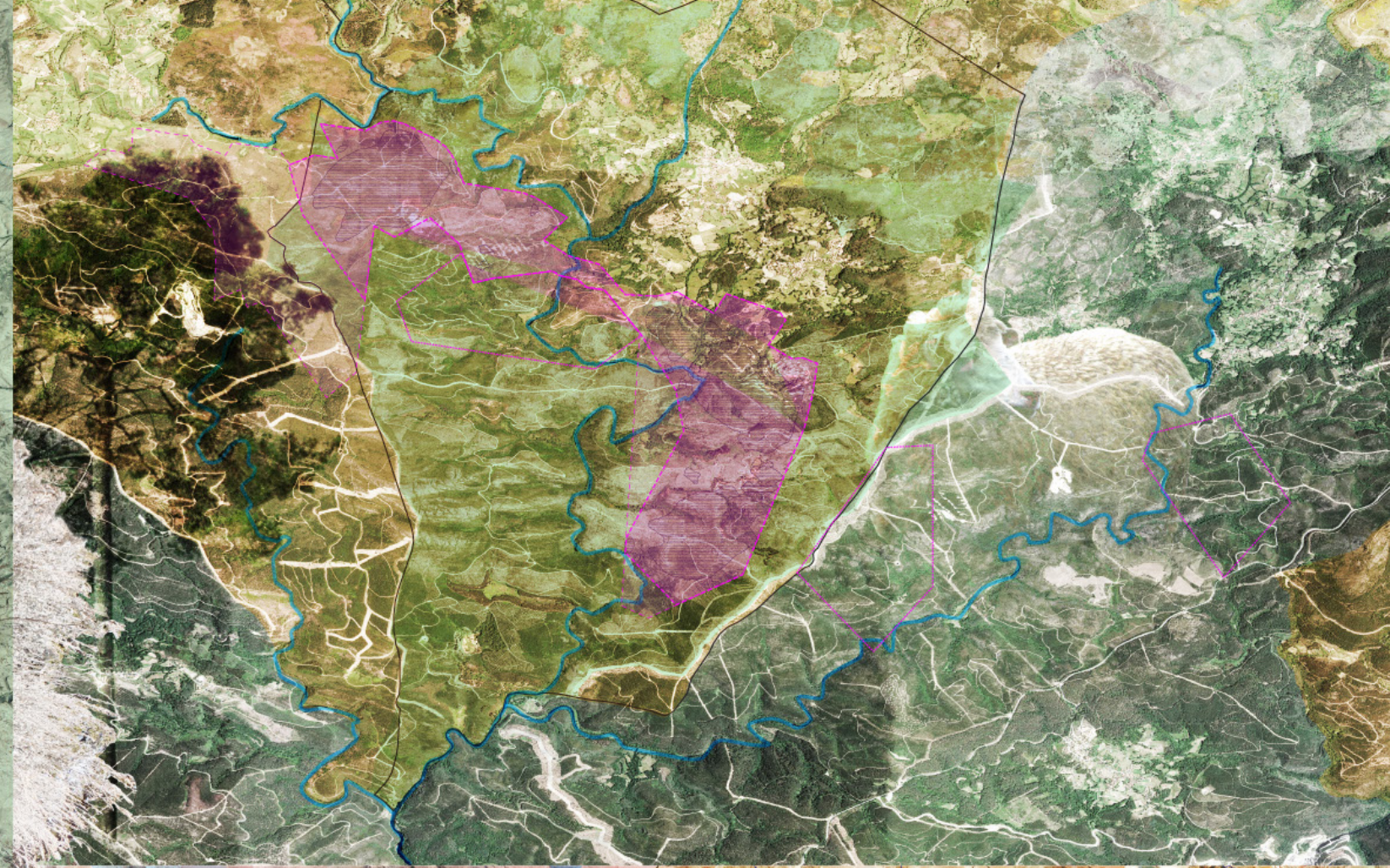
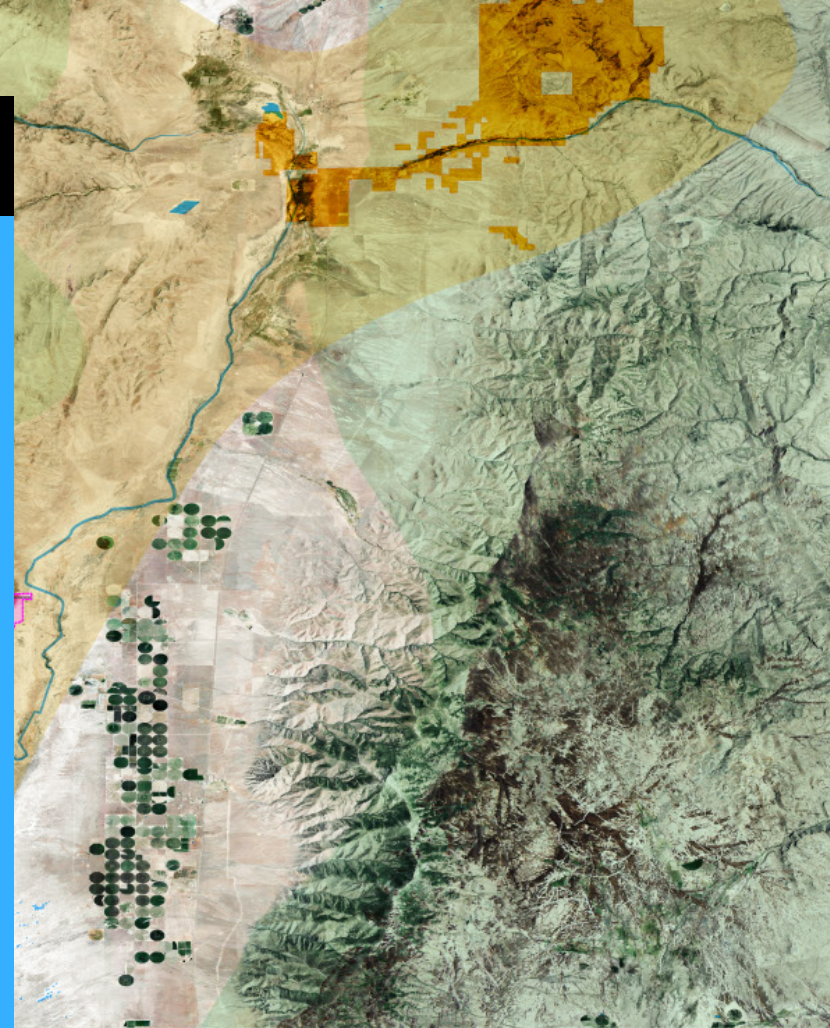
**Enero 2023**



**UCDAVIS**

# AGRADECIMIENTOS

Este informe es el resultado de conversaciones y revisiones por parte de activistas, investigadores y personas expertas en el ámbito de la minería, algunas de las cuales viven en las comunidades que viven en primera persona la extracción de litio. Estamos profundamente agradecidas por el tiempo que estos grupos han dedicado a ayudarnos a desarrollar este informe, y por su generosidad a la hora de compartir en él sus experiencias y conocimiento. Agradecemos especialmente la revisión por parte de las siguientes comunidades y pares evaluadores: The People of Red Mountain (Daranda Hinkey, Chanda Callao, Gary Mckinney), Great Basin Resource Watch (John Hadder, Kassandra Lisenbee), Fundación Ambiente y Recursos Naturales (Pía Marchegiani, María Laura Castillo Díaz) y Observatorio Plurinacional de Salares Andinos (Ramón Balcázar, Verónica Gostissa). La sección sobre Portugal se ha beneficiado enormemente de la revisión comunitaria por parte de Aida Alves Fernandes y Catarina Loureiro Alves Scarrott (Associação Unidos em Defesa de Covas do Barroso). Agradecemos a James Blair, Yonah Freemark, Corey Harper, Steven Higashide y Payal Sampat por su tiempo, sus conocimientos y su revisión por pares. Gracias a Johanna Bozuwa y Patrick Bigger por guiar y apoyar el proceso de desarrollo del informe y a ClimateWorks, 11th Hour Foundation y Rockefeller Brothers' Fund por apoyar generosamente este trabajo.





# Objetivo de emisiones cero con una mayor movilidad y una menor explotación minera

Enero 2023

**THEA RIOFRANCOS** Providence College

**ALISSA KENDALL** University of California, Davis

**KRISTI K. DAYEMO** University of California, Davis

**MATTHEW HAUGEN** Climate and Community Project

**KIRA MCDONALD** Climate and Community Project

**BATUL HASSAN** Climate and Community Project

**MARGARET SLATTERY** University of California, Davis

**XAN LILLEHEI** TEN x TEN

Gráficos e informe por Xan Lillehei y A. L. McCullough.

---

El **Climate and Community Project (CCP)** es un *think tank* sobre política climática progresista en el que académicos e investigadores líderes en sus disciplinas y vinculados a los movimientos sociales desarrollan investigación puntera sobre el nexo entre clima y desigualdad.

**Cita recomendada:** Thea Riofrancos, Alissa Kendall, Kristi K. Dayemo, Matthew Haugen, Kira McDonald, Batul Hassan, Margaret Slattery y Xan Lillehei «Achieving Zero Emissions with More Mobility and Less Mining», 2023, Climate and Community Project [<http://www.climateandcommunity.org/more-mobility-less-mining>].

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>5</b>	<b>GLOSARIO</b>
<b>6</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>
<b>10</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>18</b>	<b>EL LITIO Y LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS</b>
18	La composición química de las baterías de iones de litio
18	Proyecciones de ventas de VE y demanda de minerales para baterías actuales
<b>23</b>	<b>EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE LITIO</b>
25	Roca dura y arcilla
26	Estados Unidos
29	Portugal
31	Salmuera
32	Chile
34	Argentina
<b>37</b>	<b>ITINERARIOS HACIA UN TRANSPORTE DESCARBONIZADO</b>
<b>41</b>	<b>DEMANDA DE LITIO EN CADA ESCENARIO DE TRANSPORTE DESCARBONIZADO</b>
41	Pronóstico de ventas de VE
41	Capacidad de las baterías
42	Composición química del cátodo de la batería
42	Modelización de autobuses
43	Reciclaje
44	Modelización de los escenarios
44	Resultados de la demanda de litio
48	Limitaciones de la modelización de la demanda de litio
<b>49</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>
<b>52</b>	<b>APÉNDICES</b>
52	La creación de itinerarios de descarbonización a partir de datos sobre sistemas globales de transporte
71	¿Qué es la dependencia del automóvil?
73	Tecnología de las baterías de iones de litio
76	Venta y retirada de vehículos eléctricos
83	Resultados de la demanda de litio de vehículos eléctricos en EE. UU.

# GLOSARIO

**Tránsito activo:** Modalidad de transporte basado en la actividad física humana, como ir a pie, en bicicleta o similar).

**Composición química de baterías:** Una combinación de materiales que posibilitan el intercambio de electrones entre el cátodo y el ánodo. Las composiciones químicas de baterías más comunes son las siguientes:

- Litio-ferrofosfato (LFP)
- Óxido de litio y manganeso (LMO)
- Titanato de litio (LTO)
- Níquel, óxido de cobalto y manganeso (NCM)
- Níquel, cobalto y alúmina (NCA)

**Capacidad de batería:** La cantidad total de energía generada por reacciones químicas y almacenada en la batería, expresada tradicionalmente en kWh para las baterías de vehículos.

**Parque automovilístico/Stock de vehículos (StV):** Cantidad de turismos en uso.

«**Minerales críticos**»: La «criticalidad» de un mineral se define generalmente según los siguientes criterios: (1) Importancia económica y (2) Propensión a las interrupciones de suministro. En 2020 el litio fue oficialmente incluido en la lista de «minerales críticos» del gobierno de los Estados Unidos. Algo parecido ocurrió en la Unión Europea, el Reino Unido y China. A lo largo del presente informe se usan comillas al hacer referencia a los metales físicos, ya que el término surge en relación a la seguridad nacional y el esfuerzo bélico y mantiene una asociación militarista con el dominio y el control de las cadenas de suministro.

**Vehículo eléctrico (VE):** término genérico para referirse a cualquier tipo de vehículo (por ejemplo, turismo, autobús, camión, etc.) que utiliza únicamente propulsión eléctrica y que contiene al menos una batería. A los efectos de este artículo VE se refiere a vehículos personales con baterías eléctricas.

**Autobús a batería eléctrica (e-bus):** Autobús eléctrico propulsado por baterías.

**Motor de combustión interna (MCI):** Motor que produce energía mediante la quema de combustible (en el caso de los vehículos, los combustibles usados habitualmente son el diesel de petróleo y la gasolina mezclada con un 15 % o menos de etanol).

**Batería de ion de litio (Li-ion):** Sistema de almacenamiento recargable que usa el litio como su ánodo.

**Estado de salud (SOH, del inglés State of Health):** Un indicador de salud de la batería, expresado como el porcentaje de cuánto puede almacenar la batería en relación a la energía que podía almacenar cuando la batería al ser producida.

**Micromovilidad:** Se refiere a vehículos pequeños usados para el transporte. Los módulos de micromovilidad pueden consistir en bicicletas, motos, monopatines, patinetes y longboards y sus equivalentes eléctricos, entre otros.

**Reparto modal:** Porcentaje de viajes realizados por un modo de transporte particular, incluyendo coches privados, transporte público, bicicleta y desplazamientos a pie.

# RESUMEN EJECUTIVO

“

**Un aspecto crucial del transporte electrificado es la nueva demanda de metales que trae consigo, especialmente del principal metal no sustituible en las baterías de tracción para vehículos eléctricos (VE): el litio.**

”

El transporte es el principal causante de emisiones de carbono en los Estados Unidos. Esto lo convierte en un sector clave a descarbonizar con la mayor celeridad posible para limitar la crisis climática. Estados como Nueva York y California han prohibido la venta de coches a gasolina a partir de 2035 y la Ley para la Reducción de la Inflación del 2022 (*Inflation Reduction Act*) prevé grandes inversiones federales para electrificar el transporte. Como consecuencia, los consumidores estadounidenses están comprando cada vez más vehículos eléctricos (VE). Se prevé que en 2030 más de la mitad de las ventas de coches nacionales sean de vehículos eléctricos.<sup>1</sup> Nos encontramos en un importante punto de inflexión. Las decisiones que tomemos ahora van a afectar la rapidez con la que logramos reducir las emisiones de carbono, así como la movilidad de millones de personas. Un transporte de cero emisiones implica también la transformación de las cadenas globales de suministros, lo cual tendrá a su vez consecuencias en el ámbito de la justicia climática y medioambiental y los pueblos indígenas, más allá de las fronteras de los Estados Unidos.

**Un aspecto crucial del transporte electrificado es la nueva demanda de metales que trae consigo, especialmente del principal metal no sustituible en las baterías de tracción para vehículos eléctricos (VE): el litio.** Si la demanda actual de VE continua al mismo ritmo en 2050, solo las necesidades de litio del mercado de VE estadounidenses en 250 requerirían el triple de la cantidad de litio que se produce actualmente en todo el mercado global. Este *boom* en la demanda implica la expansión de la minería.

**La minería a gran escala tiene un importante impacto social y medioambiental que daña en muchos casos de manera irreversible paisajes enteros sin el consentimiento de las comunidades afectadas.** A lo largo del urgente proceso de transformación social necesario para construir nuevos sistemas energéticos de cero emisiones es inevitable una cierta dependencia de la minería. Pero hay un importante margen de maniobra en cuanto al volumen extractivo, y tampoco está grabado en piedra el lugar donde se lleva a cabo la extracción, ni quien carga con el peso social y medioambiental, o como se organiza la gobernanza del proceso minero.

---

1. Benchmark Mineral Intelligence «More than 300 new mines required to meet battery demand by 2035» 6 de septiembre de 2022. <https://www.benchmarkminerals.com/membership/more-than-300-new-mines-required-to-meet-battery-demand-by-2035/>.

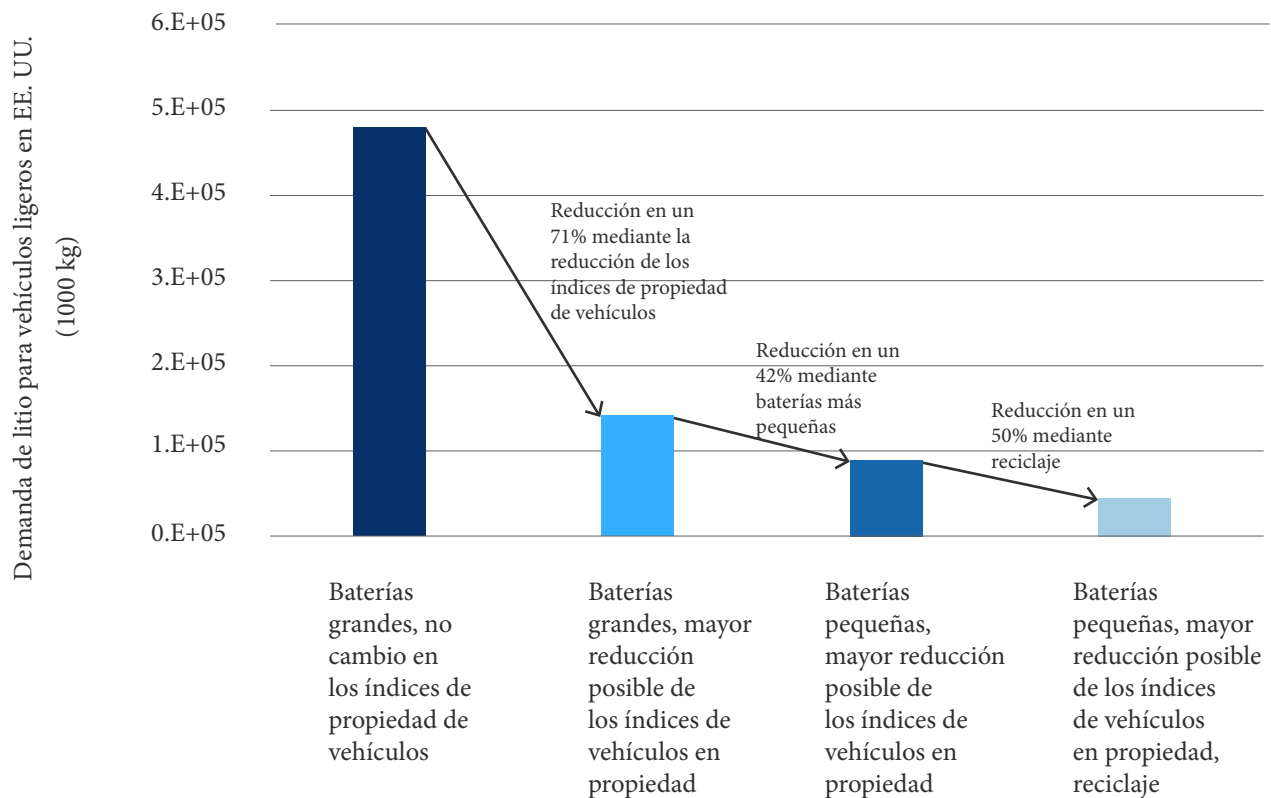


Figura 1: Reducción de la demanda de litio anual para el transporte de pasajeros en EE. UU. en función de las mayores y menores reducciones de índices de propiedad de vehículos, diseño de los vehículos y niveles de reciclaje en 2050. Cabe tener en cuenta que las reducciones se escalan de manera proporcional; así, reciclar reduce la demanda de litio en un 50% en todos los escenarios.

**Los resultados de este informe muestran que Estados Unidos puede conseguir un modelo de movilidad de cero emisiones y a la vez limitar la cantidad de litio necesario mediante la reducción de la dependencia de los coches en el sistema de transporte, la reducción del tamaño de las baterías eléctricas y el aumento del reciclaje de litio.** Reorganizar el sistema de transporte estadounidense mediante un cambio en las medidas políticas y de gasto público que priorice el transporte público y activo y reduzca la dependencia del coche puede conducir también a la justicia en el ámbito de la movilidad, la protección de los ecosistemas, el respeto a los derechos de los pueblos indígenas y al cumplimiento de los requisitos para la justicia global.

**Hemos diseñado un novedoso análisis de flujos de materiales que, junto a la modelación de itinerarios socioeconómicos, determinan posibles escenarios de descarbonización del transporte de personas en los Estados Unidos. Nos hemos centrado en el**

**transporte de pasajeros en Estados Unidos.** El sector del transporte es el mayor responsable de las emisiones de carbono en Estados Unidos, y el único sector en el que la emisiones siguen aumentando de manera constante; en el ámbito del transporte, la mayoría de las emisiones provienen de vehículos ligeros comerciales.<sup>2</sup> Comparamos las necesidades de litio de cuatro itinerarios hacia las emisiones cero en el ámbito del transporte personal: una continuación electrificada del statu quo estadounidense actual de dependencia del coche y tres escenarios que adoptan políticas de apoyo al transporte público y a la movilidad activa y de reducción de la dependencia del coche cada vez más ambiciosas.

#### Resultados:

- Si los comparamos con el escenario de descarbonización que mantiene los índices actuales de vehículos en propiedad en los Estados Unidos, los escenarios que reducen la dependencia del

2. «Greenhouse Gas Inventory Data Explorer» Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Accedido por última vez el 22 de noviembre de 2022 <https://cfpub.epa.gov/ghgdata/inventoryexplorer/#allsectors/allsectors/allgas/select/all>; Sindreu,

Jon «In the Green Transition, Transportation Is the next Big Baddie» The Wall Street Journal, 23 de diciembre de 2019. <https://www.wsj.com/articles/in-the-green-transition-transportation-is-the-next-big-baddie-11577119404>.

coche –es decir, su uso y su compra– y limitan el tamaño de las baterías de VE pueden llegar a reducir la demanda de litio en entre un 16-18 %.

- Incluso en el caso de que la centralidad del coche en el transporte de los Estados Unidos se mantenga intacta, tan solo la opción de mantener el tamaño de las baterías de VE puede reducir la demanda de litio en un 42 %.

Las políticas orientadas a incrementar e incentivar el transporte público y activo, reducir el tamaño de los VE y sus baterías y obtener de manera responsable sus componentes minerales promueven una transición del transporte rápida y justa mediante la reducción de la necesidad de baterías en un futuro del transporte de cero emisiones.

Los beneficios de este enfoque tan ambiciosos van más allá del sector del transporte:

- **Poner en el centro la primera línea de la extracción de litio:** en conversaciones sobre la descarbonización del sistema de transporte de los Estados Unidos es frecuente que se contrapongan la justicia climática, así como en el ámbito de la movilidad y los pueblos indígenas. Este informe intenta establecer un diálogo entre los muchos objetivos compartidos de estos movimientos. Examinamos cuatro casos de extracción de litio: Argentina, Chile, Estados Unidos y Portugal. En cada uno de estos casos la extracción de litio —propuesta o en curso— tiene consecuencias preocupantes en cuanto a la intensidad de la sequía, la biodiversidad de los ecosistemas, la soberanía indígena y/o la participación de las comunidades en proyectos que amenazan sus paisajes culturales y medios de subsistencia económica. Reducir la intensidad del litio en el transporte electrificado mitigaría así la principal fuerza motriz de estas lacras.
- **Reducir las tensiones geopolíticas:** La nueva demanda de litio y otros metales relacionados con la transición energética trae consigo nueva actividad minera, una industria global famosa por su destrucción medioambiental y sus preocupantes antecedentes en cuanto a abusos de los derechos humanos y el uso de violencia. A este impacto local

cabe añadir las tensiones geopolíticas asociadas a los denominados «minerales críticos». Las cadenas de administraciones de litio se extienden desde América Latina hasta China y Australia, y hay nuevos planes extractivos en curso en Europa, Canadá, Estados Unidos, entre otros. El repunte masivo de la demanda está provocando ya dificultades de aprovisionamiento para la producción de VE, retrasando la penetración de VE, poniendo en cuestión su asequibilidad y avivando tensiones geopolíticas mientras las naciones compiten por el acceso a depósitos de litio. Reducir la cantidad de litio necesaria para la descarbonización permite limitar el estrangulamiento de la oferta y reducir el potencial de degradación medioambiental, injusticias y conflictos asociados con su extracción.

- **Alcanzar los objetivos climáticos:** Los daños relacionados con la minería y las dificultades de suministro en ciernes son dos razones para reducir la intensidad material del transporte electrificado. Además, la investigación actual ha demostrado que la expansión del transporte público acelera la descarbonización. Aplicar de forma combinada medidas tales como la electrificación de los vehículos, un descenso del uso y la propiedad de coches y una reducción en el tamaño y el peso de los vehículos personales —con tal de aumentar su eficiencia energética— es un requisito necesario para permanecer dentro de los límites de un presupuesto de carbono sectorial consecuente con el objetivo de limitar el calentamiento global dentro de unos márgenes de entre 1,5 y 2 °C.<sup>3</sup> El ritmo de la descarbonización de los vehículos de carga ligera está determinado por el ritmo de reposición del parque automovilístico actual y su reemplazo con VE, así como la descarbonización de la red eléctrica. La producción de VE y la construcción y el mantenimiento de carreteras, autopistas y zonas de estacionamiento son procesos intensivos a nivel energético y de emisiones con altos niveles de carbono incorporado. La electrificación del sistema de transporte estadounidense aumentaría de manera masiva la demanda eléctrica en un momento en el que la transición a una red eléctrica descarbonizada todavía está en proceso, incrementando así la magnitud del problema.<sup>4</sup> El transporte público y el transporte activo

---

3. Milovanoff, A., Posen, I.D. y MacLean, H.L. «Electrification of light-duty vehicle fleet alone will not meet mitigation targets» *Nature Climate Change* 10, 1102–1107 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>; Hill et al. «The Role of Electric Vehicles in Near-Term Mitigation Pathways and Achieving the UK's Carbon Budget»; Sager et al. «Reduce Growth Rate of Light-Duty Vehicle Travel to Meet 2050 Global Climate Goals»; Fulton et al., «The Compact City Scenario - Electrified: The Only Way to 1.5°C».

---

4. 'We show that betting solely on EVs to remain within suitable sectoral CO2 emission budgets for the US LDV fleet would...[add] half of national electricity demand' in Milovanoff, A., Posen, I.D. & MacLean, H.L. «Electrification of light-duty vehicle fleet alone will not meet mitigation targets» *Nature Climate Change* 10, 1102–1107 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.



tienden a ser métodos radicalmente más efectivos a nivel energético para la movilidad de las personas; aumentar el porcentaje del transporte que se lleva a cabo mediante estas vías aceleraría así la descarbonización.

- **Diseñar comunidades más seguras:** Incrementar el transporte público y activo y mantener el tamaño de los turismos en parámetros pequeños permite crear comunidades más seguras. Reducir el tamaño de los turismos también deriva en carreteras mucho más seguras, ya que los coches pequeños tienen menos accidentes y de menor gravedad. Hacer de las rutas de autobuses, los metros y las bicis eléctricas opciones más rápidas, seguras y convenientes implica favorecer a las comunidades de personas racializadas y de bajos ingresos que, en comparación con sus conciudadanos blancos y con mayores ingresos, tienen más posibilidades de vivir cerca de áreas con altos niveles de tráfico y asumir así la carga de una peor salud medioambiental asociada a una mala calidad del aire.

Una mayor inversión que permita alejarnos de la dependencia de los Estados Unidos del coche beneficiaría desde la primera línea minera —qué vería en reducidos los daños sociales y medioambientales de la extracción de litio— hasta las áreas metropolitanas densificadas a lo largo y ancho del país, que experimentarían así una infinidad de beneficios, desde una mejora en la calidad del aire hasta una mayor seguridad peatonal. Y es que, en última instancia, la justicia climática y en el ámbito de la movilidad y los derechos indígenas sí pueden conciliarse. Hacerlo requiere repensar de manera ambiciosa una transición energética que ponga énfasis en los beneficios para las comunidades y ecosistemas más afectados por la crisis climática. Si queremos construir un futuro justo, el movimiento para la justicia climática debe presentarse como un frente unido en contra de la extracción motivada por el lucro.

“

**Una mayor inversión que permita alejarnos de la dependencia de los Estados Unidos del coche beneficiaría desde la primera línea minera.**

”

# INTRODUCCIÓN

Una tierra habitable tanto para la humanidad como para la naturaleza requiere una descarbonización exhaustiva de todos los ámbitos de la vida social.<sup>5</sup> La crisis climática se intensifica cada año y nos estamos quedando sin tiempo para llevar a cabo una transición energética, desvincular sectores con un elevado consumo energético de los combustibles fósiles y permanecer dentro de unos niveles seguros de calentamiento. Pero, tal y como muestra nuestro análisis del sector del transporte, hay más un camino posible hacia la descarbonización. Podemos orientarnos hacia un único objetivo —la reducción a cero de los gases de efecto invernadero— o, alternativamente, la transición energética puede usarse como una oportunidad para afrontar las causas fundamentales de las crisis climática y medioambiental, así como las desigualdades sociales con las que ambas se entrelazan.

Estados Unidos es el causante de la mayoría de las emisiones históricas y, actualmente, uno de los principales emisores per cápita del mundo. Está obligado a aportar «lo que le corresponde» en cuanto a la reducción de emisiones.<sup>6</sup> Hacerlo de manera que las comunidades dentro y fuera de las fronteras de los EE. UU. se vean apoyadas implica analizar los patrones de producción y consumo que han convertido los Estados Unidos en una sociedad tan desigual y con tales niveles de consumo energético.<sup>7</sup>

En los Estados Unidos, el del transporte es el sector que probablemente más urge descarbonizar. También

es el que con mayor urgencia necesita ser repensado de manera radical y, en el proceso, transformado. El sector del transporte es el principal emisor de gases de efecto invernadero de los Estados Unidos; responsable del 28 % del total de sus emisiones.<sup>8</sup> Es el único sector principal en el que las emisiones continúan aumentando, al margen de un descenso temporal en 2020 durante el punto álgido de la pandemia de COVID-19.<sup>9</sup> El sector del transporte terrestre es también el causante, directa e indirectamente, de toda una serie de otros tipos de desigualdades sociales y medioambientales que incluye la contaminación del aire debido a los gases de escape de combustión y el polvo y demás partículas producidos por el desgaste de los neumáticos y los frenos; las muertes y las heridas provocadas por los accidentes de coche; el aislamiento social: el aumento del coste de la vivienda; la carga financiera para hogares y gobiernos; la contaminación acústica; la segregación racial; y muchos otros factores más. Estas lacras afectan en mayor medida y de manera desproporcionada a comunidades pobres, negras y racializadas.<sup>10</sup>

El sistema de transporte en los Estados Unidos se ha construido a partir de políticas públicas y prioridades de gasto que han creado la dependencia del coche, reconfigurando el entorno urbano para dar prioridad al movimiento y el almacenamiento de millones de vehículos privados. Sin embargo, la política climática dominante de los Estados Unidos —como, por ejemplo, la Ley para la Reducción de la Inflación del 2022— no hace más, hasta la fecha, que insistir en la dependencia del coche.<sup>11</sup> Las recientes inversiones climáticas se han centrado en soluciones tecnológicas para vehículos, como le reemplazo

---

5. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

6. «The US Climate Fair Share» US Climate Fair Share Position Statement. US Climate Fair Share .Accedido por última vez el 21 de noviembre de 2022. <https://usfairshare.org/>.

7. Newell, Peter y Dustin Mulvaney 2013 «The Political Economy of the 'Just Transition.'» *The Geographical Journal* 179 (2): 132–40. <https://doi.org/10.1111/geoj.12008>; Bond, Patrick. 2012. *Politics of Climate Justice: Paralysis Above, Movement Below*. Scottsville, South Africa: University Of KwaZulu-Natal Press.; Henderson, Jason, 2020 «EVs Are Not the Answer: A Mobility Justice Critique of Electric Vehicle Transitions» *Annals of the American Association of Geographers*, May, 1–18.

---

<https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1744422>; Henderson, Jason, 2020 «EVs Are Not the Answer: A Mobility Justice Critique of Electric Vehicle Transitions» *Annals of the American Association of Geographers* 100, no. 6 (2020): 1993–2010. <https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1744422>.

8. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos «Sources of Greenhouse Gas Emissions» <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.

9. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos «Sources of Greenhouse Gas Emissions» <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.

10. Schmitt, Angie. 2020 *Right of Way: Race, Class, and the Silent Epidemic of Pedestrian Deaths in America*. Washington, D.C., DC: Island Press.; Singer, Jessie. 2022 *There Are No Accidents: The Deadly Rise of Injury and Disaster-Who Profits and Who Pays the Price*. New York, NY: Simon & Schuster; Tabuchi, Hiroko y Nadja Popovich. 2021 «People of Color Breathe More Hazardous Air. The Sources Are Everywhere» *The New York Times*, April 28, 2021 <https://www.nytimes.com/2021/04/28/climate/air-pollution-minorities.html>.

de vehículos MCI con vehículos con baterías eléctricas (VE), y ha habido muy poca acción en lo relativo a financiar la electrificación y la expansión del transporte público y a apoyar a las personas que se desplazan a pie o en bici.<sup>12</sup>

En términos generales, hay dos maneras de disminuir las emisiones derivadas del transporte: sustituyendo la combustión interna (MCI) del parque automovilístico por vehículos eléctricos o reduciendo el volumen total de vehículos en uso. La estrategia dominante actualmente en el sector —reemplazar los vehículos con MCI por VE sin disminuir la propiedad y el uso del coche— es probablemente incompatible con el mantenimiento del calentamiento global por debajo del grado y del 1,5 °C.<sup>13</sup> Si queremos luchar contra el cambio climático la electrificación de los vehículos privados debe ir acompañada por la creación de un sistema de transporte que permita y aliente a que la gente pueda hacer frente a sus necesidades diarias sin tener que hacer uso de un coche. Tal y como demuestran investigaciones actuales, reducir la dependencia del coche acelera la descarbonización, dando respuesta así a las principales demandas de la justicia climática.<sup>14</sup>

Tal y como muestra nuestro informe reducir la dependencia del coche es consecuente con la justicia global por todavía otra razón: resulta en una menor demanda de litio, protegiendo así ecosistemas vulnerables de la degradación, reduciendo la presión sobre las reservas de agua y protegiendo a comunidades de los conflictos y los abusos de derechos humanos asociados con el sector minero. De hecho, la cadena de suministros de minerales

para VE muestra algunas de las injusticias más flagrantes en el contexto del enfoque actual sobre la transición energética. La producción de vehículos eléctricos empieza con la prospección, la exploración y la extracción de «minerales críticos» como el litio. A lo largo del presente informe usamos «minerales críticos» entre comillas, ya que es un término que surge en relación a la seguridad nacional y el esfuerzo bélico y mantiene una asociación militarista con el dominio y el control de las cadenas de suministro. A menudo se usa el gobierno y el objetivo empresarial de dominio sobre las cadenas de suministro para justificar la rápida expansión de la minería y el atropello de derechos humanos y regulaciones medioambientales.

Bajo las condiciones tecnológicas actuales, el litio es un ingrediente esencial en las baterías que impulsan los VE y demás electrodomésticos para el consumo, así como formas de movilidad eléctrica como autobuses eléctricos, camiones eléctricos y bicicletas eléctricas. La extracción de litio —concentrada actualmente en Australia, Chile, China y Argentina— es, como toda la minería, dañina a nivel social y medioambiental. En todo el mundo, el minero es el sector económico más vinculado a conflictos locales entre defensores del medio ambiente y empresas y, en particular, a confrontaciones violentas en las que defensores del medio ambiente son asesinados.<sup>15</sup> Cabe señalar también que Latinoamérica —dónde dos de nuestros estudios de caso están situados, en Chile y Argentina— ha sido regularmente la región con más asesinatos de defensores del medio ambiente del mundo.<sup>16</sup> A ello debe añadirse que la minería constituye una gran amenaza para los bosques

---

11. Freemark, Yonah «What the Inflation Reduction Act Did, and Didn't Do, for Sustainable Transportation» Urban Institute, 15 de septiembre de 2022. <https://www.urban.org/urban-wire/what-inflation-reduction-act-did-and-didnt-do-sustainable-transportation>.

12. Por ejemplo, la Ley para la Infraestructura, la Inversión y los Empleos de 2021 incluía 1600 millones de dólares para la expansión de la red de autobuses eléctricos, 7500 millones de dólares para la expansión de la infraestructura de recarga eléctrica para VE, y 350 mil millones en financiación del programa federal de autopistas.

13. Milovanoff, Alexandre, I. Daniel Posen, and Heather L. MacLean «Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet Alone Will Not Meet Mitigation Targets» *Nature Climate Change* 10, no. 12 (2020): 1102–7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>; «To Combat Climate Change, Electrification Needs Compact Cities for Full Impact - Institute for Transportation and Development Policy» Promoting sustainable and equitable transportation worldwide. Institute for Transportation and Development Policy, 10 de diciembre del 2021. <https://www.itdp.org/2021/12/09/why-electric-vehicles-are-not-a-climate-change-silver-bullet/>; Sager, Jalel, Joshua S Apte, Derek M Lemoine, y Daniel M

---

Kammen «Reduce Growth Rate of Light-Duty Vehicle Travel to Meet 2050 Global Climate Goals» *Environmental Research Letters* 6, no. 2 (2011): 024018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/2/024018>.

14. Yonah Freemark «What the Inflation Reduction Act Did, and Didn't Do, for Sustainable Transportation» The Urban Institute, 15 de septiembre de 2022, <https://www.urban.org/urban-wire/what-inflation-reduction-act-did-and-didnt-do-sustainable-transportation>; Milovanoff, Alexandre, I. Daniel Posen y Heather L. MacLean «Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet Alone Will Not Meet Mitigation Targets» *Nature Climate Change* 10, no. 12 (2020): 1102–7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.

15. Scheidel, Arnim, Daniela Del Bene, Juan Liu, Gretel Navas, Sara Mingorria, Federico Demaria, Sofia Avila et al. «Environmental conflicts and defenders: A global overview» *Global Environmental Change* 63 (2020): 102104.

16. «Decade of Defiance» Global Witness. Accedido por última vez el 22 de noviembre de 22, 2022. <https://www.globalwitness.org/en/campaigns/environmental-activists/decade-defiance/>.

tropicales y, consecuentemente, para la biodiversidad, los territorios indígenas y los sumideros de carbono más importantes del planeta.<sup>17</sup> Por último, tal y como demuestran nuestros estudios de caso, las minas de litio actuales y planificadas se superponen con zonas con un alto nivel de estrés hídrico —y la minería es frecuentemente un proceso intensivo en consumo y contaminación de agua.

Todo esto nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas: ¿Cómo podemos evitar que la transición hacia la energía renovable cree nuevas zonas de sacrificio dónde se alteren los ecosistemas, se violen los derechos humanos y dónde se avive el conflicto social bajo el nombre de la lucha contra el cambio climático? ¿Cuál es el camino hacia la descarbonización del sector de transporte de los Estados Unidos —el principal responsable de las emisiones del país<sup>18</sup>— más justo a nivel global? Este informe aspira a empezar a dar respuesta a estas preguntas. Es el primer informe que modela varios itinerarios hacia la descarbonización del sector del transporte de los Estados Unidos, combinando metodologías cualitativas y cuantitativas, con el objetivo de comparar sus correspondientes intensidades a nivel de consumo de litio. Como complemento a este modelo presentamos un riguroso análisis del impacto de las minas de litio actuales y proyectadas, alternativas a la minería que incluyen el reciclaje, y descripciones detalladas de diferentes futuros del transporte posibles que van desde la electrificación de un *status quo* dependiente del coche hasta una ambiciosa visión transformadora basada en un aumento del transporte público y la movilidad en bicicleta y a pie; la reducción de los índices de propiedad de vehículos privados; y ciudades y suburbios más densos. La dependencia del coche en los Estados Unidos está estrechamente ligada a la articulación de geografías urbanas altamente racializadas: la construcción de carreteras, programas de renovación urbana y subsidios masivos para un desarrollo de los suburbios orientado al coche y excluyentes a nivel racial ha fomentado una segregación continuada según la clase y la raza. Así, revertir estas tendencias implica también una enorme oportunidad para empezar a rectificar grandes lacras sociales —si bien estos pasos deberían ir acompañados de otras políticas orientadas explícitamente a fomentar la equidad social.

---

17. Giljum, Stefan, Victor Maus, Nikolas Kuschnig, Sebastian Luckeneder, Michael Tost, Laura J. Sonter y Anthony J. Bebbington «A pantropical assessment of deforestation caused by industrial mining» *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119, no. 38 (2022): e2118273119.

18. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos «Sources of Greenhouse Gas Emissions» <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.

Las proyecciones muestran una demanda disparada de «minerales críticos» como el litio. Si bien estas proyecciones pueden parecer abstracciones, perfilan un futuro preocupante con implicaciones en el mundo real. Más allá de su precisión como las predicciones de una alta demanda en un contexto de escasa disponibilidad de materiales tiene consecuencias concretas: fomentan una «carrera» para prospectar y extraer en la que los líderes de los gobiernos y los ejecutivos de las empresas priorizan el control de la cadena de suministros por encima de la gobernanza socioambiental. Algunas de las previsiones recientes más alarmantes indican que en el 2035 será necesario un aumento de casi el 200 por ciento en el número de minas de litio para hacer frente a la demanda de los EV.<sup>19</sup> Si se construyen, cada una de estas minas traería consigo riesgos ecológicos y de seguridad —contaminación del agua, cantidades masivas de residuos, nuevas amenazas a la biodiversidad—, así como un daño potencial a paisajes culturales y otros tipos de uso de la tierra, así como a medios de subsistencia vinculados al territorio. Si nos basamos en las prácticas habituales de la industria minera es poco probable que las comunidades implicadas, muchas de ellas indígenas, sean consultadas seriamente, se les pida un Consentimiento Libre, Previo e Informado (CLPI) o que se les otorgue a los habitantes afectados de la zona una información mínimamente transparente y objetiva ante la posible transformación masiva de su entorno inmediato. Entretanto, las dificultades de aprovisionamiento de minerales críticos están retrasando ya el ajustado cronograma para la descarbonización del sector.<sup>20</sup> **Reducir la demanda de litio mediante el aumento de la eficiencia del sector del transporte va a ser una estrategia esencial para mejorar las posibilidades de que el sector del transporte se descarbonice a tiempo sin dañar los ecosistemas y en línea con la justicia global.**

Al mismo tiempo, la creciente preocupación de que la demanda de litio supere su disponibilidad está avivando las tensiones geopolíticas e incentivando el control corporativo de la cadena de suministros. Los gobiernos de Estados Unidos, Canadá y Europa están echando mano cada vez más a nociones de seguridad nacional en relación a los «minerales críticos», usando herramientas fiscales

---

19. Benchmark Mineral Intelligence «More than 300 new mines required to meet battery demand by 2035» 6 de septiembre de 2022. <https://www.benchmarkminerals.com/membership/more-than-300-new-mines-required-to-meet-battery-demand-by-2035/>

20. Kim, Tae-Yoon «Critical Minerals Threaten a Decades-Long Trend of Cost Declines for Clean Energy Technologies – Analysis» Agencia Internacional de la Energía, 18 de mayo de 2022 <https://www.iea.org/commentaries/critical-minerals-threaten-a-decades-long-trend-of-cost-declines-for-clean-energy-technologies>.

y regulatorias para incentivar la producción de litio y, en Estados Unidos, otros sectores extractivos vinculados a la transición energética.<sup>21</sup> Concretamente esto ha derivado en inversiones directas, exenciones fiscales, préstamos, dotaciones para la investigación y el desarrollo, reducción del riesgo financiero asignado a ciertas actividades y la aprobación acelerada de licencias y permisos. Este tipo de políticas son evidentes en la Ley para la Infraestructura, la Inversión y los Empleos (2021), la Ley para la Reducción de la Inflación (2022) y la Alianza Europea para las Materias Primas (ERMA, por sus siglas en inglés) y en las acciones de agencias e instituciones específicas como el Departamento de Energía, el Banco Europeo de Inversiones, el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología, etc.

A nivel práctico, esto ha derivado en el impulso de nuevos proyectos mineros de litio en el Norte global (el estado estadounidense de Nevada tiene más de 50 proyectos de litio en desarrollo ahora mismo),<sup>22</sup> junto con la extracción y la identificación de la minería en los principales productores del mundo actuales como Chile y Argentina. Este enfoque de la descarbonización del transporte basado en la intensificación de la minería y el uso y la producción masiva de VE para pasajeros individuales es hoy en día la principal razón detrás de la demanda de litio —y, consecuentemente, de las nuevas minas de litio.<sup>23</sup>

En este contexto está claro que los modelos de demanda de litio, que estiman las necesidades de litio de sectores de transporte de cero emisiones dominados por los vehículos eléctricos de pasajeros, no solo reflejan el futuro; también le dan forma. Armados con las predicciones de la Agencia Internacional de la Energía, la *Bloomberg New*

*Energy Finance*, Benchmark Minerals y el Banco Mundial,<sup>24</sup> los responsables políticos y los representantes del sector privado abogan por acelerar la concesión de permisos, dismantlar la regulación medioambiental y conceder subsidios directos a la industria minera. Mientras tanto las compañías productoras de litio obtienen beneficios récord y gozan de una cotización en bolsa boyante y de una fuerte competencia entre los compradores finales de sus productos.<sup>25</sup>

Ante esto coma es crucial ofrecer una visión diferente del futuro. Las personas que hemos redactado este informe entendemos que cierto nivel de minería es necesaria mientras las sociedades llevan a cabo la labor histórica de construir un nuevo sistema energético mediante las tecnologías y las infraestructuras que son producidas con insumos minerales. **En este informe alegamos sin embargo que hay margen de maniobra en cuanto al volumen de las extracciones, así como el lugar dónde se realizan las extracciones, sus circunstancias, el grado de los impactos sociales y medioambientales asociados y la manera en la que se gobierna todo el proceso. Como colofón, señalamos como una de las palancas disponibles más importante para reducir los impactos dañinos vinculados a la minería está justo al otro lado de la cadena de suministros: en el entorno urbano y las tecnologías de transporte electrificado.** Cuanto más sea capaz EE. UU. de construir un panorama de futuro del transporte de cero emisiones que atienda a la reducción de su consumo de litio, más coherente será este futuro con la justicia global. Un futuro del transporte que minimice su dependencia de una cadena de suministro atravesada por el conflicto geopolítico y el poder corporativo reducirá también su vulnerabilidad ante perturbaciones políticas y del mercado.<sup>26</sup>

---

21. Kalantzakos, Sophia «The race for critical minerals in an era of geopolitical realignments» *The International Spectator* 55, no. 3 (2020): 1-16; Riofrancos, Thea «The Security–Sustainability Nexus: Lithium Onshoring in the Global North» *Global Environmental Politics* (2022): 1-22; Scholten, Daniel, Morgan Bazilian, Indra Overland y Kirsten Westphal «The geopolitics of renewables: New board, new game» *Energy Policy* 138 (2020): 111059.

22. Para más información con respecto a este número consulte el mapa elaborado por Patrick Donnelly, director en Great Basin para el Center for Biological Diversity: <https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1kq8TRUSMR97kg-XQ22kdQpE4lUT0Rj49&ll=38.27493251229278%2C-111.5045488&z=6>.

23. McKerracher, Colin «EV Outlook 2022» *BloombergNEF*, junio de 2022. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.

24. Frente a las previsiones de estas organizaciones, Goldman Sachs ha pronosticado sistemáticamente un equilibrio entre la oferta y la demanda y recientemente ha llegado incluso a predecir un exceso de oferta. En

---

nuestra discusión sobre estimaciones más adelante vamos a tratar más en profundidad estas divergencias de pronósticos. Ver: Sun, Kerry «Lithium Stocks Smashed after Bearish Notes from Goldman Sachs and Credit Suisse» *MarketIndex.com.au*. Market Index, 15 de noviembre de 2022

25. Lee, Annie «China's Lithium Giants Report Record Earnings as Prices Soar in Supply Shortage» *Bloomberg*, 31 de agosto de 2022. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-08-31/china-s-lithium-giants-notch-earnings-records-on-supply-crunch>; McKenna, BA «Albemarle Earnings Reflect Continued Strong Lithium Demand and Prices» *The Motley Fool*, 8 de agosto de 2022. <https://www.fool.com/investing/2022/08/08/alb-stock-alb-earnings-albemarle-stock-earnings/>; «Chile's SQM Profit Soars on High Lithium Prices» *Reuters*, 19 de mayo de 2022. <https://www.reuters.com/business/energy/chiles-sqm-net-rises-12-fold-high-lithium-prices-2022-05-19/>.

26. Para un análisis de los «minerales críticos» como nuevo epicentro del conflicto geopolítico ver: Kalantzakos, Sophia «The race for critical minerals in an era of geopolitical realignments» *The International Spectator* 55, no. 3 (2020): 1-16.



Figura 2. Estudios de caso a nivel global.

En la siguiente sección el informe ofrece un contexto básico del estado del litio y sus cadenas de suministro que incluyen las propiedades físicas del elemento, su distribución geográfica y su importancia para las baterías de iones de litio (BIL) en VE. Es una visión general de los aspectos sociales y ecológicos de la extracción de litio en roca y en salmuera ilustrados por cuatro estudios de caso en los Estados Unidos, Argentina, Chile y Portugal que analiza también los modelos actuales para proyectar las necesidades de extracción de litio para la descarbonización del transporte.

A continuación, el informe identifica cuatro posibles escenarios de descarbonización de la movilidad; cada uno representa un futuro del transporte de cero emisiones distinto.<sup>27</sup> Más allá de este elemento común, se diferencian a partir de varios aspectos centrales, que incluyen el reparto modal en el transporte, la densidad de las áreas urbanas<sup>28</sup> y los índices de propiedad de vehículos. Cada uno de estos factores tiene implicaciones concretas en cuanto a la intensidad del consumo de litio. En términos específicos, el Escenario 1 mantiene el statu quo de la dependencia de coche en Estados Unidos y su dispersión espacial, pero sustituye todos los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos. Frente a esto, el Escenario 4 sustituye todos los vehículos de con motor de combustión interna por vehículos eléctricos, pero reduce también el porcentaje de viajes en turismos y los índices generales de propiedad de turismos; aumenta el uso del transporte público, en bici o a

pie, y prevé áreas metropolitanas densificadas que permiten una mayor movilidad mediante transporte público y activo.

El siguiente paso es traducir la necesidad de vehículos en necesidad de litio. Calculamos el total de la capacidad necesaria de batería para cada escenario usando datos históricos de la venta de VE, pronósticos, y el tamaño medio de las baterías, para luego hacer una estimación del material necesario en base a la composición química del cátodo y la intensidad del consumo de litio de las baterías para VE. Esto nos permite hacer una estimación de cuánto litio sería necesario entre 2020 y 2050 en cada escenario de movilidad. El modelo también tiene en cuenta modelos de reposición del parque automovilístico, tamaños de las baterías, periodos de garantía y reciclaje.

Los resultados demuestran que cambios en el statu quo del reparto modal y en el diseño de los vehículos (es decir, en el tamaño de las baterías) influye de manera significativa la demanda acumulada de baterías de BIL —y, en consecuencia, del litio necesario para producirlas. **Comparado las distintas proyecciones de futuros de movilidad con el Escenario 1, los escenarios 1, 2 y 3 permiten una reducción en la demanda de litio de un 18, 41 y 66 por ciento respectivamente.** El tamaño de las BIL influye en la demanda de litio y, junto al nivel de eficiencia de los vehículos, determina la distancia que un VE puede recorrer entre recargas. Así, en términos caunto

27. Los parámetros se determinaron en base a un estudio de los datos globales sobre sistemas de transporte que se presenta junto a los escenarios de descarbonización de la movilidad.

28. En este informe, el término «áreas urbanas» se basa en la definición de la Oficina Nacional de Censos de Estados Unidos, que incluye tanto las zonas rurales urbanizadas como los centros urbanos, los suburbios y las periferias de menor densidad. Ver: «Urban and Rural» Census.gov., Oficina Nacional de Censos de Estados Unidos, 3 de octubre de 2022. <https://www.census.gov/programs-surveys/geography/guidance/geo-areas/urban-rural.html>.

**Tabla 1. Escenarios**

Escenario	Descripción
Escenario 1	Escenario base: Los sistemas actuales de transporte privado y uso del suelo permanecen inalterados. Los índices de uso y propiedad de automóviles permanecen constantes y el número de vehículos necesarios sólo varía según la población. Del mismo modo, el sistema de transporte público sólo varía en función del crecimiento demográfico.
Escenario 2	<p>Escenario de cambio modal: Cada vez hay más gente que va a pie, en bicicleta, y/o en autobús o tren, en lugar de depender del coche para la inmensa mayoría de sus desplazamientos. Los niveles de dependencia del automóvil en las ciudades y suburbios de EE. UU. se ajusta a los de ciudades equivalentes de la UE.</p> <p>El reparto modal en EE. UU. en zonas urbanas (la proporción de personas que se desplazan en vehículo privado, transporte público y por medio de la movilidad activa), se ajusta a las medias actuales de las ciudades europeas, donde los ingresos y la densidad son relativamente parecidos, pero donde las políticas públicas y las reformas en las infraestructuras han propiciado un cambio sustancial de los desplazamientos en detrimento del vehículo privado en los últimos años.<sup>29</sup> El reparto modal en zonas rurales en los EE. UU. permanece inalterado.</p>
Escenario 3	<p>Escenario de cambio modal junto a otras políticas: La transición modal del Escenario 2 se añaden cambios en el uso del suelo y así como otros cambios políticos y legislativos. Las ciudades están más densamente pobladas, con ambientes construidos que propician la movilidad activa y el transporte público; la propiedad del automóvil resulta inconveniente y obtiene menos subvenciones, lo que conduce a un gran descenso de la propiedad privada de automóviles.</p> <p>Más concretamente, la proporción de población en las zonas rurales se mantiene inalterada, pero la densidad demográfica de muchas zonas urbanas aumenta ligeramente hasta niveles que admiten un mayor porcentaje de movilidad activa y transporte público. Este escenario también aplica los cambios políticos y legislativos que reducen los índices de propiedad de automóviles relativos a su nivel de uso, equiparando de nuevo el escenario a los de otras ciudades mundiales comparables. El transporte público también empieza a reducir su intensidad de uso de litio por viaje, transicionando más bien hacia la electrificación ferroviaria que hacia los autobuses, aunque nuestra modelización demostrará que esto influye mucho menos en las necesidades de litio que la reducción del uso y la propiedad de automóviles.</p>
Escenario 4	<p>Escenario más ambicioso: Se producen cambios similares a los de los Escenarios 2 y 3, pero los cambios son más drásticos. Cada vez más personas utilizan el transporte público, la bicicleta y los desplazamientos a pie para llegar a sus destinos, y cada vez más personas viven en zonas urbanas de densidad media donde las distancias entre el hogar, el trabajo, la escuela y la vida social son reducidas. Los cambios en el ambiente construido, la política y las leyes reducen aún más la intensidad de uso de recursos del sistema de transporte.</p> <p>Más concretamente, el reparto modal de transporte refleja la consecución de objetivos ambiciosos similares a los fijados por ciudades como Viena, que como objetivo explícito disminuir el nivel de uso del coche para mejorar la habitabilidad y la sostenibilidad. Los niveles de uso del automóvil se corresponden con niveles más bajos de propiedad de automóviles, lo que refleja una menor dependencia, similar a la que existe en la actualidad en otras ciudades comparables del mundo; la necesidad de autobús respecto a los niveles de tránsito en transporte público disminuyen aún más.</p>

29. Nos centramos principalmente en las ciudades europeas por la exhaustividad de los datos y semejanza con las ciudades estadounidenses. Este aspecto se analiza con más detalle en el apéndice.

menor sea el vehículo y menos distancia deba recorrer, menor será el tamaño de su batería. El mercado estadounidense cuenta históricamente con una mayor presencia de BIL que la media global. Por ejemplo, en 2021 el VE medio a nivel global tenía una capacidad de batería de apenas 40 kWh, mientras que el VE estadounidense tenía una capacidad media de unos 70 kWh, aproximadamente el doble de capacidad que hace una década.<sup>30</sup> Los modelos de VE de uso privado más grandes en el mercado de EEUU necesitan baterías de 150 kWh. Como referencia: la BIL de una bicicleta eléctrica estándar de medio kWh, o incluso menos.

**Esta modelación explora tres futuros donde la batería de los vehículos eléctricos estadounidenses es pequeña, reduciéndose a 54 kWh; mediana, quedándose casi sin moverse en 77 kWh; o grande, creciendo hasta los 123 kWh. La demanda acumulada de litio podría reducirse en casi un tercio (un 29 %) en el Escenario 1; es decir, si la capacidad media de las baterías pasa de mediana a pequeña.** Estos resultados sugieren que reducir la demanda de turismos, densificar los núcleos urbanos y mantener y reducir el tamaño de las baterías son las vías más efectivas para reducir la demanda de litio futura. Proponer transformar el sector de transporte de EEUU, que está profundamente integrado en el paisaje nacional de autopistas y zonas de estacionamiento, suburbios dispersos y casas unifamiliares, así como en los hábitos diarios, identidades culturales e incluso nociones de libertad y autonomía, puede parecer demasiado ambicioso. Pero, pese a las dificultades, es de vital importancia expandir los horizontes de posibilidad en debates sociales críticos sobre la crisis climática, la transición energética y el rápido crecimiento de la inversión verde. El enfoque actual centrado en el coche no está exento de dificultades dado el acuciante estrangulamiento de la oferta y los impactos de la extracción de litio y demás «minerales críticos». **En todos los escenarios modelados en este informe excepto en los más ambiciosos, la demanda de litio estadounidense supera de lejos la producción actual del mineral.** Si el *statu quo* actual continúa sin modificarse hasta 2050, tan solo la demanda de litio estadounidense derivada de los VE necesitaría que la producción de litio global se triplicara —y esto incluye la de la UE y China, mercados que actualmente son mayores que el de Estados Unidos. Incluso si se cumplieran las condiciones ideales para el reciclaje y fuera posible reducir la demanda en un tercio, la demanda de litio estadounidense derivada de los VE excedería la producción global a un ritmo insostenible.

---

30. Placek, Martin «Worldwide Battery Capacity in Electric Vehicles 2025» Statista, 22 de marzo de, 2021. <https://www.statista.com/statistics/309584/battery-capacity-estimates-for-electric-vehicles-worldwide/>; «Light-Duty Electric Vehicle Sales Model» EV Volumes. EV Data Center, 2022. <http://www.ev-volumes.com/datacenter/>.

Un sector de transporte de cero emisiones que redujera la dependencia del coche en favor de la expansión del transporte público, a pie y en bicicleta junto a una planificación urbana y suburbana que permitiera estos cambios traería consigo una multitud de beneficios asociados. Entre ellos, la reducción de las muertes y lesiones, la polución derivada y los neumáticos y los frenos y la carga financiera sobre propietarios de coche de bajos ingresos, e incluso una menor segregación residencial por clase y raza. Paralelamente, se mejoraría el bienestar físico y la resiliencia de las economías locales. El informe de Climate and Community Project de 2022, «A Green New Deal for Transportation», delineaba precisamente esta visión de una red de movilidad verde y medioambientalmente justa, con recomendaciones específicas de políticas públicas y programas para transformar el sector de transporte de EEUU.<sup>31</sup>

Si queremos construir esta visión de futuro, el movimiento por la justicia climática debe presentar un frente unido que se oponga a la extracción motivada por el lucro que daña comunidades y ecosistemas. Las comunidades que están en la primera línea de la extracción de litio se ven confrontadas con demasiada frecuencia a los activistas por el clima que luchan por la descarbonización del sistema de transporte. Este informe intenta contribuir a una visión unificadora que concilie la justicia en la cadena de suministros con la justicia climática, medioambiental, indígena y de movilidad a nivel globales, reduciendo el papel de la minería en la descarbonización del transporte y, a la vez, beneficiando a comunidades en todos y cada uno de los nodos que conforman la cadena de suministros de litio. Para ello el desarrollo de este informe se ha llevado a cabo bajo un proceso continuado de revisión comunitaria con organizaciones aliadas en Nevada (People of Red Mountain, Great Basin Resource Watch), Chile y Argentina (Observatorio Plurinacional de Salares Andinos; Fundación Ambiente y Recursos Naturales) y Portugal (Associação Unidos em Defesa de Covas do Barroso). Estas organizaciones fueron consultadas desde las primeras fases del desarrollo de esta investigación hasta la presentación de sus resultados en un esfuerzo para garantizar que los puntos de vista en la primera línea de la industria del litio fueran incluidos de forma fidedigna en la amplia discusión sobre los distintos caminos hacia un transporte de cero emisiones.

---

31. Freemark, Yonah, Billy Fleming, Caitlin McCoy, Rennie Meyers, Thea Riofrancos, Xan Lillehei, Daniel Aldana Cohen. «Toward a Green New Deal for Transportation: Establishing New Federal Investment Priorities to Build Just and Sustainable Communities» Climate and Community Project, 2022.



Las decisiones en el ámbito del transporte que se toman en EE. UU. tienen implicaciones en comunidades y paisajes de todo el mundo, ya que son cadenas globales de suministros las que proveen los materiales críticos para la fabricación de vehículos eléctricos para el mercado de EE. UU. Por otro lado, los patrones de consumo estadounidenses construyen un modelo aspiracional para personas ricas y con movilidad ascendente a lo largo y ancho del mundo. Estados Unidos no solo tiene la responsabilidad de reducir su parte correspondiente de las emisiones, también tiene la responsabilidad de reducir la presión sobre cadenas de suministro globales dañinas y vulnerables y ofrecer de ejemplo de un futuro del transporte diferente. Esperamos que este informe contribuya de alguna forma a ello.

“

**Las decisiones en el ámbito del transporte que se toman en EE. UU. tienen implicaciones en comunidades y paisajes de todo el mundo**

”

# EL LITIO Y LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El litio es un metal blanco y blando tan reactivo que tan solo se encuentra de forma compuesta con otros minerales en el medio natural. Es el 33.º elemento más común en el planeta.<sup>32</sup> Ahora mismo, los recursos minerales de litio a nivel global ascienden a aproximadamente 89 millones de toneladas, y las reservas a 22 millones de toneladas.<sup>33</sup> A nivel geológico los depósitos de litio son bastante abundantes y están ampliamente distribuidos por todo el mundo. Pero la producción de litio está altamente concentrada a nivel geográfico; el 95 % de la producción global de litio se concentra en tan solo cuatro países —Australia, Chile, China y Argentina.<sup>34</sup>

Si bien el litio tiene una multitud de usos que incluyen la medicina psiquiátrica, la cerámica, el vidrio y los lubricantes, aproximadamente dos tercios de la demanda de litio actual proviene de la producción de baterías recargables. Incluso en los bajos niveles actuales de adopción, los VE son ya el principal origen de esta demanda, ya que usan más de BIL enormes que constituyen entre el 30 y el 40% del valor de un vehículo eléctrico y usan cerca de 1000 veces más litio que los dispositivos electrónicos pequeños orientados al consumo como los teléfonos móviles. Esta demanda va a verse disparada a medida que se acelera la transición del vehículo de combustión interna al vehículo eléctrico, ya que el litio, que es el único elemento común en todas las diferentes composiciones químicas de baterías posibles, no es —por el momento— sustituible.

---

34. Aral, H., and A. Vecchio-Sadus «Lithium: Environmental Pollution and Health Effects» *Encyclopedia of Environmental Health*, 2011, 499–508. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52272-6.00531-6>.

33. Las cantidades de litio existentes se categorizan como depósitos, recursos y reservas. Con «depósitos» se hace referencia a cualquier tipo de cantidad de litio conocido, mientras que los recursos son depósitos que es físicamente posible extraer pero todavía no son económicamente viables, mientras que las reservas son recursos que pueden ser extraídos de forma económicamente viable. Ver: «Mineral Commodity Summaries 2022» U.S. Geological Survey, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

34. «Mineral Commodity Summaries 2022» U.S. Geological Survey, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

35. Ver Gráfico 1 en Lu, Sophie y James Frith «Will the Real Lithium Demand Please Stand up? Challenging the 1MT-by-2025 Orthodoxy»

## La composición química de las baterías de iones de litio

El litio es un elemento vital para las baterías recargables debido a su bajo peso y su alta conductividad. Una BIL consiste en un cátodo de polaridad negativa, un ánodo positivo, un líquido electrolítico, un separador y un conector de corriente positivo y otro negativo. El litio está almacenado en el cátodo y en el ánodo. Durante la carga, los iones de litio de carga negativa viajan del cátodo al ánodo y al colector de corriente negativa a través del separador mediante el electrolito; cuando la batería está en uso —es decir, cuando se descarga— este proceso se realiza a la inversa. La batería de un VE combina miles de estas células en un solo pack.

Hay otros tipos de composiciones químicas de BIL que usan en el cátodo, junto al litio, otros materiales; la más común es la de níquel con cobalto y manganeso.<sup>36</sup> Se están investigando tecnologías de baterías alternativas que no usan litio como las baterías de ion de sodio, pero todavía no son viables. Me están probadas a escala comercial, así que, ahora mismo los iones de litio son la única de tecnología viable en el futuro de los VE.<sup>37</sup>

## Proyecciones de ventas de VE y demanda de minerales para baterías actuales

En 2021, la producción global de litio estimada era de poco más de 100 000 toneladas y el consumo,

---

*BloombergNEF*, 28 de octubre de 2019. <https://about.bnef.com/blog/will-the-real-lithium-demand-please-stand-up-challenging-the-1mt-by-2025-orthodoxy/>; «Global Supply Chains of EV Batteries» *Global Energy Review* 2021. Agencia Internacional de la Energía, abril de 2021. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>; Graham, John D., John A. Rupp y Eva Brungard «Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security» *Sustainability* 13, no. 20 (2021): 11274. <https://doi.org/10.3390/su132011274>.

36. «Global Supply Chains of EV Batteries» *Global Energy Review* 2022. Agencia Internacional de la Energía, abril de 2022. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4eb8c252-76b1-4710-8f5e-867e751c8dda/GlobalSupplyChainsofEV Batteries.pdf>

37. Scott, Alex «Sodium Comes to the Battery World» *Chemical & Engineering News*, 24 de mayo de 2022. <https://cen.acs.org/business/inorganic-chemicals/Sodium-comes-battery-world/100/i19>

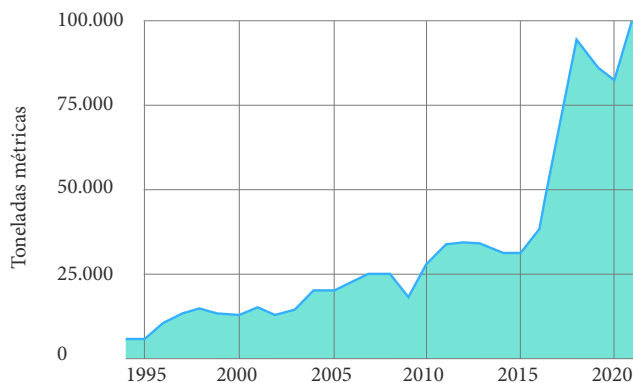


Figura 3: Producción de litio entre 1995-2022. Este gráfico no incluye la producción de Estados Unidos (actualmente cercana a los 1000). Fuente: USGS summaries 1994-2022.

de 93 000 toneladas.<sup>38</sup> Tanto la producción como el consumo se ha incrementado de manera significativa en los últimos años. También ha aumentado la localización de depósitos nuevos con subconjuntos que es factible extraer tanto a nivel tecnológico como económico.

**A pesar de estos descubrimientos recientes, la mayoría de los pronósticos predicen una brecha entre la demanda y la oferta en el mercado a corto y medio plazo que va a provocar una crisis de suministros de aquí a cinco o diez años —un periodo crítico durante el cual es imperativo llevar a cabo un rápido proceso de descarbonización si queremos evitar un calentamiento global todavía más catastrófico que el actual.** Este desequilibrio entre oferta y demanda se ve reflejado en los altos precios para el litio apto para baterías, que en septiembre de 2022 eran casi un 800 por ciento más altos que los del carbonato de litio y casi un 1000 por ciento que los del hidróxido de litio que a principios de 2021.<sup>39</sup> Se espera que, a la larga, estos altos precios atraigan la suficiente inversión como para hacer frente a la demanda. Sin embargo, las minas de litio tardan una media de 16,5 años en ser desarrolladas, lo cual puede derivar en un estrangulamiento de la oferta incluso en el caso de un aumento de la inversión.<sup>40</sup>

38. «Mineral Commodity Summaries 2022» *U.S. Geological Survey*, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

39. «Battery Materials» Fastmarkets. Fastmarkets. Consultado el 28 de octubre de 2022. <https://www.fastmarkets.com/newgen/battery-materials>.

40. IEA (2021), «The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions» IEA, París <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, License: CC BY 4.0

41. Burton, Mark. «Lithium Supply for EV Batteries Vary from Deficit to Surplus in Forecasts» *Bloomberg.com*. *Bloomberg*, 9 de febrero de 2022 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-02-09/lithium-s-feast-or-famine-future-keeps-ev-makers-guessing>.

Antes de adentrarnos en las previsiones actuales de la demanda de litio y su disponibilidad, parece necesario subrayar la gran disparidad de predicciones que van desde enormes déficits a grandes superávits.<sup>41</sup> Esta gran disparidad sugiere que actualmente no hay ningún consenso ni ninguna certeza en cuanto al futuro de las dinámicas del mercado. También refleja una importante disparidad en las premisas de las que parten los diferentes modelos en lo referente al ritmo de adopción de VE, la disponibilidad de suministros alternativos provenientes del reciclado de materias primas y las expectativas en cuanto al tiempo necesario para poner a producir minas; las predicciones más entusiastas asumen a pie juntillas la versión de las empresas mineras sobre la rapidez con la que pueden desarrollar sus proyectos. Tal y como hemos mencionado anteriormente, los pronósticos no solo sirven para el futuro —también determinan nuestro comportamiento en el presente. Las predicciones de una brecha en la oferta incentivan una preocupante carrera hacia la extracción e incrementan los precios del litio, los beneficios las compañías, y su cotización bursátil; mientras que las predicciones de un equilibrio entre la oferta y la demanda —o, incluso, un exceso de oferta—<sup>42</sup> tienden a estar basadas en las declaraciones de las empresas sobre sus propios cronogramas de producción, cuyo objetivo es atraer inversores y tienden a pecar de optimistas. Además, al contrario de nuestro análisis de flujo de materiales, ninguno de estos modelos compara diferentes itinerarios posibles hacia un transporte de cero emisiones. Por todas estas razones, es siempre necesario mantener una mirada crítica cuando interpretamos pronósticos de litio.

A pesar de esta diversidad, todos los pronósticos coinciden en señalar que el principal motor de la demanda del litio y de las nuevas minas de litio son los vehículos eléctricos. Se estima que la venta global de vehículos eléctricos en 2022 alcanzará los 10,6 millones, lo que representa un incremento de un 70 % con respecto a 2021 (y un incremento de un 333% con respecto a 2020) impulsado principalmente por las ventas en China y Europa.<sup>43</sup>

42. Para las recientes predicciones de exceso de demanda de Goldman Sachs ver: Sun, Kerry «Lithium Stocks Smashed after Bearish Notes from Goldman Sachs and Credit Suisse» *MarketIndex.com.au*. Market Index, November 15, 2022. <https://www.marketindex.com.au/news/lithium-stocks-smashed-after-bearish-notes-from-goldman-sachs-and-credit>.

43. «The Road to Electric Car Supremacy in Five Charts» *BloombergNEF*, 30 de agosto de 2022. <https://about.bnef.com/blog/the-road-to-electric-car-supremacy-in-five-charts/>. Cabe señalar que en algunos países de bajos y medianos ingresos se están expandiendo rápidamente el uso del transporte eléctrico. En el caso de la India esto está enfocado en el uso de motos y rickshaw eléctricos. Ver: Schmall, Emily, Jack Ewing y Atul Loke «India's Electric Vehicle Push Is Riding on Mopeds and Rickshaws» *The New York Times*, 4 de septiembre de, 2022.

El resto de esta sección va a revisar algunos modelos ya existentes de demanda de litio para el sector del transporte y/o de la movilidad personal. Estos informes usan enfoques similares al nuestro, e incluyen la definición de diferentes escenarios para la descarbonización del transporte y de la movilidad personal y la estimación de las necesidades de litio de cada uno de ellos. Tal y como señalaremos, este informe complementa estos modelos ofreciendo unos escenarios para la descarbonización más detallados que mantienen los niveles actuales de movilidad personal o los aumentan, y permiten así reducir más drásticamente el consumo de litio.

El 2022 Electric Vehicle Outlook de BloombergNEF (BNEF) examina la adopción del vehículo eléctrico y prevé la demanda de litio futura bajo la adopción de dos escenarios de adopción del vehículo eléctrico: una Transición Económica (una extrapolación de las políticas y las tendencias del mercado actuales) y un escenario de Neutralidad de Carbono (un sistema de transporte descarbonizado). En el escenario de Neutralidad de Carbono la demanda global de litio adicional alcanzaría las 30,3 toneladas en 2050, agotando así las reservas actuales ya en 2045, pero podría ser reducida a la mitad con nuevas composiciones químicas de baterías de nueva generación, que podrían permitir producir baterías más duraderas, de carga más rápida y capaces de almacenar más energía por masa de litio.<sup>44</sup> El informe tiene un escenario de «demanda reducida» caracterizado por la reducción de la dependencia del coche mediante un cambio en el reparto modal hacia los desplazamientos a pie, con bici o con transporte público. En este informe, esto lleva a una reducción de aproximadamente el 15 % en el parque automovilístico global. Si lo comparamos con el escenario de Transición Económica de BNEF, más moderado —se basa en un 69 % de VE en el parque automovilístico de turismo global en 2050—, el escenario de reducción de la demanda produce una reducción de la demanda de baterías para VE de cara a 2050 de 433 GWh, que es más que el total de las baterías de vehículos eléctricos que se vendieron en 2021.<sup>45</sup> BNEF no hace una modelización explícita de la reducción de la demanda de litio que acarrearía probablemente un escenario de «reducción de la demanda».

De Blas et al. (2020) adoptan un enfoque similar, con una notable mayor variación entre los diferentes

escenarios de adopción del vehículo eléctrico: «Tendencias previstas de vehículos eléctricos», alto nivel de adopción del vehículo eléctrico, alto nivel de adopción de bicicletas eléctricas y «decrecimiento».<sup>46</sup> El escenario de tendencias previstas proyecta los índices actuales de coches en propiedad junto a una adopción significativa pero incompleta del VE, resultando en una demanda adicional de litio de 9,2 millones de toneladas — una cantidad prácticamente igual a los suministros globales actuales en las reservas de litio. El escenario con una alta adopción de bicicletas eléctricas implicaría una transformación a gran escala de abandono del coche en favor de modos de micromovilidad y requeriría 6,3 millones de toneladas de litio, tan solo una fracción de la demanda del escenario basado en una alta adopción del vehículo eléctrico. El escenario basado en el decrecimiento une la adopción masiva de la micromovilidad con una reducción generalizada de la demanda de transporte y implicaría 3,7 millones de toneladas.

Si bien la contribución de de Blas et al. es valiosa, su estudio hace un modelo del sector del transporte en su conjunto, sacrificando así hasta cierto punto su exactitud y la cantidad de escenarios. Blas et al. simplifican la gama de reparto modal posible, y no tratan de manera directa las tasas de propiedad de vehículos, el tamaño de las baterías de VE o los patrones de densificación urbana. Frente a esto, nuestro modelo se centra únicamente en el sector del transporte de Estados Unidos y sus itinerarios potenciales hacia la descarbonización.

Otro modelo de adopción global de VE y su demanda de mineral asociada es el de Benchmark Mineral, que estima que en 2035 entre 59 y 74 nuevas minas de litio serán necesarias para poder hacer frente a su proyección de la demanda de 4 millones de toneladas al año, aproximadamente el 18 % de las reservas de litio actuales, y un incremento de 4200 % en comparación con la producción actual.<sup>47</sup> El rango (59-74) refleja una incertidumbre sobre la capacidad de reciclaje del mineral y el papel que la materia prima reciclada puede jugar en para la satisfacción de la demanda de litio.

Por último, la Agencia Internacional de la Energía proyecta 1,1 millón de toneladas de demanda anual de litio de cara al 2040 en su Escenario de Desarrollo Sostenible y estima que el mundo va a necesitar cerca de dos mil millones

44. McKerracher, Colin. «EV Outlook 2022» *BloombergNEF*, junio de 2022. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.

45. McKerracher, Colin. «EV Outlook 2022» *BloombergNEF*, junio de 2022. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.

46. de Blas, Ignacio, Margarita Mediavilla, Iñigo Capellán-Pérez y Carmen Duce «The Limits of Transport Decarbonization under the

Current Growth Paradigm» *Energy Strategy Reviews* 32 (2020): 100543. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100543>.

47. Benchmark Mineral Intelligence, “More than 300 new mines required to meet battery demand by 2035,” September 6, 2022. <https://www.benchmarkminerals.com/membership/more-than-300-new-mines-required-to-meet-battery-demand-by-2035/>.

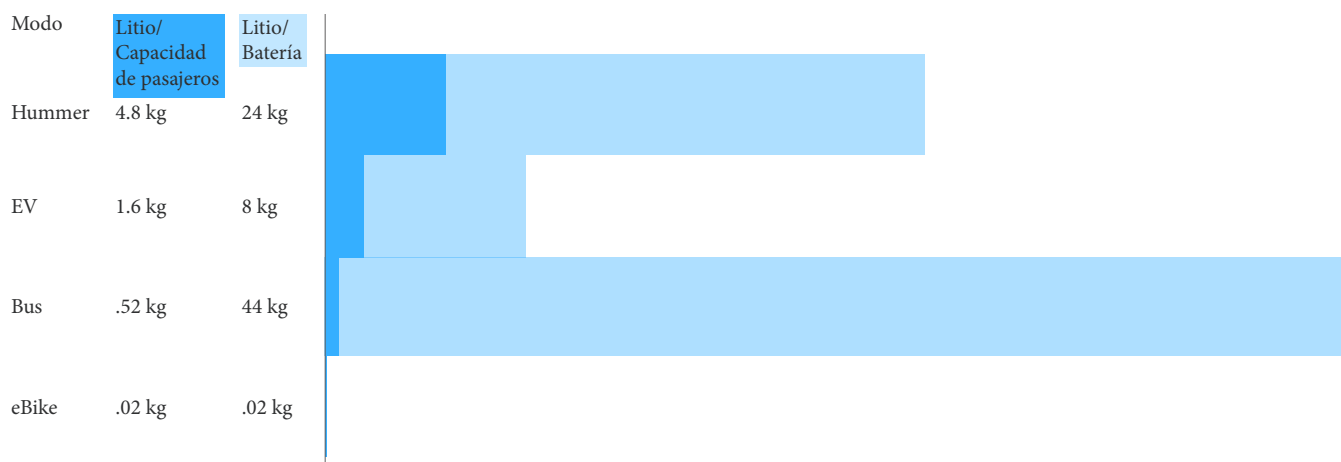


Figura 4. Tabla comparativa de la intensidad de consumo de litio del e-Hummer, el autobús eléctrico y la bicicleta eléctrica.

de vehículos eléctricos de cara al 2050 si queremos conseguir alcanzar la neutralidad de emisiones de gases invernadero.<sup>48</sup> En 2020 había aproximadamente 1300 millones de turistas activos, así que esto implicaría un incremento masivo del parque automovilístico global de turistas; es decir, refleja una aceptación de la expansión de un sistema de transporte centrado en el coche en todo el mundo.<sup>49</sup>

Sustituir uno a uno todos los vehículos de combustión interna activos con vehículos eléctricos es sencillamente inviable, especialmente en el contexto del urgente cronograma que es necesario adoptar para mitigar la crisis climática.<sup>50</sup> Esto requeriría significativos aumentos en la extracción de minerales como el litio y el cobalto para packs de baterías de VE, así como una cantidad enorme de electricidad. En los Estados Unidos, los investigadores estiman que los 350 millones de vehículos eléctricos necesarios para descarbonizar el parque automovilístico de cara al 2050 podrían llegar a usar hasta la mitad de la demanda eléctrica nacional de Estados Unidos.<sup>51</sup> La cuestión de la demanda de minerales para baterías se ve especialmente exacerbada en los Estados Unidos debido

a la actual preferencia por vehículos privados de gran tamaño como los vehículos utilitarios deportivos y los camiones de largo recorrido. Si se mantiene este patrón de consumo y una política nacional de tendencia escéptica frente a la ineficiencia y la intensidad material de los vehículos eléctricos, los Estados Unidos van a necesitar bastante más material para fabricar su parque de VE y electricidad para impulsarlo. Un ejemplo de esto es el GMC Hummer 2022 eléctrico, que pesa más de cuatro toneladas y cuenta con un pack de baterías de más de 1,3 toneladas —aproximadamente tres veces el tamaño de un pack de batería de VE medio y cientos de veces el tamaño de la batería de una bicicleta eléctrica.<sup>52</sup> El «e-Hummer» representa una trayectoria más generalizada y preocupante: el pack de baterías medio vendido en los EE. UU. ha casi triplicado su capacidad desde el primer VE comercial, el Nissan Leaf, que fue un hito de ventas hace una década. Esta tendencia está impulsada principalmente por los vehículos eléctricos de Tesla, que han contado tradicionalmente con pack de baterías mayores que otros vehículos eléctricos, y que constituyen actualmente los vehículos eléctricos de mayor volumen en las carreteras de los Estados Unidos.<sup>53</sup>

48. IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, License: CC BY 4.0; IEA (2021), *Net Zero by 2050*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>, License: CC BY 4.0.

49. «International Energy Outlook 2021» U.S. Energy Information Administration, 6 de octubre de 2021. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>.

50. Alarfaj, Abdullah F, W Michael Griffin y Constantine Samaras «Decarbonizing US Passenger Vehicle Transport under Electrification and Automation Uncertainty Has a Travel Budget» *Environmental Research Letters* 15, no. 9 (2020): 0940c2. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7c89>.

51. Milovanoff, Alexandre, I. Daniel Posen y Heather L. MacLean «Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet Alone Will Not Meet Mitigation Targets» *Nature Climate Change* 10, no. 12 (2020): 1102–7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.

52. Hoffman, Connor y Dave VanderWerp «EPA Documents Reveal More Specs on the 2022 GMC Hummer EV Pickup» *Car and Driver*, 15 de febrero de 2022. <https://www.caranddriver.com/news/a39049358/2022-gmc-hummer-ev-pickup-epa-specs/>.

53. Ambrose, Hanjiro, Alissa Kendall, Mark Lozano, Sadanand Wachche y Lew Fulton «Trends in Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Future Light Duty Electric Vehicles» *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 81 (Abril 202). <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102287>.

La pregunta es: ¿Podría la reducción de la dependencia del coche en el sistema de transporte de Estados Unidos traducirse en una reducción en la demanda de litio y de nuevas minas para extraerlo? A parte de de Blas et al. (2020), ningún estudio ha comparado de manera sistemática la intensidad del litio de diferentes itinerarios hacia la descarbonización del transporte. Los estudios actuales, con la excepción de de Blas et al. y el escenario de «reducción de la demanda» de BloombergNEF, asumen una trayectoria en aumento en los índices de propiedad de coches a lo largo del tiempo, y su principal estrategia de descarbonización es la electrificación de este creciente parque automovilístico global a la vez que se descarboniza el sistema eléctrico. Pero BloombergNEF no analiza la demanda de litio, y el enfoque global de de Blas et al. se consigue a expensas de la especificidad o la aplicabilidad en el contexto atípicamente dependiendo del coche de los Estados Unidos.

Así, este informe hace varias aportaciones nuevas. Hay múltiples razones por las cuales es crucial identificar el amplio rango de estrategias para la descarbonización y los volúmenes de litio asociados a ellas. Este informe se centra en dos conjuntos de motivaciones para reducir la intensidad del litio de la transición hacia un transporte de emisiones cero. Por un lado, evitar los impactos dañinos de la extracción de litio (tanto la actual como la proyectada) y, por otro, los beneficios climáticos, medioambientales y sociales de sacar a la población de Estados Unidos de sus coches y ponerlos en autobuses, bicicletas y paisajes urbanos peatonalizados. Vamos a tratar todos y cada uno de estos temas en las siguientes dos secciones.

“

**La pregunta es: ¿Podría la reducción de la dependencia del coche en el sistema de transporte de Estados Unidos traducirse en una reducción en la demanda de litio y de nuevas minas para extraerlo?**

”

# EFFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE LITIO

Aunque en términos geológicos el litio es abundante, su extracción se concentra mayormente en Australia, Chile, Argentina y China. Por otro lado, la frontera de extracción del litio se ha extendido a nuevas regiones debido al afán de los productores de baterías y vehículos electrónicos por satisfacer la creciente demanda y a los gobiernos, especialmente los de China, Estados Unidos, Europa y Canadá, que incentivan la extracción nacional, expanden las cadenas de suministro nacionales y promueven alianzas geopolíticas que favorecen el comercio de litio y otros «minerales críticos». El resultado es la intensificación de la extracción en los países que encabezan la producción, así como la explotación minera y la exploración en áreas en las que la industria de litio era poca o inexistente.

El litio puede encontrarse en un amplio rango de depósitos: especialmente en roca, tanto dura (pegmatita, conocida comúnmente como espodumena) como blanda (arcilla), y en salmuera (tanto en salinas continentales como

en campos geotérmicos). Además, es posible extraer litio del «agua producida», que es un derivado del petróleo y el gas. Todas las minas de litio operativas en la actualidad son de salmuera o roca dura; el resto de los yacimientos (arcillas, geotérmicos y campos petrolíferos) requieren técnicas de extracción que sólo han sido probadas a nivel piloto. Por esa razón, la extracción de litio y los planes de procesado pueden variar mucho, y las nuevas técnicas de extracción implican una gran incertidumbre científica en cuanto a las consecuencias medioambientales de la producción a escala comercial, incluyendo las concernientes al uso de agua y los residuos que quedan en ésta.<sup>54</sup>

Además, el tipo de depósito de litio depende de la composición química que se necesite para la batería. La extracción de yacimientos rocosos libera hidróxido de litio, y la extracción y evaporación de depósitos salinos produce carbonato de litio (aunque éste puede convertirse en hidróxido de litio con procesos adicionales).<sup>55</sup> El hidróxido de litio se puede utilizar en composiciones químicas con alto contenido en níquel que permiten ciclos de autonomía más largos y no precisan cobalto, lo que hace más conveniente para fabricantes de baterías y por lo tanto, favorece la extracción de depósitos de roca.<sup>56</sup>

54. Flexer, Victoria, Celso Fernando Baspineiro, y Claudia Inés Galli. 2018. «Lithium Recovery from Brines: A Vital Raw Material for Green Energies with a Potential Environmental Impact in Its Mining and Processing» *Science of The Total Environment* 639 (octubre): 1188–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>.

55. Graham, John D., John A. Rupp, y Eva Brungard. «Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security» *Sustainability* 13, n.º. 20 (2021): 11274. <https://doi.org/10.3390/su132011274>.

**Tabla 2. Producción minera de litio global (toneladas métricas)**

País	Producción en 2021	Tipo de yacimiento
Australia	55.000	Roca dura
Chile	26.000	Salina
China	14.000	Roca dura y Salina
Argentina	6.200	Salina
Brasil	1.500	Roca dura
Zimbawe	1.200	Roca dura
EE.UU.	1.000	Salina
Portugal	900	Roca dura

Tabla 2. Producción minera global de litio (toneladas métricas). La información sobre la producción de litio en EE. UU. está restringida al público para evitar revelar datos privados de las compañías ya que toda la producción en la actualidad proviene de una sola mina propiedad de Albemarle.<sup>57</sup>

Como en todo tipo de minería, la extracción y el procesado de litio acarrear consecuencias sociales y ecológicas preocupantes. Entre ellas la contaminación, el agotamiento de agua, la pérdida de biodiversidad, y amenazas a los derechos humanos y a medios de vida no-mineros, a la soberanía indígena y a la integridad cultural.

Las amenazas a los derechos humanos y a la soberanía indígena son especialmente relevantes ya que gran parte de la minería existente o potencial se encuentra en tierras indígenas o muy cerca de ellas. **Concretamente en EE. UU., el 79 % de los depósitos de litio ocupan 35 millas de reservas indígenas americanas.**<sup>58</sup> La minería de litio en tierras indígenas se ha desarrollado omitiendo sustancialmente el Consentimiento Libre, Previo e Informado (CLPI), que se basa en un estándar internacional de derechos humanos —la Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas—, que reconoce el derecho de los pueblos indígenas a aprobar o detener el avance de proyectos que afecten a sus gentes, a su tierra o al desarrollo de su vida comunitaria. Aunque muchos de los daños causados por la minería pueden mitigarse, la destrucción de tierras sagradas o tribales transforma el entorno de manera permanente. Más abajo, en la sección dedicada a casos de estudio globales de explotaciones mineras, analizaremos el incumplimiento del CLPI y la falta de respeto hacia la soberanía indígena.

En este informe nos centraremos en un conjunto de tipos de depósitos y geografías de extracción de litio, tanto existentes como prospectivas, a fin de ilustrar las demoledoras consecuencias de la minería de litio. Aunque no se trata de un análisis exhaustivo de todos los proyectos y su impacto, nuestra selección abarca un rango de daños actuales y potenciales. Además, nuestra selección refleja

nuestras propias relaciones organizacionales con cinco comunidades evaluadoras que han contribuido a este informe: el Observatorio Plurinacional de Salares Andinos (que engloba a comunidades directamente afectadas y a sus aliadas en Chile, Argentina y Bolivia); la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (en Argentina), el Great Basin Resource Watch (en Nevada), the People of the Red Mountain (en Nevada), y representantes de la Asociación Unidos en Defensa de las Cuevas de Barroso (en Portugal). Por lo tanto, hemos centrado nuestro análisis en Chile, Argentina y Nevada, y hemos añadido Portugal, para así reflejar los planes de la Unión Europea (UE) respecto al aumento masivo de la minería de litio a nivel regional. Esta selección deja fuera dos emplazamientos muy importantes hoy en día en cuanto a producción global de litio: Australia y China. Existe una labor de investigación independiente muy limitada en ambos casos, pero para más información sobre el análisis de los impactos de esta industria en China, recomendamos leer Gu y Gao (2021), y para aprender más sobre las consecuencias de la minería de litio en Australia recomendamos leer Burgess y Downes (2021).<sup>59</sup>

A pesar de las características concretas de cada tipo de depósito, método de extracción y paisajes socio-naturales, los casos seleccionados muestran un patrón común de destrucción y riesgo. Una de las preocupaciones más comunes en los emplazamientos es el agua. Dependiendo del método de extracción, el agua se emplea en la extracción y/o procesado, y/o como sumidero para los residuos y la contaminación, y/o forma parte natural del depósito en sí (como ocurre en el caso de la salmuera<sup>60</sup>). Actualmente, el uso y/o la contaminación de agua es un tema especialmente controvertido debido a la sequía producida por el cambio climático. De hecho, todos y cada uno de los casos analizados a continuación

---

56. Agencia Internacional de la Energía. 2022. *Global EV Outlook 2022: Securing Supplies for an Electric Future*. OCDE.

57. Mineral Commodity Summaries 2022. U.S. Geological Survey, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>; «Albemarle to Double Silver Peak Lithium Production» 2021. Miningmagazine.com. 8 de enero de 2021. <https://www.miningmagazine.com/supply-chain-management/news/1402188/ablemarle-to-double-silver-peak-lithium-production>.

58. Block, Samuel. n.d. «Mining Energy-Transition Metals: National Aims, Local Conflicts Msci.com. Consultado el 23 de noviembre, 2022. <https://www.msci.com/www/blog-posts/mining-energy-transition-metals/02531033947>.

59. Gu, Guozeng, y Tianming Gao. 2021 «Sustainable Production of Lithium Salts Extraction from Ores in China: Cleaner Production Assessment» *Resources Policy* 74 (102261): 102261. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102261>; Burgess, Claire, Liz Downes, y Nat

---

Lowrye «Is Australian Lithium the Answer to Zero Emissions?» Aid/Watch, 23 de septiembre de 2021. <https://aidwatch.org.au/wp-content/uploads/2021/09/Will-Australian-Lithium-Bring-Us-Zero-Emissions.pdf>.

60. Para un mayor análisis de la salmuera como agua, véase: Blair, James, Ramon Balcázar, Javiera Barándirian, y Amanda Maxwell «Exhausted: How We Can Stop Lithium Mining from Depleting Water Resources, Draining Wetlands, and Harming Communities in South America.» n.d. NRDC. Consultado el 23 de noviembre, 2022. [https://www.nrdc.org/resources/exhausted-how-we-can-stop-lithium-mining-depleting-water-resources-draining-wetlands-and-;](https://www.nrdc.org/resources/exhausted-how-we-can-stop-lithium-mining-depleting-water-resources-draining-wetlands-and-) Ejeian, Mojtaba, Alexander Grant, Ho Kyong Shon, y Amir Razmjou. 2021 «Is Lithium Brine Water?» *Desalination* 518 (115169): 115169. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115169>; Garcés, Ingrid, y Gabriel Alvarez. 2020 «Water Mining and Extractivism of the Salar DE Atacama, Chile» *En Environmental Impact* V. Southampton UK: WIT Press.



tienen lugar en regiones asoladas por la sequía.<sup>61</sup> Más de la mitad de la producción global de litio ocurre en áreas con grandes necesidades de agua, un problema que se agrava más y más conforme se intensifica la crisis climática.<sup>62</sup> La datos sobre estos proyectos mineros y sus potenciales perjuicios no suelen compartirse de forma transparente ni equitativa con las comunidades afectadas, que sufren de escasez de recursos en comparación con las corporaciones y los gobiernos.<sup>63</sup> Por lo tanto, muchos proyectos actuales y futuros han suscitado una fuerte oposición por parte de la comunidad, reflejando una creciente tendencia general de desconfianza local hacia los proyectos mineros a gran escala, así como la incorporación de tácticas de oposición militantes por parte de las comunidades para hacerse oír.<sup>64</sup>

Por último, al mismo tiempo que el calentamiento global agrava los daños causados por la minería, el sector contribuye de forma directa a la crisis climática en dos aspectos significativos. En primer lugar, el sector minero es

el responsable de entre el 4 y el 7 % de las emisiones globales (tanto de las emisiones derivadas de las operaciones mineras como de la generación de energía).<sup>65</sup> En segundo lugar, la minería a gran escala y la infraestructura que requiere pueden destruir parajes que sirven de sumideros de carbono esenciales. Las selvas tropicales juegan un rol especialmente importante en este aspecto (de ahí la condena a la minería y otras industrias extractivas en el Amazonas). No obstante, los desiertos (categoría que engloba varias localizaciones descritas más abajo) también son sumideros de carbono.<sup>66</sup>

## Roca dura y arcilla

La extracción de roca se realiza mediante la excavación de mineral, principalmente de espodumena, de enormes fosas a cielo abierto y el uso de ácido sulfúrico para disolver los minerales excedentes, conservando sólo el litio y otros minerales valiosos. Australia, actualmente el mayor

---

61. Gilbert, Jonathan «Drought, High Costs Push Argentine Farmers to Grow More Soy» Bloomberg.com. Bloomberg, 21 de septiembre, 2022. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-21/drought-soaring-costs-push-argentine-farmers-to-grow-more-soy>; Bartlett, John «Consequences will be dire: Chile's water crisis is reaching breaking point» *The Guardian*, 1 de junio, 2022. <https://www.theguardian.com/world/2022/jun/01/chiles-water-crisis-megadrought-reaching-breaking-point>; Poore, Colton «Nevada's long-term dry spell: Megadrought or new normal?» *Reviewjournal.com. Las Vegas Review-Journal*, 20 de julio, 2022. <https://www.reviewjournal.com/local/local-nevada/nevadas-long-term-dry-spell-megadrought-or-new-normal-2608291>; «Drought prompts Portugal to restrict water use at more hydropower dams» Reuters.com. *Reuters*, 22 de septiembre, 2022. <https://www.reuters.com/business/environment/drought-prompts-portugal-restrict-water-use-more-hydropower-dams-2022-09-27/>.

62. IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>, License: CC BY 4.0.

63. Clavijo, Araceli, Walter F. Díaz Paz, Mauricio Lorca, Manuel Olivera Andrade, Martín A. Iribarnegaray, e Ingrid Garcés. 2022 «Environmental Information Access and Management in the Lithium Triangle: Is It Transparent Information?» *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/02646811.2022.2058770>.

64. Conde, Marta, y Philippe Le Billon «Why do some communities resist mining projects while others do not?» *The Extractive Industries and Society* 4.3 (2017), p. 683; Haslam, Paul Alexander, y Nasser Ary Tanimoune «The determinants of social conflict in the Latin American mining sector: new evidence with quantitative data» *World Development* 78 (2016): 401-419; Riofrancos, Thea. *Resource radicals: From petro-nationalism to post-extractivism in Ecuador*. Duke University Press,

2020; Scheidel, Arnim, Daniela Del Bene, Juan Liu, Grettel Navas, Sara Mingorría, Federico Demaria, Sofía Avila et al «Environmental conflicts and defenders: A global overview» *Global Environmental Change* 63 (2020): 102104; Temper, Leah, Sofía Avila, Daniela Del Bene, Jennifer Gobby, Nicolas Kosoy, Philippe Le Billon, Joan Martinez-Alier et al «Movements shaping climate futures: A systematic mapping of protests against fossil fuel and low-carbon energy projects» *Environmental Research Letters* 15, n° 12 (2020): 123004. Kuykendall, Taylor, Katya Bouckley, Filip Warwick, and Stephanie Tsao and Guarang Dholakia «Mining Faces Pressure for Net-Zero Targets as Demand Rises for Clean Energy Raw Materials» *S&P Global Commodity Insights*. 27 de julio, 2020.

65. Kuykendall, Taylor, Katya Bouckley, Filip Warwick, and Stephanie Tsao and Guarang Dholakia «Mining Faces Pressure for Net-Zero Targets as Demand Rises for Clean Energy Raw Materials» *S&P Global Commodity Insights*. July 27, 2020. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/coal/072720-mining-faces-pressure-for-net-zero-targets-as-demand-rises-for-clean-energy-raw-materials>.

66. Boyd, Susy «Carbon Sequestration in Our Desert Lands» n.d. *Desertreport.org*. Accessed November 23, 2022. <https://desertreport.org/carbon-sequestration-in-our-desert-lands-copy/>; Hribljan, John, et al «Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia» *Mires y Peat*. 15: 2015.; Molina, Verónica, et al. 2021 «Greenhouse Gases and Biogeochemical Diel Fluctuations in a High-Altitude Wetland» *The Science of the Total Environment* 768 (144370): 144370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144370>.; Molina, Verónica et al. 2018. «Distribution of Greenhouse Gases in Hyper-Arid and Arid Areas of Northern Chile and the Contribution of the High Altitude Wetland Microbiome (Salar de Huasco, Chile)» *Antonie van Leeuwenhoek* 111 (8): 1421–32. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1078-9>.

productor del mundo, obtiene su litio de la extracción de roca dura. Los depósitos de roca poseen concentraciones de litio más altas que las salmueras, pero el proceso extractivo es más complejo y costoso, produce más emisiones de gases de efecto invernadero, y requiere más cantidad de agua dulce.<sup>67</sup> El proceso del ácido deja tras de sí unos relaves residuales que también producen una contaminación considerable. Aparte de la intensidad de las emisiones, más del 90 % del concentrado de litio que se produce en Australia se envía a China para ser procesado aún más.<sup>68</sup>



## Estados Unidos

La normativa minera estadounidense es, en general, deficiente, y está muy desfasada. En territorios públicos federales, la minería sigue rigiéndose principalmente por la Ley General de Minería de 1872, que no contiene salvaguardias para el agua o el medio ambiente ni cláusulas para la consulta a los pueblos indígenas, por no hablar del consentimiento. En la actualidad, sólo hay una pequeña mina de litio en funcionamiento en EE. UU., Silver Peak, un yacimiento de salmuera situado en el suroeste de Nevada y gestionado por la

Albemarle Corporation, que produce algo menos de 1000 toneladas métricas de litio al año.<sup>69</sup> Sin embargo, el auge de la minería de litio de EE. UU. en tierra sugiere un aumento significativo de la extracción de roca. Casi al final de la administración Trump, a principios de 2021, la Oficina de Administración de Tierras del Departamento del Interior de EE. UU. aprobó un nuevo proyecto masivo de litio en tierras federales arrendadas a unos pocos cientos de kilómetros de distancia, en el condado de Humboldt, al noroeste de Nevada, llamado Thacker Pass. Thacker Pass es el emplazamiento de un gran yacimiento de litio de arcilla blanda. Lithium Nevada, empresa que desarrolla el proyecto y filial de Lithium Americas, afirma que puede producir 30 000 toneladas métricas de litio al año, lo cual, si se tratara de un país, convertiría al proyecto Thacker Pass en el segundo mayor productor de litio del mundo.<sup>70</sup>

La propuesta de extracción minera en Thacker Pass afectaría a más de 2300 hectáreas y duraría unos 41 años; y al final de su ciclo de explotación, la mina a cielo abierto quedaría completamente llena.<sup>71</sup> Una vez en marcha, la explotación minera utilizaría aproximadamente 6,4 millones de metros cúbicos de agua al año (equivalente al consumo de agua de unos 15 000 hogares estadounidenses) de un pozo de aguas subterráneas cercano.<sup>72</sup> Aun empleando tecnología punta, también produciría 270 000 litros de relaves residuales de arcilla a lo largo de su vida útil, que podrían a su vez filtrarse y contaminar el suelo y el agua de la zona.<sup>73</sup>

67. Chaves, Cristina, Elma Pereira, Paula Ferreira, y António Guerner Dias. 2021. «Concerns about Lithium Extraction: A Review and Application for Portugal» *The Extractive Industries and Society* 8 (3): 100928. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100928>; Jarod C. Kelly, Michael Wang, Qiang Dai, y Olumide Winjobi, «Energy, greenhouse gas, and water life cycle analysis of lithium carbonate and lithium hydroxide monohydrate from brine and ore resources and their use in lithium ion battery cathodes and lithium ion batteries» *Resources, Conservation and Recycling* 174 (2021): 105762

68. «Insights into Australian Exports of Lithium.» 2022. Oficina Australiana de Estadística. 8 de abril, 2022. <https://www.abs.gov.au/articles/insights-australian-exports-lithium>.

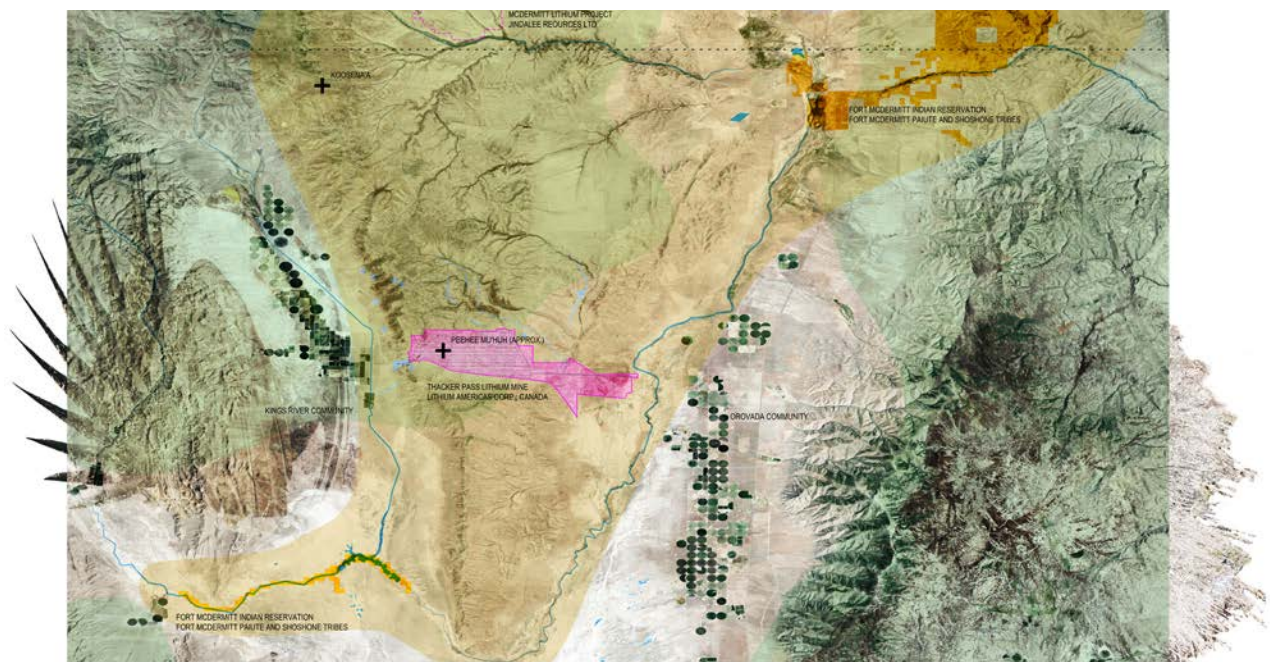
69. «Albemarle to Double Silver Peak Lithium Production» 2021. *Miningmagazine.com*. 8 de enero, 2021. <https://www.miningmagazine.com/supply-chain-management/news/1402188/ablemarle-to-double-silver-peak-lithium-production>.

70. Graham, John D., John A. Rupp, y Eva Brungard. «Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security» *Sustainability* 13, nº 20 (2021): 11274. <https://doi.org/10.3390/su132011274>.

71. Oficina de Administración de Tierras de los Estados Unidos, «Thacker Pass Lithium Mine Project Final Environmental Impact Statement,» 4 de diciembre, 2020, [https://eplanning.blm.gov/public\\_projects/1503166/200352542/20030633/250036832/Thacker%20Pass\\_FEIS\\_Chapters1-6\\_508.pdf](https://eplanning.blm.gov/public_projects/1503166/200352542/20030633/250036832/Thacker%20Pass_FEIS_Chapters1-6_508.pdf).

72. Para más información sobre el origen de este cálculo, véase: «How We Use Water» Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 24 de mayo, 2022. <https://www.epa.gov/watersense/how-we-use-water>; Oficina de Administración de Tierras de los Estados Unidos «Thacker Pass Lithium Mine Project Final Environmental Impact Statement,» 4 de diciembre, 2020, [https://eplanning.blm.gov/public\\_projects/1503166/200352542/20030633/250036832/Thacker%20Pass\\_FEIS\\_Chapters1-6\\_508.pdf/](https://eplanning.blm.gov/public_projects/1503166/200352542/20030633/250036832/Thacker%20Pass_FEIS_Chapters1-6_508.pdf/).

73. Emerman, Steven H. n.d. «Prediction of Seepage from the Clay Tailings Filter Stack (CTFS) at the Lithium Nevada Thacker Pass Mine, Northern Nevada» Great Basin Resource Watch. [https://www.gbrw.org/wp-content/uploads/2022/06/Exhibit-4-Thacker\\_Pass\\_Report\\_Emerman\\_Revised2.pdf](https://www.gbrw.org/wp-content/uploads/2022/06/Exhibit-4-Thacker_Pass_Report_Emerman_Revised2.pdf); Penn, Ivan, Eric Lipton, y Gabriella Angotti-Jones «The Lithium Gold Rush: Inside the Race to Power Electric Vehicles» *The New York Times*, 6 de mayo, 2021. <https://www.nytimes.com/2021/05/06/business/lithium-mining-race.html>.



Este proyecto se ha encontrado con una fuerte resistencia local por parte de diversos grupos (ecologistas, ganaderos y tribus indígenas), ya que no se consultó a las tribus locales ni se realizó una evaluación medioambiental adecuada. Las repercusiones ecológicas reales o potenciales del proyecto Thacker Pass incluyen el agotamiento de las aguas subterráneas, la contaminación y la destrucción del hábitat de especies como el urogallo de las artemisas, el águila real, la trucha degollada de Lahontan y el antílope americano.<sup>74</sup> A las personas que viven de la ganadería les preocupa particularmente que el consumo de agua de la mina repercuta negativamente en el pastoreo de su ganado. Además, existe el grupo Atsa Koodakuh wyh Nuwu (Pueblo de la Montaña Roja), formado por miembros de las tribus Payute y Shoshone del Fuerte McDermitt, que se organizan en contra de esta propuesta a la que llaman Peehee Mu'huh («luna podrida»). Esta zona tiene un significado cultural y espiritual para los miembros de la tribu porque en ella recolectan alimentos tradicionales y plantas

medicinales. Peehee Mu'huh es también el lugar de múltiples masacres de indígenas a manos de soldados estadounidenses, incluida la matanza de docenas de payutes en 1865.<sup>75</sup> Se desconoce la ubicación exacta de las tumbas de las víctimas; los documentos disponibles no la especifican. La última masacre indígena registrada en la zona ocurrió en febrero de 1911, cerca de las montañas de Santa Rosa. A diferencia de otros tipos de destrucción, los daños culturales como la profanación de tierras sagradas no pueden mitigarse.

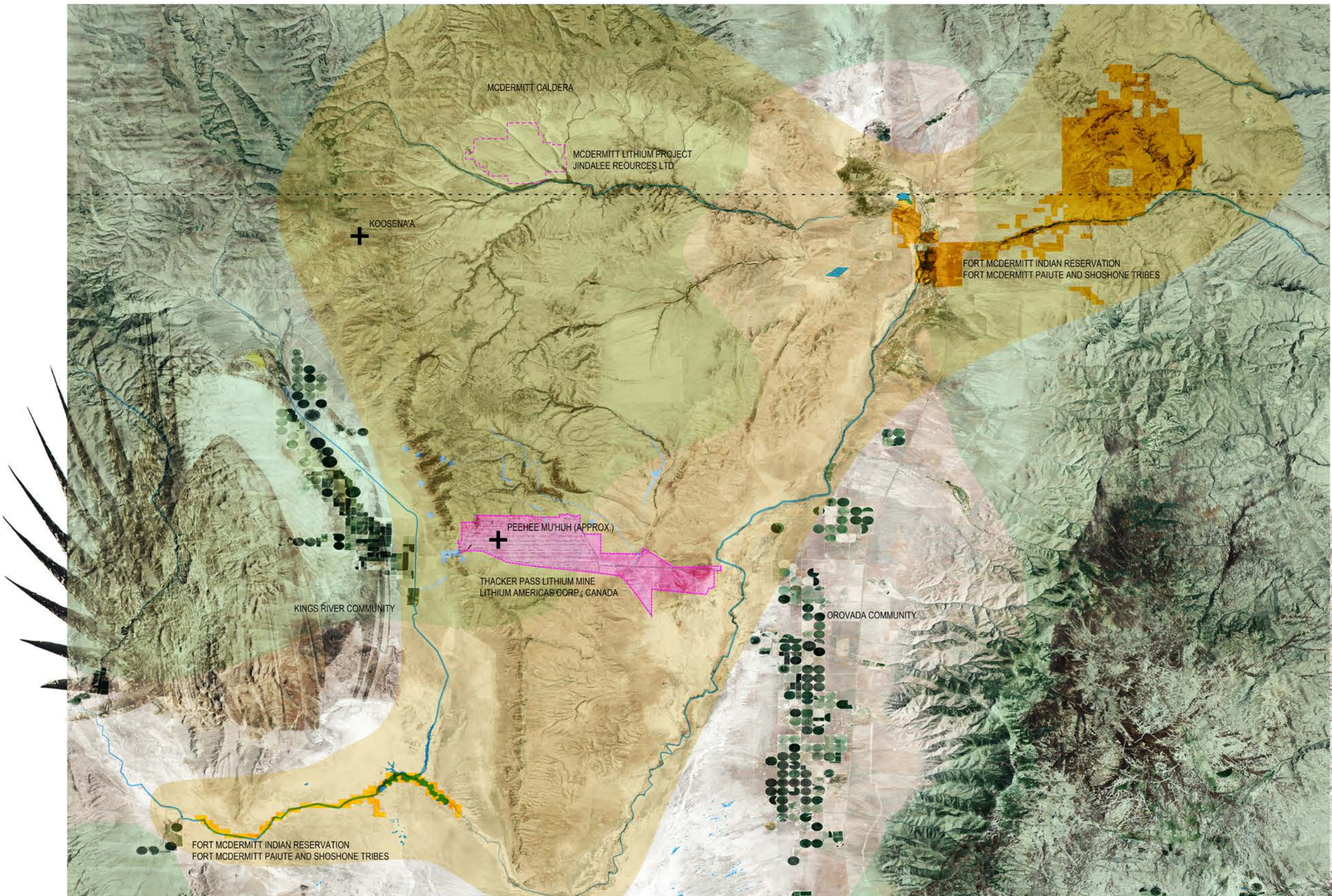
Una coalición de personas ganaderas (Edward Bartell), grupos indígenas (el Pueblo de la Montaña Roja, la Tribu Payute de Burns y la Colonia India de Reno-Sparks), así como organizaciones de justicia medioambiental (Great Basin Resource Watch, Basin and Range Watch y Wildlands Defense) han denunciado a la Oficina de Administración de Tierras con el fin de frenar el proyecto minero de Thacker Pass.<sup>76</sup> Esta demanda tiene una sesión fijada para el 5 de enero de 2023 y podría ser el último recurso legal para frenar el proyecto.<sup>77</sup>

74. Penn, Ivan, Eric Lipton, y Gabriella Angotti-Jones «The Lithium Gold Rush: Inside the Race to Power Electric Vehicles» *The New York Times*, 6 de mayo, 2021. <https://www.nytimes.com/2021/05/06/business/lithium-mining-race.html>.

75. Stone, Maddie «Native opposition to Nevada lithium mine grows» *Grist* 28 de octubre, 2021, <https://grist.org/protest/native-opposition-to-nevada-lithium-mine-grows/>.

76. Atkins, Chloe, y Christine Romo «The Cost of Green Energy: The Nation's Biggest Lithium Mine May Be Going up on a Site Sacred to Native Americans» NBC News. 10 de agosto, 2022. <https://www.nbcnews.com/specials/the-cost-of-green-energy-the-nation-s-biggest-lithium-mine-may-be-going-up-on-a-site-sacred-to-native-americans/index.html>

77. Reuters. 2022 «U.S. Court Sets January 2023 Hearing for Lithium Americas Mine Suit» 6 de octubre, 2022. <https://www.reuters.com/legal/us-court-sets-january-2023-hearing-lithium-americas-mine-suit-2022-10-06/>.



Thacker Pass, Nevada, EE UU

- Reserva
- Tierra sagrada
- Lugar indígena significativo
- Concesión minera
- Área de perturbaciones
- Agua
- Corrientes perennes y manantiales
- Sequía extrema (2022)
- Matorrales de artemisa

0 17000'

Fuentes

«Big Sagebrush (Artemisia Tridentata) Extent, North America | Data Basin» n.d. Consultada el 6 de noviembre, 2022. <https://databasin.org/datasets/94d42dae93e24d5cb701d381ff760e43/>.

«California-Nevada Drought Status Update | March 15, 2022» n.d. Drought.Gov. Consultada el 5 de noviembre, 2022. <https://www.drought.gov/drought-status-updates/california-nevada-drought-status-update-3-15-22>.

Callao, Chanda. 2022. «Mining Map Question» 19 de octubre, 2022.

Hadder, John. 2022a. «Map Review Question» 19 de octubre, 2022.

———. 2022b. «Map Review Question.» 24 de octubre, 2022.

Hinke, Daranda. 2022. «Mining Map Question» 29 de octubre, 2022.

Karl, Nick A, Jeffrey L Mauk, Tyler A Reyes, y Patrick C Scott. 2019. «Lithium Deposits in the United States» U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/P9ZKRWQF>.

«McDermitt Puts Jindalee at Top of US Lithium Stock-Pile» 2021. 4 de mayo, 2021. <https://www.mining-journal.com/resourcestocks-company-profiles/resourcestocks/1409509/mcdermitt-puts-jindalee-at-top-of-us-lithium-stock-pile>.

Mckinney, Gary. 2022. «Mining Map Question» 22 de octubre, 2022.

«National Hydrography Dataset (NHD) - USGS National Map Downloadable Data Collection» n.d. U.S. Geological Survey. Consultada el 6 de noviembre, 2022. <https://catalog.data.gov/dataset/national-hydrography-dataset-nhd-usgs-national-map-downloadable-data-collection>.

«Proposed Thacker Pass Lithium Mine | Great Basin Resource Watch» n.d. Consultada el 5 de noviembre, 2022. <https://gbrw.org/proposed-thacker-pass-lithium-mine/>.

«TIGER/Line Shapefile, 2020, Nation, U.S., American Indian/Alaska Native(Native Hawaiian (AIANNH) Areas» n.d. U.S. Departamento de Comercio de los Estados Unidos, Oficina del Censo, Geography Division, Spatial Data Collection and Products Branch (Editorial). Consultado el 5 de septiembre, 2022, <https://catalog.data.gov/dataset/tiger-line-shapefile-2020-nation-u-s-american-indian-alaska-native-native-hawaiian-aiannh-areas>.

Figura 5. Mapa de Nevada



## Portugal

Portugal cuenta con las reservas de litio más grandes de Europa.<sup>78</sup> Sin embargo, sus 60 000 toneladas métricas siguen constituyendo una reserva relativamente pequeña en comparación con las reservas de grandes productores como Australia y Chile. En la actualidad, Portugal produce litio de baja calidad para vidrio y cerámica, lo que representa algo menos del 1 % de la producción mundial de litio.<sup>79</sup>

A raíz de la crisis financiera de 2008, Portugal obtuvo unos préstamos de la UE y del Fondo Monetario Internacional que venían acompañados de políticas de ajuste estructural para incentivar la exploración de nuevas posibilidades de extracción y procesamiento de litio; del mismo modo, la Alianza Europea de Baterías y la Alianza de Materias Primas han promovido la extracción entre los estados miembros de la UE, ayudando a coordinar las cadenas de suministro y a garantizar la financiación de proyectos.<sup>80</sup> La UE quiere disponer de una cadena de suministro más

autosuficiente para la transición energética, y el gobierno portugués ha aprobado nuevas prospecciones de litio.<sup>81</sup> La compañía minera británica Savannah Resources ha propuesto para tal fin la mina de litio de Barroso, en el noreste de Portugal, que es mayor mina de litio de Europa. Pero este proyecto lleva años retrasado debido a la resistencia de la comunidad y a que las evaluaciones medioambientales siguen en curso.<sup>82</sup> La mina de Barroso produciría unos 14 millones de toneladas métricas de relaves a lo largo de 12 años, que quedarían encerrados en residuos rocosos. Si la escombrera se derrumbase, los residuos potencialmente tóxicos podrían fluir a los ríos cercanos. Muchos habitantes de Barroso viven de la tierra, en particular de la agricultura agrosilvopastoril, y este proyecto representa una amenaza directa para su medio ambiente y sus medios de subsistencia.<sup>84</sup> De hecho, la región de Barroso fue declarada «Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial» por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés).<sup>85</sup> La Comunidad Local de Tierras Comunitarias de Covas do Barroso ha presentado una denuncia contra Savannah Resources alegando que la parcela que compraron para la mina es parte de unas tierras que se han mantenido durante mucho tiempo en común, tierras que no se pueden vender y que son gestionadas conjuntamente por los miembros de la comunidad.<sup>86</sup>

78. Chaves, Cristina, Elma Pereira, Paula Ferreira, y António Guerner Dias. 2021 «Concerns about Lithium Extraction: A Review and Application for Portugal» *The Extractive Industries and Society* 8 (3): 100928. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100928>.

79. Dorn, Felix Malte. 2021 «Inequalities in resource-based global production networks: Resistance to lithium mining in Argentina (Jujuy) and Portugal (Região Norte)» *Journal für Entwicklungspolitik* 37 (4): 70-91; «Mineral Commodity Summaries 2022» *U.S. Geological Survey*, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

80. Dorn, Felix Malte. 2021 «Inequalities in resource-based global production networks: Resistance to lithium mining in Argentina (Jujuy) and Portugal (Região Norte)» *Journal für Entwicklungspolitik* 37 (4): 70-91; Riofrancos, Thea. 2022. «The Security-Sustainability Nexus: Lithium Onshoring in the Global North» *Global Environmental Politics*, 1-22. [https://doi.org/10.1162/glep\\_a\\_00668](https://doi.org/10.1162/glep_a_00668). For a longer history of geological surveying for and promotion of Portugal's 'lithium potential,' see: Lima, A., F. Noronha, B. Charoy, y Js Farinha «Exploration for lithium deposits in the Barroso-Alvao area, Northern Portugal» *Mineral Deposits: Processes to Processing*, Vols. 1 and 2 (1999) and Carvalho, Jorge ME, y J. A. L. B. Farinha. «Lithium potentialities in Northern Portugal» In *17th Industrial Minerals International Congress*, Barcelona, Spain, pp. 1-10. 2004.

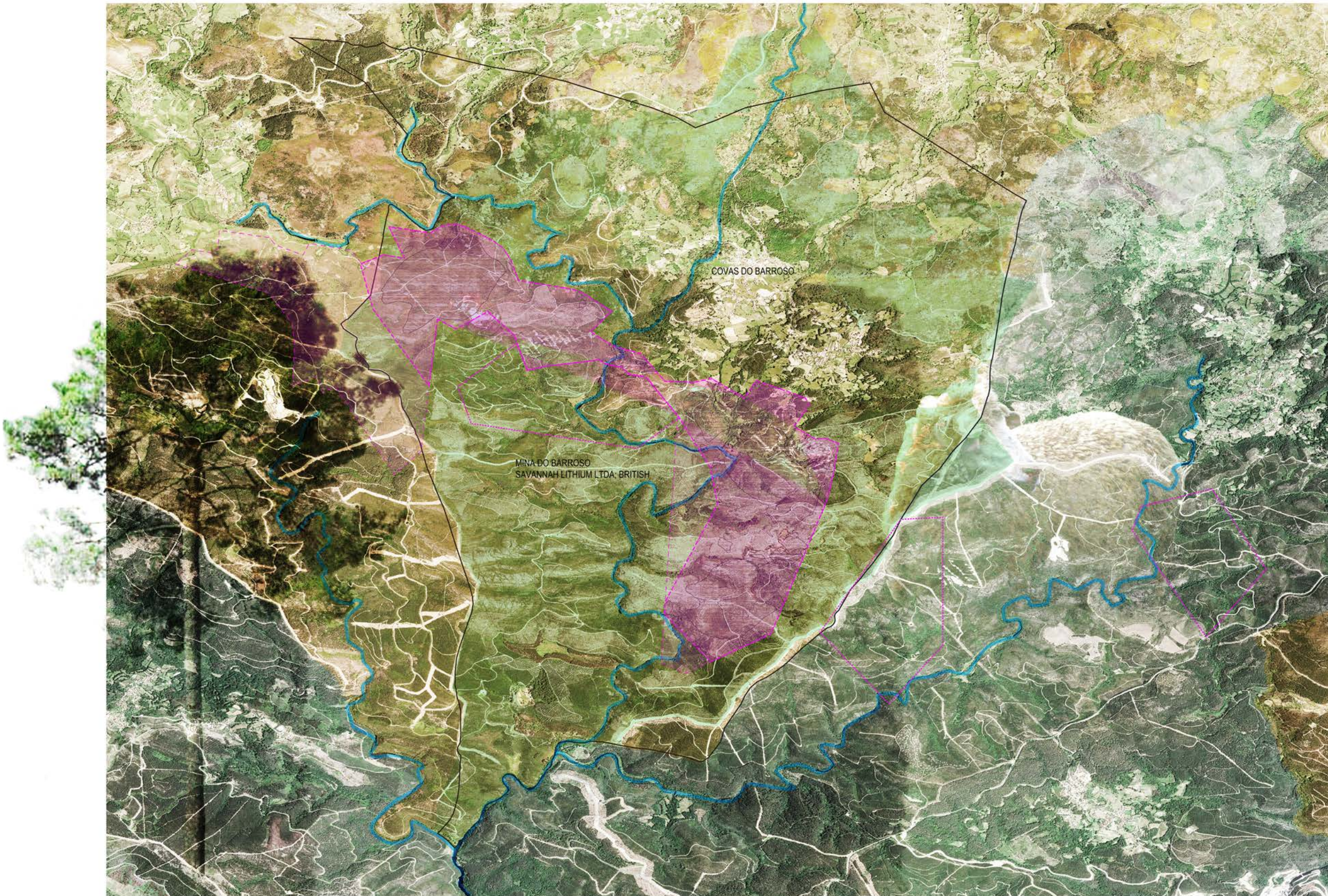
81. Kijewski, Leonie. 2022 «Portuguese Villagers Fear Hunt for Lithium Will Destroy Their Livelihoods» *POLITICO*. 27 de abril, 2022. <https://www.politico.eu/article/portugal-village-fear-hunt-lithium-destroy-livelihood/>.

82. Wise, Peter, Alice Hancock, Chris Campbell, y Sam Fleming. 2022 «EU Digs for More Lithium, Cobalt and Graphite in Green Energy Push» *Financial Times*, 16 de agosto, 2022. <https://www.ft.com/content/363c1643-75ae-4539-897d-ab16adfc1416>.

83. Emerman, Steven H. n.d «Evaluation of the Tailings Storage Facility for the Proposed Savannah Lithium Barroso Mine, Northern Portugal» *Unece.org*. Consultado el 23 de noviembre, 2022a. [https://unece.org/sites/default/files/2021-10/frCommC186\\_13.10.2021\\_annex3\\_eng.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-10/frCommC186_13.10.2021_annex3_eng.pdf).

84. Martins, José, Catarina Gonçalves, Jani Silva, Ramiro Gonçalves, y Frederico Branco. 2022 «Digital Ecosystem Model for GIAHS: The Barroso Agro-Sylvo-Pastoral System» *Sustainability* 14 (16): 10349. <https://doi.org/10.3390/su141610349>.

85. Martins, José, Catarina Gonçalves, Jani Silva, Ramiro Gonçalves, y Frederico Branco. 2022 «Digital Ecosystem Model for GIAHS: The Barroso Agro-Sylvo-Pastoral System» *Sustainability* 14 (16): 10349. <https://doi.org/10.3390/su141610349>.



Portugal

- Barroso (SIPAM)
- Baldios
- Límite de la mina
- Concesión minera
- Bloques con concesiones mineras
- Pilas de escombros
- Agua
- Sequía (2022)

0 2000'

Fuentes

«Agência Portuguesa Do Ambiente - SNIAMB» n.d. Consultada el 8 de noviembre, 2022. <https://sniambgeoportal.apambiente.pt/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B904F4CBA-26C4-43C5-9E66-8045F6F3C771%7D>.

«Área de Pedido de Ampliação C-100 Mina Do Barroso.Pdf» 2019. Direção-Geral de Energia e Geologia.

«Sistema Agro-silvo-pastoril do Barroso | Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | SIPAM | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura» n.d. Consultada el 8 de noviembre, 2022. <https://www.fao.org/giahs/giahsaroundtheworld/designated-sites/europe-and-central-asia/barroso-agro-silvo-pastoral-system/pt/>.

«DORNELAS - COVAS DO BARROSO, BOTICAS» 2020. Savannah Lithium LDA.

«Download Data by Country | DIVA-GIS» n.d. Consultada el 2 de octubre, 2022. <https://www.diva-gis.org/gdata>.

«Drought Prompts Portugal to Restrict Water Use at More Hydropower Dams | Reuters» n.d. Consultada el 8 de noviembre, 2022. <https://www.reuters.com/business/environment/drought-prompts-portugal-restrict-water-use-more-hydropower-dams-2022-09-27/>.

«First-Level Administrative Divisions, Portugal, 2015 – Digital Maps and Geospatial Data | Princeton University» n.d. Consultada el 8 de noviembre, 2022. <https://maps.princeton.edu/catalog/stanford-gy612dn2324>.

«Mapa Do Pedido de Concessao Mineira Bloco A B C Aldeia e Irmaos 13.10.2015.Pdf» 2015. Direção-Geral de Energia e Geologia.

«Mapa Do Pedido de Concessao Mineira Imerys 06.12.2010. Pdf» 2010. Direção-Geral de Energia e Geologia.

«Mapa Mina Do Barroso 2012.Pdf» 2012. Direção-Geral de Energia e Geologia.

Scarrott, Catarina. 2022. «Invitation to Review Report Section on Portugal» 6 de noviembre, 2022.

Figura 6. Mapa de Portugal

## Salmuera

El litio que se encuentra en los depósitos de salmuera se extrae bombeando la salmuera de los acuíferos subterráneos y concentrándola después para aumentar el porcentaje de sales de litio. Normalmente esta concentración se consigue mediante la evaporación de pozas al sol hasta que los niveles de litio alcanzan aproximadamente el 6 % de la solución,<sup>87</sup> un proceso que tarda alrededor de un año en completarse. Para producir una tonelada métrica de litio con este método es necesario evaporar aproximadamente dos millones de litros de agua de salmuera.<sup>88</sup>

Este proceso de extracción deja tras de sí montones de sales residuales y productos químicos tóxicos y parece tener importantes efectos nocivos en las reservas locales de agua dulce y en los ecosistemas, incluida la flora y fauna emblemáticas, como las dos de las tres especies de flamencos endémicas de la zona,<sup>89</sup> y la vida microbiana cuyo hábitat es la salmuera.<sup>90</sup> Las consecuencias medioambientales de la extracción de salmuera constituyen una forma de «violencia lenta»: menos visible de forma inmediata porque suele ser menos directa y más gradual, pero acumulativamente perjudicial, sobre todo teniendo en

cuenta la proximidad de otros sectores extractivos a gran escala (especialmente el del cobre), que agravan el impacto.<sup>91</sup>

Desgraciadamente, la escasez de estudios científicos independientes sobre la interacción específica de la extracción de salmuera con los acuíferos de agua dulce y el debate dentro de la comunidad científica, junto con una gran cantidad de monitoreo interno corporativo y de financiación de fondos para la investigación, enturbian aún más las aguas.<sup>92</sup> La extracción directa de litio (EDL) es una tecnología emergente que extrae activamente el litio y otros minerales codiciados de las salmueras, permitiendo que la corriente de salmuera expulsada se bombee de nuevo al subsuelo. Este proceso podría reducir significativamente el impacto medioambiental de la extracción de salmueras. Se han propuesto métodos DLE a escala industrial en Alemania, Argentina y la región californiana de Salton Sea, donde las salmueras geotérmicas ricas en litio pueden proporcionar energía geotérmica y litio, pero esta tecnología aún no se ha probado a gran escala (nótese que la empresa estadounidense Livent utiliza DLE en su proyecto de litio Fénix en el Salar de Hombre Muerto de Catamarca, Argentina, aunque la salmuera se preconcentra primero mediante la técnica tradicional de evaporación).<sup>93</sup>

---

86. Demony, Catarina. 2022 «Portuguese Community Files Legal Action against Lithium Mining Company» *Reuters*, 22 de julio, 2022. <https://www.reuters.com/article/portugal-lithium-idUSL8N2Z33JZ>; Climate and Community Project Community Review Process. Aida Fernandes, 10 de noviembre, 2022.

87. Bustos-Gallardo, Beatriz, Gavin Bridge, y Manuel Prieto. «Harvesting Lithium: water, brine and the industrial dynamics of production in the Salar de Atacama.» *Geoforum* 119 (2021): 177-189; Cabello, José. «Lithium brine production, reserves, resources and exploration in Chile: An updated review.» *Ore Geology Reviews* 128 (2021): 103883.

88. Garcés, Ingrid, y Gabriel Álvarez. «Water mining and extractivism of the Salar de Atacama, Chile.» *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 245 (2020): 189-199.

89. Gutiérrez, Jorge S., Johnnie N. Moore, J. Patrick Donnelly, Cristina Dorador, Juan G. Navedo, y Nathan R. Senner. «Climate change and lithium mining influence flamingo abundance in the Lithium Triangle.» *Proceedings of the Royal Society B* 289, n.º. 1970 (2022): 20212388; Marconi, P., F. Arengo, y A. Clark. «The arid Andean plateau waterscapes and the lithium triangle: flamingos as flagships for conservation of high-altitude wetlands under pressure from mining development.» *Wetlands Ecology and Management* (2022): 1-26.

90. Bonelli, Cristóbal, y Cristina Dorador. «Endangered Salares: micro-disasters in Northern Chile.» *Tapuya: Latin American science, technology and society* 4, n.º 1 (2021): 1968634; Carolina F. Cubillos et al., «Microbial

Communities From the World's Largest Lithium Reserve, Salar de Atacama, Chile: Life at High LiCl Concentrations» *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 123, n.º 12 (diciembre 2018): 3668-81.

91. Nixon, Rob. 2013. *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. London, England: Harvard University Press.; Bonelli and Dorador 2021; Blair, Balcázar, Barandián, and Maxwell pp. 18, 20-22; Jerez, Bárbara, Ingrid Garcés, y Robinson Torres. 2021 «Lithium Extractivism and Water Injustices in the Salar de Atacama, Chile: The Colonial Shadow of Green Electromobility» *Political Geography* 87 (102382): 102382. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>.

92. Para más información sobre los estudios existentes, véase la nota previa, así como: Babidge, Sally, Fernanda Kalazich, Manuel Prieto, y Karina Yager. «'That's the problem with that lake; it changes sides': mapping extraction and ecological exhaustion in the Atacama» *Journal of Political Ecology* 26, n.º 1 (2019): 738-760; Liu, Wenjuan, y Datu B. Agusdinata. «Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile» *Journal of Cleaner Production* 260 (2020): 120838; Moran, Brendan J., David F. Boutt, Sarah V. McKnight, Jordan Jenckes, Lee Ann Munk, Daniel Corkran, y Alexander Kirshen «Relic groundwater and prolonged drought confound interpretations of water sustainability and lithium extraction in arid lands» *Earth's Future* 10, n.º 7 (2022): e2021EF002555.

93. Graham, John D., John A. Rupp, y Eva Brungard «Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security» *Sustainability* 13, n.º 20 (2021): 11274. <https://doi.org/10.3390/su132011274>.

La extracción de salmuera es la forma en que se extrae el litio en el llamado «Triángulo del Litio» de Chile, Argentina y Bolivia, a miles de metros sobre el nivel del mar en la cordillera de los Andes. Esta zona concentra más de la mitad de los recursos y reservas mundiales, y de ella procede casi un tercio de la actual producción mundial de litio.<sup>94</sup>



## Chile

Chile es el segundo productor mundial de litio, sólo por detrás de Australia, con 26 000 toneladas métricas en 2021. En la legislación chilena, la salmuera es considerada como un mineral y no como agua, y la minería está regulada a nivel federal. El litio fue declarado «recurso estratégico» y no concesible en 1979, lo que ha limitado el número de proyectos mineros a los que tienen concesiones anteriores a este cambio legislativo.<sup>95</sup> En la actualidad, hay dos minas de litio a gran escala operativas en el salar de Atacama, explotadas por SQM y Albemarle. Sin embargo, Codelco, la empresa estatal de cobre del país y la Minera Salar Blanco, una empresa conjunta australiano-chileno-canadiense, tienen previsto explotar litio en el salar de Maricunga.<sup>96</sup> El pasado mes de enero, la Corte Suprema de Chile suspendió una licitación

para nuevos contratos de litio alegando que la subasta no especificaba territorios concretos y, por tanto, imposibilitaba la consulta previa a los pueblos indígenas; sin embargo, el gobierno progresista de Boric ha hecho planes para crear una empresa estatal para unirse a consorcios con otras compañías extranjeras de litio.<sup>97</sup>

El Salar de Atacama está rodeado de montañas andinas y se encuentra en el desierto de Atacama, el más antiguo y seco del mundo.<sup>98</sup> La extracción de litio en Chile amenaza la salud y la viabilidad de los ecosistemas de Atacama, que son de vital importancia para las comunidades locales y la humanidad en general. Los científicos han identificado recientemente en Atacama plantas adaptadas a las condiciones áridas y genéticamente similares a cultivos alimentarios, lo cual ayudaría enormemente a adaptar la agricultura en un planeta cada vez más caliente.<sup>99</sup>

Los impactos ecológicos de la extracción de salmuera en Chile, en particular su uso del agua, han sido objeto de un creciente escrutinio. A principios de este año, el gobierno chileno demandó a la empresa minera de litio Albemarle (junto con Antofagasta y BHP por sus minas de cobre) por su explotación del acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo y su impacto en los ecosistemas circundantes.<sup>100</sup> La otra gran empresa minera de litio que opera en Chile, Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), ha sido objeto de numerosas investigaciones y demandas por infracciones laborales, financieras y medioambientales.<sup>101</sup> Por ejemplo, en 2016 los reguladores chilenos iniciaron sanciones contra SQM por sobreconsumo de agua dulce y salmuera,

94. Mineral Commodity Summaries 2022» U.S. Geological Survey, 2022. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.

95. Heredia, Florencia, Agostina L. Martínez, y Valentina Surraco Urtubey. 2020 «The Importance of Lithium for Achieving a Low-Carbon Future: Overview of the Lithium Extraction in the 'Lithium Triangle.'» *Journal of Energy & Natural Resources Law* 38 (3): 213–36. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1784565>.

96. Reuters. 2022a «Chile Copper Giant Codelco to Start Lithium Exploration in March» 16 de febrero, 2022. <https://www.reuters.com/business/energy/chile-copper-giant-codelco-start-lithium-exploration-march-2022-02-16/>; «Salar DE Maricunga, Atacama, Chile» 2021. AID/WATCH | Exposing Bad Aid for over 30 Years. AID/WATCH. 23 de septiembre, 2021.

97. N.d. Mining.com. Consultado el 23 de noviembre, 2022b. <https://www.mining.com/web/chiles-mining-minister-says-country-open-to-new-lithium-tenders/>.

98. Bull, Alan T., Juan A. Asenjo, Michael Goodfellow, y Benito Gómez-Silva. 2016 «The Atacama Desert: Technical Resources and the Growing Importance of Novel Microbial Diversity» *Annual Review of Microbiology* 70 (1): 215–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-102215-095236>.

99. Eshel, Gil, Viviana Araus, Soledad Undurraga, Daniela C. Soto, Carol Moraga, Alejandro Montecinos, Tomás Moyano, et al. 2021 «Plant Ecological Genomics at the Limits of Life in the Atacama Desert» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 118 (46): e2101177118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2101177118>.

100. Jamasmie, Cecilia «Chile sues BHP, Albemarle, Antofagasta over water use» Mining.com. 8 de abril, 2022 <https://www.mining.com/chile-sues-bhp-albemarle-antofagasta-over-water-use/>.

101. Jerez, Bárbara, Ingrid Garcés, y Robinson Torres. 2021 «Lithium Extractivism and Water Injustices in the Salar de Atacama, Chile: The Colonial Shadow of Green Electromobility» *Political Geography* 87 (102382): 102382. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>.





Chile

- Tierras Atacameñas/Licanantay
- Minas de Litio
- Agua
- Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo
- Cuenca hidrográfica
- Sequía (2022)

0 19,000'

Fuentes

Chile, I. D. E. n.d. «Límites cuencas» Consultada el 5 de noviembre, 2022. <https://www.ide.cl/index.php/medio-ambiente/item/1678-limites-cuencas>.

EJOLT. n.d. «Lithium Mining in the Salar de Atacama, Chile| EJAtlas» Environmental Justice Atlas. Consultada el 8 de octubre, 2022. <https://ejatlas.org/conflict/mineria-de-litio-en-el-salar-de-atacama-chile>.

«First-Level Administrative Divisions, Chile, 2015 – Digital Maps and Geospatial Data | Princeton University» n.d. Consultada el 11 de septiembre, 2022. <https://maps.princeton.edu/catalog/stanford-np155sc7540>.

«HOTOSM Chile Waterways (OpenStreetMap Export) -Humanitarian Data Exchange» n.d. Consultada el 5 de noviembre, 2022. [https://data.humdata.org/dataset/hotosm\\_chl\\_waterways](https://data.humdata.org/dataset/hotosm_chl_waterways).

javieravalentinavergarasalas. 2015. «Pueblos Originarios en Chile» Pueblos Originarios en Chile (blog). 13 de abril, 2015. <https://pueblosoriginariosenchile.wordpress.com/2015/04/13/pueblos-originarios-en-chile/>.

Reuters. 2022. «Chile Announces Unprecedented Plan to Ration Water as Drought Enters 13th Year» The Guardian, 11 de abril, 2022, sec. Environment. <https://www.theguardian.com/environment/2022/apr/11/santiago-chile-ration-water-drought>.

Viñales, Freddy. 2022. «Comments from OPSAL» 19 de octubre, 2022.

Figura 7. Mapa de Chile

así como por manipular sus propios sistemas de monitoreo ambiental.<sup>102</sup> En enero de 2019, los reguladores aprobaron un plan de la empresa para adecuar sus operaciones a su contrato y a la legislación chilena.<sup>103</sup> Pero ese mismo año, el Consejo de Pueblos Atacameños (CPA), representando a las 18 comunidades indígenas atacameñas que viven en los alrededores del Salar de Atacama, recurrió con éxito el plan. Su recurso obligó a la empresa a rediseñar el plan por completo, dando lugar a un nuevo compromiso de reducir a la mitad el uso de salmuera y agua, aunque aún está por ver si la empresa alcanzará estos objetivos.<sup>104</sup>

Dado el largo historial de infracciones legislativas por parte de las empresas, la minería del litio se ha enfrentado a la oposición de diversos grupos en Chile. También ha generado graves tensiones y divisiones entre las comunidades indígenas afectadas, debido en gran parte a los recursos económicos que les prometen las empresas.<sup>105</sup>



102. Shubert, Willie. 2018. «Chile Renews Contract with Lithium Company Criticized for Damaging Wetland» *Mongabay Environmental News*. 26 de diciembre, 2018. <https://news.mongabay.com/2018/12/chile-renews-contract-with-lithium-company-criticized-for-damaging-wetland/>.

103. «Chile: detienen proceso sancionatorio de SQM acusada de graves infracciones ambientales.» 2019. *Noticias ambientales*. January 22, 2019. <https://es.mongabay.com/2019/01/chile-detienen-sanciones-por-danos-ambientales-en-salar-de-atacama/>.

104. Laing, Aislinn. 2019. «Chilean Lithium Miner SQM Dealt Blow by Environmental Court Ruling» *Reuters*, December 27, 2019. <https://www.reuters.com/article/us-chile-sqm-idUSKBN1YV05T>; «Chile Lithium Producer SQM Gets Green Light on Environmental Plan,» 30 de agosto, 2022. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/chile-lithium-producer-sqm-gets-green-light-environmental-plan-2022-08-30/>.

105. Jerez, Bárbara, Ingrid Garcés, y Robinson Torres. 2021. «Lithium Extractivism and Water Injustices in the Salar de Atacama, Chile: The Colonial Shadow of Green Electromobility» *Political Geography* 87 (102382): 102382. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>; Peterson St-Laurent, Guillaume, and Philippe Le Billon. 2015. «Staking Claims and Shaking Hands: Impact and Benefit Agreements as a Technology of Government in the Mining Sector» *The Extractive*

## Argentina

Argentina es el cuarto productor mundial de litio (6200 toneladas métricas en 2021), pero tiene unos 50 proyectos propuestos que podrían aumentar drásticamente su producción y situarla por encima de Chile y China.<sup>106</sup> Al igual que en Chile, la extracción de litio crea tensiones en las comunidades debido a la disyuntiva entre los beneficios económicos y de infraestructuras que ofrecen las empresas (de los que carece el gobierno) frente a los daños sociales y ecológicos que causa la minería, una contradicción de la cual las empresas pueden beneficiarse.<sup>107</sup> La extracción de salmuera amenaza el pastoreo indígena cercano y los humedales únicos rebosantes de importante biodiversidad, incluidas especies como flamencos, «pumas, zorros culpeos, vicuñas [sic], piches llorones, gatos monteses andinos y chinchillas de cola corta en peligro de extinción».<sup>108</sup>

En Argentina, la legislación minera está mayormente descentralizada y varía considerablemente según la provincia.<sup>109</sup> Es el resultado de la desregulación federal derivada del ajuste estructural a principios de la década de 1990, que además ofreció a las empresas incentivos para la explotación minera (antes de eso, los recursos naturales eran propiedad del gobierno federal).<sup>110</sup> Esta «gobernanza

*Industries and Society* 2 (3): 590–602. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2015.06.001>.

106. Pearce, Fred. n.d «Why the Rush to Mine Lithium Could Dry up the High Andes» *Yale E360*. Consultado el 23 de noviembre, 2022. <https://e360.yale.edu/features/lithium-mining-water-andes-argentina>.

107. Gonzalez, Lucas Isaac, Richard Snyder «Modes of lithium extraction in Argentina: Mining politics in Catamarca, Jujuy, and Salta» (2020).

108. Pearce, Fred «Why the Rush to Mine Lithium Could Dry Up the High Andes» *Yale Environment* 360, 19 de septiembre, 2022, <https://e360.yale.edu/features/lithium-mining-water-andes-argentina>.

109. Heredia, Florencia, Agustina L. Martinez, y Valentina Surraco Urtubey. 2020 «The Importance of Lithium for Achieving a Low-Carbon Future: Overview of the Lithium Extraction in the 'Lithium Triangle.'» *Journal of Energy & Natural Resources Law* 38 (3): 213–36. <https://doi.org/10.1080/02646811.2020.1784565>.

110. Dorn, Felix Malte. 2021 «Inequalities in resource-based global production networks: Resistance to lithium mining in Argentina (Jujuy) and Portugal (Região Norte).» *Journal für Entwicklungspolitik* 37 (4): 70–91; Gonzalez, Lucas Isaac, Richard Snyder. 2020 «Modes of lithium extraction in Argentina: Mining politics in Catamarca, Jujuy, and Salta» *Natural resources and policy choices in Latin America*.



### Argentina

- Tierras indígenas
- Límites provinciales
- Minas de Litio
- Bloques con concesiones mineras
- Pilas de escombros
- Agua
- Densidad de flamencos
- Sequía (2022)

0 66,000'

### Fuentes

«Andean Flamingo (*Phoenicoparrus Andinus*) - Species Map - eBird» n.d. Consultada el 5 de noviembre, 2022. <https://ebird.org/map/andfla2>.

«Cuencas Hídricas Del Noroeste Argentino — GeoNode» n.d. Consultada el 6 de noviembre, 2022. [http://geoportal.idesa.gov.ar/layers/geonode%3Acuencas\\_noa\\_ll](http://geoportal.idesa.gov.ar/layers/geonode%3Acuencas_noa_ll).

«GADM» n.d. Consultada el 5 de noviembre, 2022. [https://gadm.org/download\\_country.html](https://gadm.org/download_country.html).

Gumbricht, T., R. M. Román-Cuesta, L. V. Verchot, M. Herold, F. Wittmann, E. Householder, N. Herold, y D. Murdiyasar. 2022. «Tropical and Subtropical Wetlands Distribution» Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/CIFOR/DATA.00058>.

Heath, Maximilian. 2022. «Argentina Corn Planting Stalled as 'great Drought' Fears Rise» Reuters, 15 de septiembre, 2022, sec. Américas. <https://www.reuters.com/world/americas/argentina-corn-planting-stalled-great-drought-fears-rise-2022-09-15/>.

«HOTOSM Argentina Waterways (OpenStreetMap Export) - Humanitarian Data Exchange» n.d. Consultada el 6 de noviembre, 2022. [https://data.humdata.org/dataset/hotosm\\_arg\\_waterways](https://data.humdata.org/dataset/hotosm_arg_waterways).

«Mapa de pueblos originarios» 2020. Argentina.gov.ar. 10 de noviembre, 2020. <https://www.argentina.gov.ar/derechoshumanos/inai/mapa>.

Marconi, P., F. Arengo, and A. Clark. 2022. «The Arid Andean Plateau Waterscapes and the Lithium Triangle: Flamingos as Flagships for Conservation of High-Altitude Wetlands under Pressure from Mining Development» *Wetlands Ecology and Management* 30 (4): 827–52. <https://doi.org/10.1007/s11273-022-09872-6>.

«OLAROSZ LITHIUM FACILITY - Orocobre Limited» n.d. Consultada el 6 de noviembre, 2022. <https://www.orocobre.com/operations/salar-de-olaroz/>.

«Project | Lithium South (TSX-V: LIS | OTCQB: LISMF)» n.d. Consultada el 5 de noviembre, 2022. <https://www.lithiumsouth.com/projects/>.

Figura 8. Mapa de Argentina: Además de los proyectos que aparecen en este mapa, existen otros tres proyectos aprobados para iniciar la explotación (Sal de Vida, Sal de Oro y Tres Quebradas) en Catamarca; además de múltiples proyectos que se encuentran actualmente en fase de exploración y prospección.<sup>111</sup>

localizada» no atiende las preocupaciones de la comunidad hacia los proyectos de extracción de litio; rara vez una empresa minera multinacional y un gobierno provincial o una comunidad indígena están al mismo nivel en términos de negociación.<sup>112</sup>

Se supone que el gobierno argentino, como signatario de la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas, debe obtener el consentimiento libre, previo e informado (CLPI) de los pueblos indígenas para toda extracción de litio que afecte a sus tierras. Sin embargo, al igual que en otros países, los miembros de las comunidades cercanas a las minas de litio en Argentina no han sido informados debidamente, ni por las empresas ni por los gobiernos, sobre los posibles riesgos e impactos ambientales negativos de estos proyectos.<sup>113</sup> La resistencia a los proyectos de extracción de litio varía considerablemente de una provincia a otra y dentro de una misma provincia, debido a factores como el poder y los recursos de los movimientos indígenas locales, la proximidad a los núcleos de población, y las políticas mineras de los gobiernos provinciales.<sup>114</sup>

---

111. Marconi, P., Arengo, F. & Clark, A. «The arid Andean plateau waterscapes and the lithium triangle: flamingos as flagships for conservation of high-altitude wetlands under pressure from mining development» *Wetlands Ecol Manage* 30, 827–852 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11273-022-09872-6>.

112. Gonzalez, Lucas Isaac, Richard Snyder «Modes of Extraction in Latin America's Lithium Triangle: Explaining Negotiated, Unnegotiated and Aborted Mining Projects» *Latin American Politics and Society*, forthcoming 2022.

113. Marchegiani, Pía, Jasmin Höglund Hellgren, y Leandro Gómez. n.d «Lithium Extraction in Argentina: A Case Study on the Social and Environmental Impacts» FARN. [https://goodelectronics.org/wp-content/uploads/sites/3/2019/05/DOC\\_LITHIUM\\_ENGLISH.pdf](https://goodelectronics.org/wp-content/uploads/sites/3/2019/05/DOC_LITHIUM_ENGLISH.pdf)

114. Gonzales, Lucas, Richard Snyder. 2020 «Modes of lithium extraction in Argentina: Mining politics in Catamarca, Jujuy, and Salta»; Barandiarán, Javiera. 2019 «Lithium and Development Imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia» *World Development* 113: 381–91. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.019>.

# ITINERARIOS HACIA UN TRANSPORTE DESCARBONIZADO

Existen múltiples formas de descarbonizar la movilidad personal en EE. UU. y en el resto del mundo. Los distintos sistemas de transporte —la combinación de medios de transporte que las personas utilizan para desplazarse, y las infraestructuras y usos del suelo circundante que los permiten o impiden— tendrán características diferentes; pueden aumentar o disminuir las opciones de movilidad y la facilidad de desplazamiento de las personas. Tendrán diferentes intensidades de uso de recursos, lo cual determinará una minería más o menos destructiva desde el punto de vista social y ecológico y conllevará una mayor o menor vulnerabilidad de las cadenas mundiales de suministro de «minerales críticos».

Los distintos futuros del transporte también implican niveles variables de muertes y lesiones graves por colisiones o accidentes. Acortarán en menor o mayor medida los años de vida sana a causa de la contaminación, incluyendo factores como el polvo de neumáticos y frenos.<sup>115</sup> Los diferentes futuros del transporte pueden requerir más o menos dinero de los presupuestos nacionales y gubernamentales;<sup>116</sup> pueden mejorar o restar calidad y esperanza de vida y permitir vías hacia la descarbonización más o menos plausibles.<sup>117</sup> Los distintos sistemas de transporte favorecerán en menor o mayor medida la prosperidad económica; serán más o menos destructivos para los ecosistemas,

115. Dado que una gran parte de la contaminación atmosférica mortal provocada por el tráfico de carretera procede de las partículas de polvo procedentes del desgaste de la calzada, los neumáticos y los frenos, la transición a los vehículos eléctricos no reducirá, e incluso puede aumentar, los principales tipos de contaminación atmosférica. Véase: Liu, Ye, Haibo Chen, Jianbing Gao, Ying Li, Kaushali Dave, Junyan Chen, Matteo Federici, y Guido Perricone. «Comparative Analysis of Non-Exhaust Airborne Particles from Electric and Internal Combustion Engine Vehicles» *Journal of Hazardous Materials* 420 (15 de octubre, 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126626>.

116. Waller, Margy. n.d «High Cost or High Opportunity Cost? Transportation and Family Economic Success» Brookings. <https://www.brookings.edu/research/high-cost-or-high-opportunity-cost-transportation-and-family-economic-success-2/>; Litman, Todd. «Automobile Dependency: An Unequal Burden.» 15 de diciembre, 2020. <https://www.planetizen.com/blogs/111535-automobile-dependency-unequal-burden>.

las culturas y las comunidades globales; y más o menos desestabilizadores desde el punto de vista geopolítico.

Este informe cuantifica la intensidad de uso de litio de cuatro posibles sistemas de transporte de emisiones cero en lo que respecta a la movilidad personal en EE. UU., desde la continuación del statu quo, regido por la dependencia del automóvil, hasta escenarios alternativos cada vez más ambiciosos con mayores opciones de tránsito e índices de propiedad de automóviles privados más bajos. Para modelizar estos escenarios fue necesario definir las diferencias específicas y materiales entre estos posibles futuros de transporte descarbonizado, incluyendo las cantidades, variedades y tamaños de los VE.

Este informe se centra en la movilidad personal terrestre; no abarca el transporte de mercancías. En la actualidad, el transporte es la principal causa de emisiones de gases de efecto invernadero en EE. UU. y el único sector en el que las emisiones siguen aumentando de forma constante. Dentro del sector del transporte de superficie, el 57 % de las emisiones en EE. UU. proceden de los vehículos ligeros: coches, camiones y todoterrenos, y el 26 % del transporte de mercancías por carretera, y el porcentaje restante, de los medios no-terrestres, como el avión, el transporte ferroviario y las barcas.<sup>118</sup> Por lo tanto, nos centramos en la movilidad personal terrestre, que abarca la mayor parte del sector del transporte, pero no su totalidad. Sin embargo, muchas estrategias que podrían reducir la intensidad de uso de recursos en el ámbito de la movilidad personal pueden replicarse en los sectores de transporte de mercancías y envío (por ejemplo, el traslado de mercancías en trenes en lugar de camiones<sup>119</sup>). La electrificación del sector de transporte de mercancías eliminaría los contaminantes que afectan a la calidad del aire, algo muy importante para la justicia medioambiental.

117. [en proceso de actualización]

118. US EPA, Oar. 2015 «Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions» <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>; Sindreu, Jon. 2019. «In the Green Transition, Transportation Is the next Big Baddie» *Wall Street Journal* (Eastern Ed.), 23 de diciembre, 2019. <https://www.wsj.com/articles/in-the-green-transition-transportation-is-the-next-big-baddie-11577119404>.

119. Schafer, Alison, and Martha Lawrence. n.d «Decarbonizing Transport: Shifting People and Goods onto Railways» *World Bank Blogs* (blog). Grupo Banco Mundial. <https://blogs.worldbank.org/transport/decarbonizing-transport-shifting-people-and-goods-railways>.

Un informe reciente de la Asociación Americana del Pulmón calcula que la electrificación de los camiones pesados podría reducir en 66 000 el número de muertes prematuras causadas por la contaminación atmosférica, lo que beneficiaría a habitantes de comunidades que ya están expuestos a una contaminación desproporcionada.<sup>120</sup> Hemos constatado que los escenarios con menos vehículos y/o más pequeños requieren menos litio. Los escenarios en los que el hogar medio estadounidense dispone de varios vehículos eléctricos privados de gran tamaño requerirían mucho más litio, lo que provocaría un aumento de la minería y la alteración o destrucción de más ecosistemas y comunidades humanas en comparación con un escenario en el que los trenes eléctricos, la movilidad activa y/o los sistemas de vehículo compartido predominen sobre la propiedad masiva de vehículos privados. El primer escenario también atascaría la cadena de suministro, ralentizando la una plausible transición al VE (y, por tanto, a la descarbonización), y podría toparse con las restricciones económicas y técnicas derivadas de la limitada capacidad de extracción de los yacimientos mundiales de litio.<sup>121</sup>

Estudios previos han demostrado que la electrificación del actual sistema de transporte personal de EE. UU. no bastaría para impedir un aumento de 2 °C en el calentamiento global, y que las «soluciones enfocadas a la demanda» (como por ejemplo, reducir el uso del coche privado) también son de urgente necesidad.<sup>122</sup> Al poner de relieve las intensidades de uso de recursos (especialmente las del litio) de los distintos itinerarios para descarbonizar el transporte, este informe argumenta a favor de horizontes que consideren las implicaciones sociales y medioambientales de cadenas de suministro enteras. Por grandes y terribles que sean y vayan a ser los efectos de la crisis climática, especialmente si el calentamiento supera la barrera de los 1,5 °C, la extracción minera de

«minerales críticos» acarrea una serie de consecuencias profundamente negativas que deben ser tenidas en cuenta.<sup>123</sup>

Durante el diseño de sistemas descarbonizados se recurre a menudo a las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) para así definir si los escenarios futuros pueden cumplir o no los presupuestos de carbono en diferentes niveles de calentamiento global. Con el fin de modelizar las intensidades de uso de litio, definimos las SSP para la descarbonización del transporte personal. En esta sección se definen estos diferentes SSP, estableciendo comparaciones internacionales para determinar escenarios factibles para diferentes sistemas de transporte descarbonizados. En primer lugar, definimos los SSP o escenarios de movilidad descarbonizada en términos generales. A continuación, explicamos con más detalle cómo hemos llegado a estos escenarios y cómo hemos utilizado los datos existentes sobre los patrones de transporte globales existentes para construir estos escenarios y determinar las necesidades de los vehículos para cada uno de ellos.

## Resumen de los escenarios de transporte descarbonizado en EE. UU.

Incluimos cuatro escenarios de transporte, con diferentes tipos y categorías de vehículos en uso. Esta sección presenta una visión general, pero pueden encontrar más detalles sobre nuestra metodología y los datos que informaron estos escenarios en el apéndice, «Desarrollar itinerarios de descarbonización a partir de datos sobre los sistemas de transporte globales».

**Cada uno de estos escenarios refleja cambios ambiciosos respecto a nuestro sistema de transporte actual.**

---

120. «Delivering Clean Air: Health Benefits of Zero-Emission Trucks and Electricity» American Lung Association. <https://www.lung.org/getmedia/e1ff935b-a935-4f49-91e5-151f1e643124/zero-emission-truck-report>.

121. Pehlken, Alexandra, Sabine Albach, y Thomas Vogt «Is There a Resource Constraint Related to Lithium Ion Batteries in Cars?» *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22, n° 1 (2015): 40–53. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0925-4>.

122. «Current US policies are insufficient to remain within a sectoral CO2 emission budget for light-duty vehicles, consistent with preventing more than 2 °C global warming». Milovanoff, Alexandre, I. Daniel Posen, y Heather L. MacLean «Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet Alone Will Not Meet Mitigation Targets» *Nature Climate Change* 10, n° 12 (2020): 1102–7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.

123. Plumer, Brad, Raymond Zhong, y Lisa Friedman «Time Is Running out to Avert a Harrowing Future, Climate Panel Warns» *The New York Times*. 28 de febrero, 2022. <https://www.nytimes.com/2022/02/28/climate/climate-change-ipcc-un-report.html?smid=url-share>.

A primera vista, podría parecer que el escenario 1 requeriría cambios menos drásticos, pero no está nada claro que sea así. En primer lugar, según estudios previos, este escenario es probablemente incompatible con el presupuesto carbono sectorial necesario para limitar el calentamiento a 1,5 °C o incluso a 2 °C;<sup>124</sup> por lo que probablemente sería, de todos los escenarios, el que más daños, perturbaciones y cataclismos climáticos provocaría. El escenario 1 es también el más intensivo en litio y probablemente el más intensivo en recursos en general; requeriría la mayor cantidad de suelo dedicado al transporte, y probablemente la mayor cantidad de materiales y mano de obra. Aunque EE. UU. cuenta con una enorme cantidad de infraestructuras dedicadas al uso de automóvil, estas infraestructuras se deterioran: el sistema de autopistas interestatales se construyó para durar 50 años; las carreteras de asfalto suelen durar 18 años.<sup>125</sup> La infraestructura institucional de EE. UU. acostumbra a fomentar la dependencia del automóvil, y por lo que parece, los esfuerzos de recursos físicos y capacidad organizativa necesarios para este escenario no son nada desdeñables (incluso sin contar con la probabilidad de que los impactos climáticos sean catastróficamente peores en este escenario).

Ante la extrema urgencia de la descarbonización (pero también de las consecuencias de salud, seguridad, calidad de vida, y otras consecuencias sociales y económicas de la dependencia del automóvil), algunas ciudades ya han iniciado medidas drásticas de transición modal similares

a las de nuestros escenarios, que han dado resultado en cuestión de 10-20 años. En París, el uso del coche se ha reducido casi un 30 % entre 2001 y 2015, y ha seguido disminuyendo desde entonces; en Lyon, el número de coches que entran en la ciudad se ha reducido un 20 % en 10 años; en Londres, el uso del coche se ha reducido casi un 40 % entre 2000 y 2014.<sup>126</sup> En Ámsterdam, el porcentaje de desplazamientos en bicicleta se desplomó casi un 60 % en dos décadas, volviendo a aumentar espectacularmente en la década de 1970, cuando la ciudad comenzó a aplicar cambios políticos y de infraestructuras en respuesta al activismo de los grupos defensores de la seguridad vial y el uso de la bicicleta, consiguiendo revertir la incipiente dependencia del automóvil en la ciudad.<sup>127</sup> Aunque la transición modal de los escenarios 2 y 4 puedan parecer drásticos, hay muchos precedentes que demuestran que son factibles y que las políticas que los hacen posibles suelen gozar de gran popularidad una vez aplicadas.<sup>128</sup>

Por último, en EE. UU. ya se han aprobado medidas para la transición modal y los usos del suelo más drásticas que las descritas en nuestro escenario más ambicioso, sólo que en el sentido contrario. Mediante programas de renovación urbana, construcción de sistemas de autopistas interestatales, subvenciones a la suburbanización y otras políticas, EE. UU. destruyó y reconstruyó en gran medida sus ciudades a mediados del siglo XX, creando geografías urbanas altamente racializadas caracterizadas por la segregación, la dependencia del

---

125. Milovanoff, Alexandre, I. Daniel Posen, y Heather L. MacLean. «Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet Alone Will Not Meet Mitigation Targets.» *Nature Climate Change* 10, n° 12 (2020): 1102–7. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.

125. «America's Interstate Highway System at 65: Meeting America's Transportation Needs with a Reliable, Safe & Well-Maintained National Highway Network» TRIP National Transportation Research Nonprofit, junio de 2021. [https://tripnet.org/wp-content/uploads/2021/06/TRIP\\_Interstate\\_Report\\_June\\_2021.pdf](https://tripnet.org/wp-content/uploads/2021/06/TRIP_Interstate_Report_June_2021.pdf).

126. Sutton, Mark «33 Key Cities Where Cycling Is Growing Its Modal Share» *Cycling Industry News*, 24 de junio de 2020. <https://cyclingindustry.news/five-key-cities-where-cycling-is-taking-modal-share-from-cars/>; Yeung, Peter «Cars Are Vanishing from Paris» *Reasons to be Cheerful*, 28 de septiembre, 2022. <https://reasonstobecheerful.world/cars-are-vanishing-from-paris/>.

127. van der Zee, Renate «How Amsterdam Became the Bicycle Capital of the World» *The Guardian*. *Guardian News and Media*, 5 de mayo, 2015. <https://www.theguardian.com/cities/2015/may/05/amsterdam-bicycle-capital-world-transport-cycling-kindermoord>.

---

128. Kersley, Andrew «People Hate the Idea of Car-Free Cities-until They Live in One» *WIRED UK*, 21 de junio, 2022. <https://www.wired.co.uk/article/car-free-cities-opposition>; Vock, Ido «How Anne Hidalgo's Anti-Car Policies Won Her Re-Election in Paris» *New Statesman*, 29 de junio, 2020. <https://www.newstatesman.com/world/2020/06/how-anne-hidalgo-anti-car-policies-won-her-re-election-paris>; Romeo, Nick. «How Oslo Learned to Fight Climate Change» *The New Yorker*, May 4, 2022. <https://www.newyorker.com/news/annals-of-a-warming-planet/how-oslo-learned-to-fight-climate-change>; Wilson, Sarah «People Protested When This Capital City Went Car-Free. Now They Love It» *The Big Issue*, 25 de agosto, 2022. <https://www.bigissue.com/news/environment/people-protested-when-this-capital-city-went-car-free-now-they-love-it/>.

129. La población de grandes ciudades como Filadelfia y San Luis disminuyó de forma duradera entre un 30 y un 60 % a raíz de estas políticas de mediados de siglo, según los datos históricos del censo decenal de la Oficina del Censo de Estados Unidos, 1950-2000. Véase también: Trounstein, Jessica. *Segregation by Design: Local Politics and Inequality in American Cities*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.; Fogelson, Robert M. *Downtown: Its Rise and Fall, 1880-1950*. New Haven, CT: Yale University Press, 2003; Jackson, Kenneth T. *Crabgrass Frontier: The Suburbanization of the United States*. Oxford University Press, 2012.

automóvil y la dispersión urbana.<sup>129</sup> Este proceso acarrió una injusticia y estragos inmensos, no sólo respecto a la crisis climática sino en muchísimos aspectos sociales y económicos.<sup>130</sup> **Nuestro escenario más ambicioso casi supondría una inversión total de esta transición a lo largo de un horizonte temporal similar. Tal inversión podría reportar múltiples beneficios sociales, reducir los daños derivados de la extracción de minerales y probablemente acelerar el proceso de descarbonización.**

Todos nuestros escenarios se han construido a partir de datos sobre los sistemas de transporte existentes en la actualidad. Reflejan realidades que ya existen en otras partes del mundo. El apéndice «Desarrollar itinerarios de descarbonización a partir de datos sobre los sistemas de transporte globales» ofrece una gran cantidad de datos de EE. UU. y de todo el mundo que se incorporaron a estos escenarios, detalla cómo se construyeron los escenarios y especifica cómo varían los parámetros entre los escenarios.

---

130. Freemark, Yonah, Billy Fleming, Caitlin McCoy, Rennie Meyers, Thea Riofrancos, Xan Lillehei, Daniel Aldana Cohen. «Toward a Green New Deal for Transportation: Establishing New Federal Investment Priorities to Build Just and Sustainable Communities» Climate and Community Project, 2022.

“

**Nuestro escenario más ambicioso casi supondría una inversión total de esta transición a lo largo de un horizonte temporal similar. Tal inversión podría reportar múltiples beneficios sociales, reducir los daños derivados de la extracción de minerales y probablemente acelerar el proceso de descarbonización.**

”



# DEMANDA DE LITIO EN CADA ESCENARIO DE TRANSPORTE DESCARBONIZADO

En esta sección estimamos cuánto litio se necesitaría entre 2020-2050 en cada uno de los cuatro escenarios de transporte. En primer lugar, modelizamos las nuevas ventas de VE para turismos y autobuses a fin de salvar la distancia entre la flota actual y el futuro previsto para 2050. Esto requiere datos del historial de ventas y las tasas de falla para determinar qué vehículos circulan actualmente y cuándo habrá que sustituirlos. A continuación, para cada nuevo VE vendido, estimamos la demanda de materiales en función del tamaño, la vida útil y la composición química de la batería.

La figura 9 ilustra nuestra fórmula para calcular la demanda total de litio, y las siguientes secciones explican el modelo, los datos y los supuestos.

## Pronóstico de ventas de VE

El primer paso para estimar las ventas futuras de VE es determinar las necesidades futuras del *stock* de vehículos. En este modelo, el *stock* y el historial de ventas

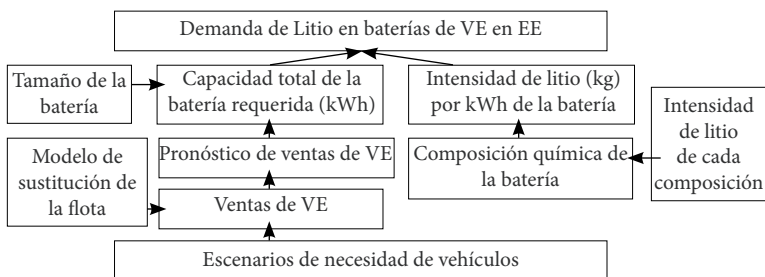


Figura 9. Modelización para estimar la demanda de litio de los VE en EE. UU.

131. «Trends in Electric Light-Duty Vehicles – Global EV Outlook 2022 – Analysis» n.d. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-light-duty-vehicles>; «Bus Profile» n.d. Bts.gov. 2022. <https://www.bts.gov/content/bus-profile>; N.d. Schoolbusfleet.com. 2022. <https://www.schoolbusfleet.com/download?id=10131913&d=1>.

132. «Trends in Electric Light-Duty Vehicles – Global EV Outlook 2022 – Analysis» n.d. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-light-duty-vehicles>

de VE se han extraído del Global EV Outlook de la AIE, de la Oficina de Estadísticas de Transporte y del sitio web School Bus Fleet.<sup>131</sup> Las estimaciones de las necesidades futuras de vehículos se calcularon a partir de las estimadas en los escenarios de transporte descarbonizado para 2050.<sup>132</sup> A continuación se utilizaron el historial y los pronósticos para el futuro para estimar las necesidades totales de VE entre 2021 y 2049.<sup>133</sup> Combinamos estas necesidades con las estimaciones de baja de vehículos a lo largo del tiempo para así inferir la demanda de VE, que suponemos similar a las ventas de vehículos nuevos. En el apéndice de este informe se ofrece más información sobre la modelización de ventas y baja de vehículos.

La vida media de un vehículo privado es de 16,6 años.<sup>134</sup> Para este modelo, suponemos que los turismos de propiedad privada tienen una vida media de 15. Algunas baterías fallan durante su periodo de garantía, lo que significa que se sustituyen antes de la baja del vehículo y contribuyen al aumento de la demanda de baterías nuevas. Considerando las recientes medidas para estandarizar y garantizar los periodos de garantía de las baterías, el modelo plantea en su premisa que una batería averiada podrá ser reemplazada hasta 8 años después de la venta del vehículo (para más información, véase el debate sobre las garantías de las baterías en el apéndice). Las baterías de mayor capacidad pueden tener una vida útil más larga porque atraviesan menos ciclos durante su uso; sin embargo, este potencial de longevidad no se incluye en este modelo; en lugar de eso, se espera que todas las baterías fallen a un ritmo similar. También exploramos periodos de garantía más largos, de 10 y 12 años, aunque tal consideración apenas tiene efecto sobre la demanda total de litio.

## Capacidad de las baterías

Una vez modelizadas las ventas de vehículos a lo largo del tiempo, se necesita información sobre el tamaño y la composición química de las baterías de esos vehículos para estimar la demanda de litio. La capacidad media ponderada por ventas de las baterías de los vehículos eléctricos nuevos en EE. UU. ha pasado de ser de unos 35 kWh en 2012 a

133. Para estimar los antecedentes y pronósticos futuros totales de las necesidades de EV entre 2021 y 2049 se emplearon regresiones polinomiales de segundo y tercer grado. Véase: Keith, David R., Samantha Houston, and Sergey Naumov. 2019 «Vehicle Fleet Turnover and the Future of Fuel Economy» *Environmental Research Letters* 14 (2): 021001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf4d2>.

134. Davis, Stacy, and Robert Boundy. 2022 «Transportation Energy Data Book: Edition 40» Office of Scientific and Technical Information (OSTI).

algo más de 70 kWh en 2021.<sup>135</sup> Esto supone que el vehículo nuevo promedio tiene una capacidad de almacenamiento de energía considerablemente mayor que los modelos previos de VE. Este promedio se ha mantenido casi constante desde 2018, lo que indica que la capacidad media de la batería puede estar nivelándose en algún punto entre 70 y 75 kWh. Aquí, utilizamos tres escenarios diferentes para modelar la futura capacidad media de la batería ponderada por ventas:

- Escenario de baterías con capacidad baja: Un futuro dominado por baterías de 35 kWh que resulta en una media ponderada por ventas de 53,5 kWh.
- Escenario de baterías con capacidad mediana: Un futuro dominado por baterías de 70 kWh con una media ponderada por ventas de 76,75 kWh.
- Escenario de baterías con capacidad alta: Un futuro dominado por baterías de 150 kWh con una media ponderada de ventas de 122,5 kWh.

El voltaje de las baterías de capacidad baja se determinó en base a las capacidades de las baterías de los primeros VE, como los Nissan Leaf de primera y segunda generación, y la capacidad de las baterías de capacidad alta se determinó en base a los camiones ligeros eléctricos recientes, como el Ford F-150 Lightning, el Rivian R1T y el e-Hummer. Dado que la capacidad actual de las baterías se ha mantenido de forma constante justo por encima de los 70 kWh, el escenario de baterías de capacidad mediana se considera el más probable. Sin embargo, la capacidad de las baterías por sí sola no es suficiente para determinar su intensidad material. También es necesario comprender la química de los iones de litio de cada una.

## Composición química del cátodo de la batería

Las baterías de iones de litio (LIB, por sus siglas en inglés) suelen distinguirse por su composición química, es decir, por los elementos activos del cátodo. Las químicas catódicas más comunes para VE son NCM (níquel, óxido de cobalto y manganeso), NCA (níquel, cobalto, alúmina), LFP (litio-ferrofosfato) y LMO (óxido de litio y manganeso). Las baterías NMC se diferencian además

135. «EV-Volumes - the Electric Vehicle World Sales Database» n.d. Ev-volumes.com. <http://www.ev-volumes.com/datacenter>

136. EV-Volumes - the Electric Vehicle World Sales Database» n.d. Ev-volumes.com. <http://www.ev-volumes.com/datacenter>.

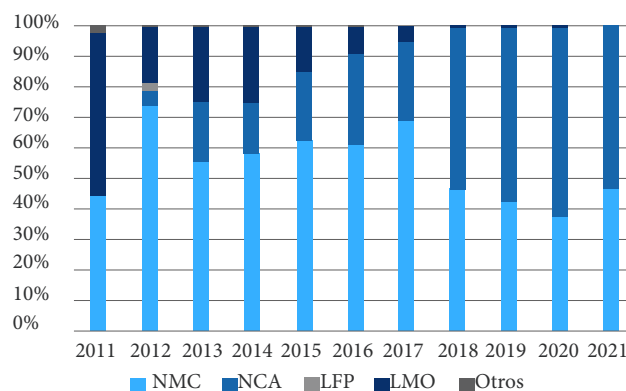


Figura 10. Tipos de composiciones químicas de las baterías en las nuevas ventas de VE ligeros en EE. UU. (2011-2021)<sup>136</sup>

por sus proporciones de níquel, manganeso y cobalto en el cátodo; por ejemplo, NMC 111 es una batería con el mismo peso de níquel, manganeso y cobalto. Las químicas NMC más comunes son NMC 111, 523, 622 y 811, con una preferencia en el mercado hacia concentraciones de níquel más altas (por ejemplo, NMC 622 o NMC 811) para reducir la cantidad de cobalto y litio necesaria.<sup>137</sup>

Desde 2018, más de la mitad de las baterías en ventas de VE nuevos en EE. UU. son NCA, una cifra superior a la de otros países. Esto se debe sobre todo a que Tesla tiene el mayor índice de ventas de VE en los EE. UU. y utiliza casi exclusivamente baterías NCA. Basándonos en los dos populares modelos de autobuses eléctricos de los fabricantes BYD y Proterra, este estudio supone que las baterías de los VE de turismo serán en el futuro un 50 % de NCA y un 50 % de NMC811, y que las baterías de los autobuses eléctricos serán un 50 % de LFP y un 50 % de NMC811.

## Modelización de autobuses

Además del sector de los vehículos ligeros, los autobuses eléctricos alimentados por baterías (e-buses) constituirán una parte importante de la demanda de baterías en los futuros escenarios de transporte. En EE. UU. se utilizan ampliamente dos tipos de autobuses: los autobuses escolares y los autobuses de transporte público. Para determinar las ventas de autobuses se utiliza la misma fórmula que para los vehículos ligeros, combinando la

137. Debido a su mayor densidad energética, NCA y NMC 811 contienen menos cantidad de litio por cada kWh de energía almacenada, aproximadamente 0,1 kg/kWh. NMC 111 tiene la mayor necesidad de litio de todas las químicas catódicas comunes, con 0,14 kg/kWh. LTO, LMO y LFP se utilizan en EE. UU., pero en índices mucho menores que NMC y NCA. LMO y LFP necesitan 0,106 kg/kWh y 0,095 kg/kWh respectivamente. Véase: Figura 31 [Contenido relativo mineral en varias composiciones químicas de LIB] en el apéndice.

necesidad total de autobuses estimada en los diferentes escenarios de descarbonización con el historial del *stock* de autobuses para estimar el posible *stock* de autobuses de EE. UU. entre 2010 y 2050.<sup>138</sup> Se empleó un modelo de renovación de flota para estimar la baja de autobuses. Las flotas de autobuses de transporte público y escolares se modelan por separado con respecto al tamaño y la renovación de la flota. Los autobuses de transporte público suelen comprarse y renovarse en función de la financiación federal disponible en ciclos de 7 años. Los autobuses de transporte público también acumulan kilometraje mucho más rápido que los autobuses escolares y son revisados cuando llegan a los 7 años, «su mediana edad», momento en el que la batería debe ser reemplazada por completo.<sup>139</sup>

En resumen, el modelo de renovación de la flota parte de la premisa de que los autobuses de transporte público tienen una vida útil fija de 14 años, con una revisión a mitad de vida (a los 7 años) en la que se sustituye toda la batería. A diferencia de los vehículos ligeros, no modelamos la vida útil de manera fortuita, o estadísticamente determinada, ya que los datos sobre las tasas de supervivencia de los autobuses son escasos. Basándonos en los populares modelos de e-bus de Proterra y BYD, suponemos que todos los autobuses eléctricos incluyen baterías de 450 kWh hora.<sup>140</sup> Los autobuses escolares son, en general, mucho más antiguos que los de transporte público y se utilizan durante muchos más años. Al realizar pocos viajes rutas al día, acumulan kilometraje más lentamente que los autobuses de transporte público y, por tanto, su vida útil en años es mayor. Basándonos en la comunicación personal con un fabricante de autobuses

escolares, suponemos una vida útil de 20 años. Dado el poco kilometraje acumulado, no se han contemplado sustituciones de baterías para los autobuses escolares en el modelo.

## Reciclaje

El reciclaje podría reducir considerablemente la demanda de extracción de litio nuevo, y los materiales de las baterías recicladas podrían incluso funcionar mejor que los materiales vírgenes.<sup>141</sup> Este informe analiza el potencial del reciclaje para satisfacer la demanda de materiales en un futuro en el que el 100 % de las baterías de los vehículos eléctricos se recojan y reciclen, con una tasa de recuperación de material del 98 % de los materiales deseados, incluido el litio.<sup>142</sup> Este escenario de reciclaje es demasiado favorable; en realidad, estos índices de recogida y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos no son realistas, lo cual dificulta la estimación de las actuales y futuras tasas de reciclaje y recuperación de materiales.<sup>143</sup> Además, los procesos de reciclaje no siempre incluyen todos los materiales. La elección de los materiales a recuperar es una decisión económica que depende del valor de cada material. Tradicionalmente siempre ha sido más barato extraer litio nuevo que reciclarlo, lo que ha hecho que la recuperación de litio resulte menos atractiva para las compañías de reciclaje.<sup>144</sup>

Dado el crecimiento previsto en las ventas de VE y la larga vida de los vehículos, pasarán décadas hasta que el reciclaje pueda satisfacer una fracción significativa de la demanda mundial.<sup>145</sup> Además, las baterías usadas de los

---

138. Transit Profile» n.d. Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/content/transit-profile-0>.

139. Ambrose, Hanjiro. 2017. «Exploring the Costs of Electrification for California's Transit Agencies.» Universidad de California, Institute of Transportation Studies. <https://doi.org/10.7922/G2PZ570Z>.

140. «A Look at the Listed Electric Bus Sector as Biden Moves to Electrify America» Seeking Alpha. 18 de marzo, 2021. <https://seekingalpha.com/article/4414950-look-listed-electric-bus-sector-biden-moves-to-electrify-america>; Para consultar las características del autobús eléctrico de transporte público de 35 pies ProTerra ZX5, véase: [https://www.proterra.com/wp-content/uploads/2022/09/SPEC\\_35\\_001\\_Q4\\_2022\\_V1\\_09\\_01\\_22.pdf](https://www.proterra.com/wp-content/uploads/2022/09/SPEC_35_001_Q4_2022_V1_09_01_22.pdf); Para consultar las características del transporte público BYD K9 40, véase: [https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets\\_k9-40\\_lr.pdf](https://en.byd.com/wp-content/uploads/2019/07/4504-byd-transit-cut-sheets_k9-40_lr.pdf).

141. Ma, Xiaotu, Mengyuan Chen, Zhangfeng Zheng, Dennis Bullen, Jun Wang, Chloe Harrison, Eric Gratz, et al. 2021 «Recycled Cathode Materials Enabled Superior Performance for Lithium-Ion Batteries» *Joule* 5 (11): 2955–70. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.09.005>.

142. Dunn, Jessica, Margaret Slattery, Alissa Kendall, Hanjiro Ambrose, and Shuhan Shen. 2021 «Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles» *Environmental Science & Technology* 55 (8): 5189–98. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07030>.

143. Zhao, Yanyan, Oliver Pohl, Anand I. Bhatt, Gavin E. Collis, Peter J. Mahon, Thomas Rüther, y Anthony F. Hollenkamp. 2021 «A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling» *Sustainable Chemistry* 2 (1): 167–205. <https://doi.org/10.3390/suschem2010011>.

144. Castelvechi, Davide. 2021 «Electric Cars and Batteries: How Will the World Produce Enough?» *Nature* 596 (7872): 336–39. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02222-1>.

145. Dunn, Jessica, Margaret Slattery, Alissa Kendall, Hanjiro Ambrose, and Shuhan Shen. 2021. «Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles» *Environmental Science & Technology* 55 (8): 5189–98. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07030>.

vehículos eléctricos pueden reutilizarse para almacenar energía eléctrica, ya que incluso al final de la vida útil del vehículo, las baterías siguen teniendo bastante capacidad. En cuanto al ciclo de vida, la reutilización reduce los problemas relativos al reciclaje y producción de baterías nuevas, incluso teniendo en cuenta el deterioro del rendimiento de las baterías con el paso del tiempo.<sup>146</sup> Sin embargo, reutilizar una batería para extender su ciclo de uso puede entrar en conflicto con los objetivos de generar material reciclado, ya que una batería de VE que se reutiliza para otro uso ya no se recicla para producir nuevas baterías.

Para maximizar la recogida de baterías y la recuperación de materiales, la UE ha propuesto una nueva legislación sobre baterías basada en los principios de la economía circular<sup>147</sup> y China ha obtenido incentivos para fabricar baterías a partir de materiales reciclados, entre otras políticas industriales que fomentan el reciclaje nacional de baterías.<sup>148</sup> Entre otras medidas, la propuesta de ley de la UE incluye un aumento del ciclo de vida de los desechos en la industria para baterías al final de su vida útil, y fija unos porcentajes mínimos de reciclaje para determinados materiales de las baterías a partir de 2030 (12 % para el cobalto, 4 % para el litio y 4 % para el níquel). En otras palabras, el 12 % del cobalto utilizado para fabricar baterías industriales deberá proceder del proceso de reciclaje.<sup>149</sup>

## Modelización de los escenarios

Para comprender el rango de las potenciales demandas de litio, empleamos un enfoque basado en análisis de escenarios que combina posibles vías para la descarbonización, posibles opciones de diseño de vehículos, posibles requisitos de garantía de las baterías y futuros de reciclaje favorables y desfavorables. En el caso de los autobuses, sólo se aplican los escenarios de descarbonización y reciclaje, ya que el tamaño de las baterías es fijo y las tasas de

146. Dunn, Jessica, Alissa Kendall, and Margaret Slattery. 2022. «Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Recycled Content Standards for the US – Targets, Costs, and Environmental Impacts» *Resources, Conservation, and Recycling* 185 (106488): 106488. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106488>.

147. Dominish, Elsa, Nick Florin, and Rachael Wakefield-Rann «Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling» *Earthworks*. 27 de abril, 2021. <https://earthworks.org/resources/recycle-dont-mine/>.

148. Castelvocchi, Davide. 2021 «Electric Cars and Batteries: How Will the World Produce Enough?» *Nature* 596 (7872): 336–39. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02222-1>.

Itinerario de descarbonización	B: Bajo	L: Ligero	M: Moderado	A: Ambicioso
Tamaño medio de la batería de VE ligero	B: Baja	M: Mediana	G: Alta	
Periodo de garantía de VE	8: 8 años	10: 10 años	12: 12 años	
Reciclaje	R: incentivos de reciclaje		N: sin incentivos de reciclaje	

Figura 11. Escenarios incluidos en el análisis.

sustitución no guardan relación con los periodos de garantía. La figura 11 describe los distintos escenarios modelizados.

En ausencia de intervención, el escenario más probable parece ser la premisa con una batería de capacidad mediana (76,75 kWh) y un periodo de garantía de 8 años. En cuanto al proceso de reciclaje, no se sabe mucho sobre la tasa de recogida de baterías ni se sabe si se recuperará el litio. Tradicionalmente sólo se recuperan los metales de más valiosos, como el cobalto y el níquel, dejando el litio en los desechos generados por el proceso. Sin embargo, gracias al aumento de los precios del litio y la mejora de la tecnología de reciclaje, podrían producirse altos índices de recuperación. Por esta razón, exploramos dos escenarios opuestos; uno en el que no se recupera el litio, y otro con un índice de recuperación de litio del 98 % (suponiendo un 100 % en el índice de recogida de baterías provenientes de vehículos dados de baja). Los resultados finales de los escenarios se muestran en las tablas 8-13 del Apéndice.

## Resultados de la demanda de litio

Los resultados demuestran que tanto la mejora de la comodidad y disponibilidad de otras formas de transporte, así como las modificaciones en el diseño de los VE (es decir, la reducción del tamaño de las baterías) pueden influir significativamente en la demanda total de LIB y en el litio necesario para producirlas (Imagen 29). Al comparar la demanda de litio de los diferentes futuros del transporte con la premisa, se observa una reducción del 18 %, 41 % y 66 % en los escenarios 2, 3 y 4 respectivamente.<sup>150</sup> Al comparar el escenario de baterías de capacidad baja con el de mediana, se observa una reducción del 29 % en la necesidad total de litio respecto a la premisa.<sup>151</sup> Por el contrario, hay un

149. Comisión Europea. 2020 «Proposal for a regulation of the European Parliament and the council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020» Editado por la Comisión Europea, Bruselas, Bélgica. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020PC0798>.

150. Suponiendo una capacidad media ponderada de la batería para ventas medias (76,75 kWh) con un periodo de garantía de ocho años.

151. Suponiendo un periodo de garantía de 8 años.

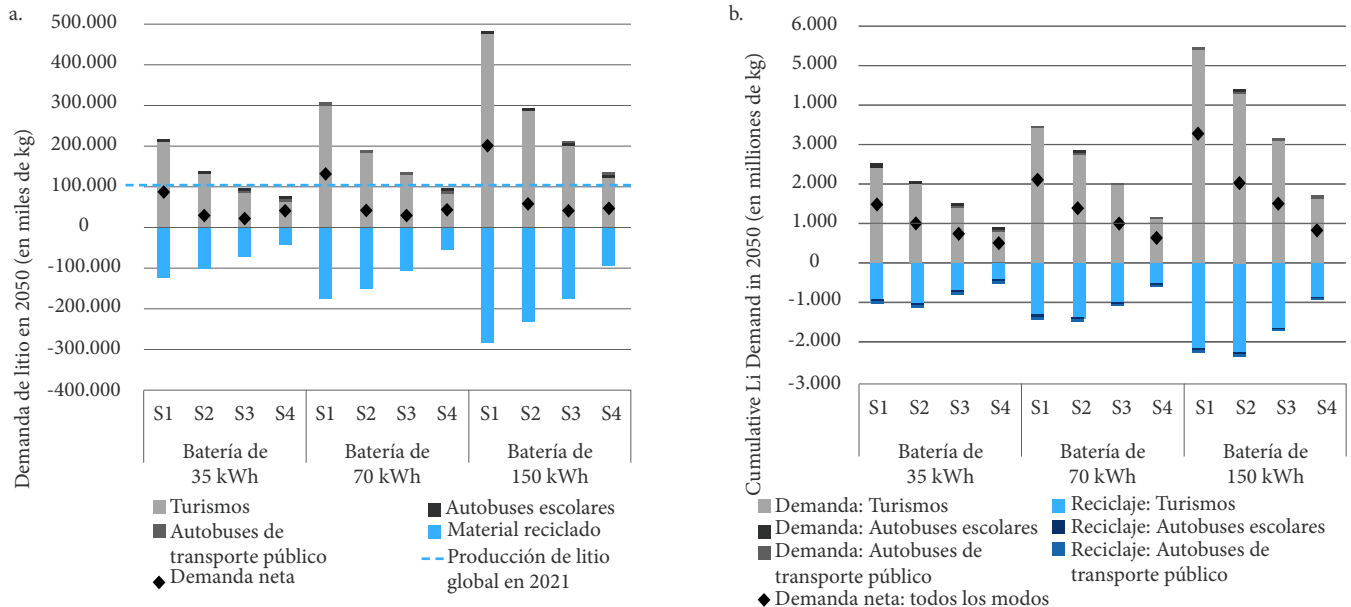


Figura 12. a) Demanda de litio de las baterías de los VE en EE. UU., reciclaje de material y demanda neta potenciales en 2050 para los escenarios (S1, S2, S3 y S4) con un periodo de garantía de las baterías de 8 años en el año 2050. b) Demanda total de litio de los VE en EE. UU., reciclaje de material y demanda neta potenciales totales durante el periodo 2010-2050.

aumento del 56 % en la demanda total de litio respecto a la misma premisa al compararla con el escenario de baterías de capacidad alta con una garantía de 8 años. La ampliación del periodo de garantía afecta menos a la demanda de litio que el tamaño de la batería y el futuro del transporte. Al comparar la demanda total de litio del escenario de batería de capacidad mediana y la garantía común de batería de 8 años con una garantía de 10 y 12 años, se produce un aumento de la demanda de litio del 1,3 % y del 4,1 %, respectivamente. **Estos resultados indican que reducir la demanda de turismo, densificar las zonas urbanas y mantener o reducir la capacidad de las baterías son las vías más eficaces para reducir la futura demanda de litio.**

Los turismo son los que demandan más litio, ya que son el medio de transporte dominante en todos los escenarios futuros. Aunque los autobuses tienen baterías de mucha mayor capacidad, el número de vehículos es lo suficientemente bajo como para suponer sólo un pequeño aumento en la demanda, como se muestra en las figuras 12 a y b.

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de otros escenarios. En ambas tablas, los resultados se presentan en diferencias porcentuales con el futuro del transporte de las baterías de capacidad mediana con 8 años de garantía como escenario de referencia. Estas tablas muestran que el futuro del transporte es, con diferencia, el factor más determinante para la demanda futura de litio, mostrando un desplome de dos tercios en la demanda en el escenario más ambicioso. La capacidad media de las baterías también es importante, pero menos influyente a la hora de determinar la futura demanda de mineral. El periodo de garantía tuvo poco efecto en la demanda de litio.

Unas condiciones ideales de reciclaje (es decir, sistemas de recogida perfectos con un 98 % de recuperación del material y baterías que se reciclan justo después de que el vehículo se dé de baja) podrían proporcionar un total aproximado de 38 % de la nueva demanda de litio para baterías en el escenario modelizado. La figura 13 muestra la demanda de litio, la cantidad máxima posible de litio recuperado mediante el reciclaje y la demanda neta (es decir, la demanda que no puede satisfacerse con litio reciclado) a lo largo del tiempo. Aun con las tasas poco realistas de recogida de baterías y de recuperación de litio, el reciclaje sigue sin poder satisfacer ni siquiera el 50 % de la demanda en 2050, lo que indica que, aunque importante, el reciclaje no puede resolver en las próximas décadas el problema de la demanda de litio de las baterías de los VE. Sigue siendo más eficaz reducir la demanda de litio mediante la reducción de la propiedad de vehículos que imaginar unas condiciones excesivamente optimistas para el reciclaje futuro. No obstante, independientemente de la magnitud de su efecto en el futuro descarbonizado del transporte en el que nos encontremos, el reciclaje es muy importante porque sigue suponiendo una reducción de la extracción de litio en cualquier grado de despliegue de VE.<sup>152</sup>

152. Para un análisis más extenso sobre el potencial del reciclaje para sustituir a la nueva minería, véase: Dominish, Elsa, Nick Florin y Rachael Wakefield-Rann «Reducing new mining for electric vehicle battery metals: responsible sourcing through demand reduction strategies and recycling». Earthworks. 27 de abril de 2021. <https://earthworks.org/resources/recycle-dont-mine/>.

**Tabla 3. Variación porcentual de la demanda total de litio en función del tamaño de las baterías y del futuro de transporte descarbonizado.**

Capacidad de la batería	Escenario futuro	Variación porcentual en la demanda total de litio	Variación porcentual en la demanda total de litio en 2050
Baja	E1	-29%	-29%
	E2	-40%	-56%
	E3	-57%	-68%
	E4	-74%	-74%
Mediana	E1	0%	0%
	E2	-18%	-38%
	E3	-41%	-55%
	E4	-66%	-67%
Alta	E1	56%	58%
	E2	26%	-4%
	E3	-10%	-31%
	E4	-50%	-55%

**Tabla 4. Variación porcentual de la demanda de litio en función del periodo de garantía y del futuro del transporte descarbonizado.**

Periodo de garantía de la batería	Escenario futuro	Variación porcentual en la demanda total de litio	Variación porcentual en la demanda total de litio en 2050
8 años	E1	0%	0%
	E2	-18%	-56%
	E3	-41%	-68%
	E4	-66%	-74%
10 años	E1	1%	2%
	E2	-17%	-37%
	E3	-40%	-54%
	E4	-66%	-67%
12 años	E1	4%	6%
	E2	-14%	-34%
	E3	-38%	-52%
	E4	-64%	-66%

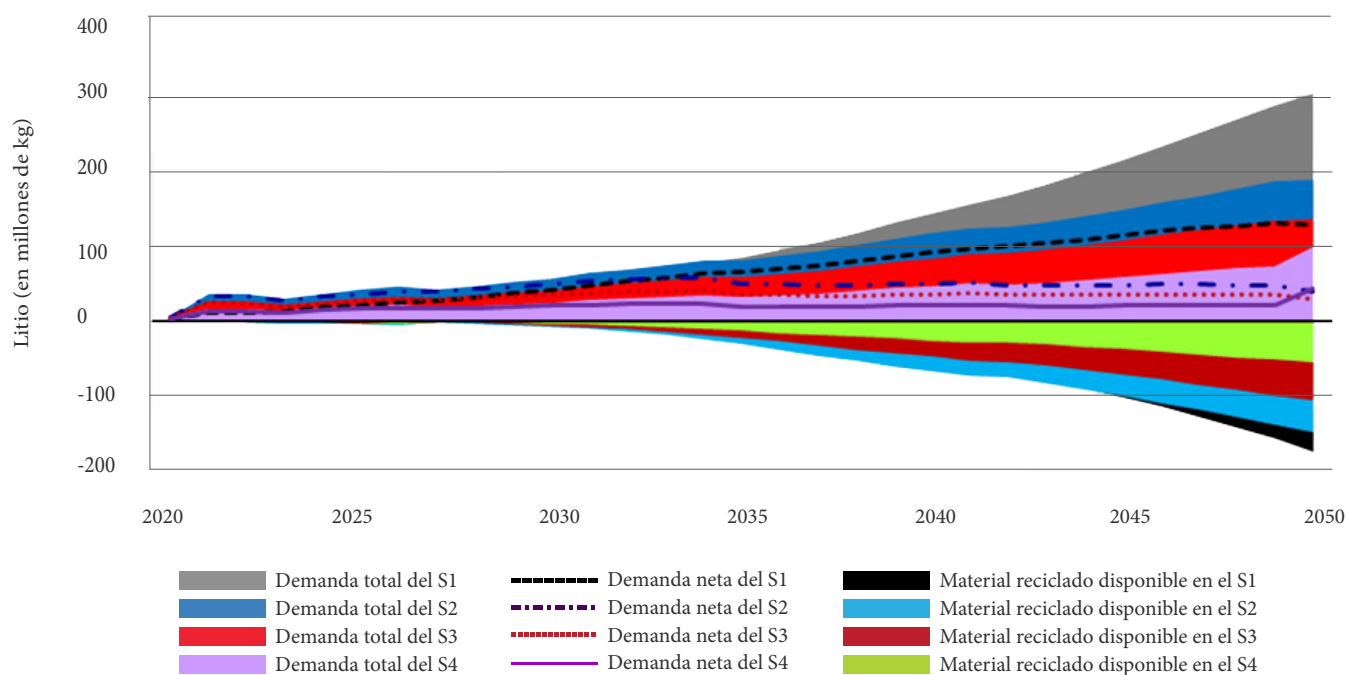


Figura 13. Demanda de litio en futuros de transporte descarbonizados en base a baterías de capacidad mediana, un periodo de garantía de 8 años y una recuperación del 98 % del litio de las baterías provenientes de vehículos dados de baja en el mismo año de la baja.

Quizá las estimaciones de la demanda anual de litio para estos escenarios se puedan contextualizar más fácilmente con respecto a la demanda y oferta actuales de litio. La figura 12a muestra la demanda anual de litio necesaria en 2050 para satisfacer la demanda de transporte de pasajeros de EE. UU. respecto a vehículos personales y autobuses. **Nótese que en todos los escenarios salvo en el 4 la demanda de EE. UU. superará la producción mundial total actual, y la producción mundial deberá satisfacer la demanda de todos los mercados —incluidos China y Europa, que actualmente son mayores que la de Estados Unidos.** Si proyectamos las circunstancias actuales en 2050, sólo la demanda de litio de los vehículos eléctricos estadounidenses requeriría el triple de la cantidad de litio producida actualmente para el mercado mundial. Como referencia, EE. UU. representaba el 12 % del mercado mundial de vehículos eléctricos en 2021.<sup>153</sup>

Si se alcanza el límite máximo de reciclaje y recuperación, en 2050 los materiales recuperados podrían satisfacer el 27 % de la demanda de litio (véase la tabla 12 del apéndice). Esto reduciría sustancialmente la demanda, pero la demanda de VE en EE. UU. seguiría necesitando más del doble de la cantidad total actual de litio producida anualmente en el mundo.

153. Basado en ventas de VE puros (sin contar los VHEE). Véase: «Trends in Electric Light-Duty Vehicles – Global EV Outlook 2022 – Analysis» n.d. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-light-duty-vehicles>.

## Limitaciones de la modelización de la demanda de litio

Existen importantes interacciones entre el tamaño de la batería y su vida útil (es decir, su durabilidad) que no se tienen en cuenta en la modelización de la futura demanda de litio. En igualdad de condiciones, las baterías de mayor capacidad durarán más que las de menor capacidad, ya que atraviesan menos ciclos. Esto podría significar o bien que estamos subestimando la vida útil de los VE que tienen baterías de mayor capacidad y, por tanto, sobreestimando la demanda de nuevos vehículos y baterías; o bien que estamos sobreestimando la vida útil de las baterías de menor capacidad de los VE y subestimando las necesidades de sustitución.

Varios otros factores omitidos en las estimaciones de reciclaje y economía circular son también importantes. En primer lugar, EE. UU. suministra vehículos usados a mercados externos de todo el mundo, principalmente a países de renta baja y media. En este ejercicio de modelización asumimos que todos los vehículos retirados de las carreteras de EE. UU. se quedan dentro de sus fronteras. Del mismo modo, en nuestras estimaciones relativas a la economía circular está implícito que las baterías de los vehículos eléctricos estadounidenses se reciclarán y que el material se incorporará a nuevas baterías de vehículos eléctricos que también se venderán en EE. UU.



# CONCLUSIÓN

Una estrategia de transporte que priorice el transporte público y los desplazamientos en bicicleta y a pie – en combinación con un enfoque de economía circular para la recuperación y reutilización de materias primas– conlleva una reducción general de la extracción de litio y de la contaminación localizada causada por los vehículos, una mejora en el ámbito de la justicia en el transporte y una aceleración de la urgente descarbonización del planeta. La reducción de la demanda de litio en relación con los peores pronósticos ofrece una alternativa clara a los escenarios de transporte actuales, que se basan en la explotación de nuevas minas, la intensificación de las presiones medioambientales sobre los entornos sometidos a la minería, la destrucción de las tierras y los medios de subsistencia indígenas o el incremento de la presión sobre las cadenas de suministro, tensionadas a nivel mundial, para impulsar una flota masiva de vehículos eléctricos. Hay herramientas disponibles ya actualmente, y en diversas escalas de gobierno, para disminuir la demanda de litio y acercarse al cierre de la brecha de suministro de litio, al mismo tiempo que se reducen las emisiones y se avanza hacia unos sistemas de movilidad más seguros, saludables y adaptados al clima en Estados Unidos.

Nuestros resultados muestran que las medidas más eficaces para reducir la demanda futura de litio son la reducción de la dependencia de vehículos privados, la densificación de los suburbios de baja densidad (permitiendo al mismo tiempo que más personas puedan vivir en los espacios urbanos de gran densidad ya existentes), la mejora de la eficiencia de los vehículos eléctricos y la reducción del tamaño de sus baterías.

La reducción de la dependencia del automóvil en Estados Unidos también presenta nuevas oportunidades para abordar los prolongados daños y la exacerbación de la desigualdad social creada por un entorno urbanístico que prioriza los vehículos personales sobre las comunidades, dando lugar al deterioro de la calidad de vida y de la salud

ambiental. Las autoridades estatales y federales pueden aumentar la inversión y el acceso a las opciones de transporte activo y público y, al mismo tiempo, seguir apoyando la transición de la flota MCI a vehículos eléctricos. En las ciudades, los poderes públicos pueden promover opciones de transporte como la bicicleta y los desplazamientos a pie mediante el aumento de la disponibilidad y de la seguridad de los carriles bici, aceras y calles peatonales, la subvención de bicicletas y bicicletas electrónicas, la implantación de programas de coche compartido como alternativa a la propiedad individual de un coche y la provisión de opciones gratuitas o de bajo coste para compartir bicicletas. Habrá que alentar y/o legislar a las autoridades de tráfico y a Amtrak para que operen ferrocarriles regionales con una frecuencia mayor pero a menor coste y así promover la movilidad y reemplazar los traslados en coche.<sup>154</sup> Estas estrategias tendrán que complementarse con una reducción de las subvenciones espaciales y económicas para los vehículos privados: debe limitarse el número de plazas de aparcamiento en la calle y eliminarse el aparcamiento gratuito, deben imponerse gravámenes adicionales a los vehículos de gran tamaño –incluyendo las furgonetas y los todoterrenos– y aplicarse tasas por la congestión de centros urbanos, así como implementar centros urbanos libres de coches o con pocos tráfico.<sup>155</sup> Mientras tanto, será necesario reformar los códigos de construcción, la ordenación territorial y las leyes de uso del suelo para facilitar nuevas viviendas donde los residentes puedan vivir y criar a sus familia sin tener que depender del coche para sus necesidades diarias de transporte. Hay muchas otras políticas que pueden y deberían implementarse para acercar a los Estados Unidos a un sistema de transporte mejor, más seguro y sano y con un consumo menor de litio, vertebrando al mismo tiempo la transición de forma que se reduzcan las desigualdades sociales y raciales al máximo. Una valoración completa de dichas políticas queda fuera del alcance de este informe, aunque el análisis precedente y el anterior informe «Nuevo Acuerdo Verde para el Transporte» de Climate and Community Project perfilan algunas estrategias claves.<sup>156</sup>

El diseño de los vehículos del futuro también es importante. Detener la moda de tener vehículos cada vez más grandes (que requieren baterías cada vez más

154. Un programa alemán que ofrecía abonos mensuales de tarifa plana a bajo precio para trenes regionales resultó inmensamente popular, proporcionando una alternativa de viaje estable en un periodo en el que los precios de la gasolina aumentaron rápidamente y las emisiones de carbono disminuyeron. Euronews, 2022. «*Five Ways a Groundbreaking €9 Rail Pass Changed Germany*». Euronews, 20 de septiembre de 2022. <https://www.euronews.com/my-europe/2022/09/20/five-ways-a-groundbreaking-9-rail-pass-changed-germany>; Blumgart, Jake. 2021. "Taking the 'Commuter' out of America's Rail Systems". *Governing*, 22 de abril de 2021. <https://www.governing.com/now/taking-the-commuter-out-of-americas-rail-systems>.

155. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.princeton.edu/science/article/pii/S2213624X22000281#f0005>

156. Freemark, Yonah, Billy Fleming, Caitlin McCoy, Rennie Meyers, Thea Riofrancos, Xan Lillehei, Daniel Aldana Cohen. «Toward a Green New Deal for Transportation: Establishing New Federal Investment Priorities to Build Just and Sustainable Communities». Climate and Community Project, 2022.

grandes) es un factor clave para reducir la demanda según nuestra modelación. También es de suma importancia invertir esta tendencia para descarbonizar el sector del transporte y reducir el número de muertes por accidentes de tráfico. Otras investigaciones han concluido que es necesaria una normativa de eficiencia energética más estrictas para los vehículos eléctricos para mantener el calentamiento provocado por el cambio climático por debajo de los 1,5-2 °C.<sup>157</sup> Por otro lado, la creciente tendencia a aumentar el tamaño de los vehículos es una de las principales causas del incremento constante del número de muertes por accidentes de tráfico en Estados Unidos.<sup>158</sup>

Hace una década, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) tuvo que armonizar las normas de ahorro de carburante y gases de efecto invernadero (GEI) para los tubos de escape de los vehículos. Es necesaria una transformación de los conceptos de eficiencia e impacto medioambiental de los vehículos para que incluyan el impacto de la producción de los vehículos y no únicamente su funcionamiento. Para ello hay que elaborar políticas en esta dirección –ya sea mediante la integración de las emisiones o del impacto de la producción según los estándares CAFE actuales (las normas de consumo medio de combustible de las empresas)<sup>159</sup>, u otras medidas que contemplen la carga social y medioambiental total del ciclo de vida de un vehículo, empezando por las explotaciones mineras al principio de la cadena de suministro. Estas iniciativas podrían contribuir a reducir la demanda material en futuros transportes descarbonizados. **Si prestamos atención únicamente a las emisiones de GEI y a la eficiencia de los vehículos, correremos el riesgo de que el impacto unidireccional de dicha carga se multiplique y se traslade de unas comunidades particularmente afectadas a muchas comunidades.** Esto podría prevenirse con la integración en dichas políticas de unos indicadores más exhaustivos sobre el impacto social y medioambiental.

El reciclaje y la recuperación del litio es otra medida significativa. Habida cuenta de la rentabilidad de la recuperación de litio, puede que sea necesario contar con intervención política para garantizar que la recuperación

de este recurso no se ve motivada exclusivamente por el precio. La UE ha propuesto unas normas de contenido reciclado para las baterías futuras que pueden mejorar las condiciones económicas de la recuperación de materiales –especialmente del litio– que, de otra manera, podría no ser tan atractivo como el níquel, el cobalto y otros metales de más valor. También podrían resultar eficaces otras iniciativas como la responsabilidad extendida del productor con condiciones adicionales para la manipulación de baterías y la recuperación de materiales.

**Tal y como demuestran los casos prácticos incluidos en este informe, la primera línea de los puntos de extracción miner debe ser un elemento central en los escenarios de descarbonización del transporte en Estados Unidos.** Esto supone el reconocimiento de los derechos de las comunidades, la expansión y la implementación de normativas medioambientales, la adopción de procesos de toma de decisiones más democráticos y el planteamiento de zonas prohibidas y/o moratorias para la minería en entornos con dificultades de abastecimiento de agua o lugares sensibles desde un punto de vista cultural. Estos principios deben trascender las fronteras estadounidenses e incorporar la justicia en la cadena de suministro a los acuerdos comerciales con el objetivo de garantizar que los materiales importados se rigen por unos estándares estrictos en materia de derechos laborales, humanos e indígenas, así como otras regulaciones medioambientales y normativas sobre emisiones.

La reducción de la demanda global es un poderoso elemento complementario para estas reformas de gobernanza en los lugares de extracción, que a su vez reduce la lucha por los recursos y protege las comunidades, entornos y ecosistemas de unos daños que, en muchos casos, son irreversibles. **Por estas razones abogamos por un planteamiento integral y holístico de la cadena de suministro en lo referente a la justicia en el ámbito de la movilidad a nivel global, que atienda los factores estructurales de la demanda minera y aspire a una transformación ambiciosa de este sector.**

157. Milovanoff, A., Posen, I.D. y MacLean, H.L. «*Electrification of light-duty vehicle fleet alone will not meet mitigation targets*» *Nat. Clim. Chang.* 10, 1102-1107 (2020) <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00921-7>.

158. Ionescu, Diana. 2022. «*Bigger Vehicles, Blindspots Contributing to More Pedestrian Deaths*». [Los vehículos más grandes y los ángulos muertos contribuyen a más muertes de peatones]. Planetizen. 18 de marzo de 2022 <https://www.planetizen.com/news/2022/03/116570-bigger-vehicles-blindspots-contributing-more-pedestrian-deaths>; Zipper, David. 2022. «*The Car Safety Feature That Kills the Other Guy*» [La función de seguridad del coche que mata al otro]. Slate. 7 de noviembre de 2022 [\[bloat-pedestrian-deaths.html\]\(https://slate.com/business/2022/11/suv-size-truck-bloat-pedestrian-deaths.html\); Claus, B., y L. Warlop. 2022. «\*The Car Cushion Hypothesis: Bigger Cars Lead to More Risk Taking-Evidence from Behavioural Data\*» \[La hipótesis del cojín del coche: Los coches más grandes llevan a asumir más riesgos – Evidencia de datos de comportamiento\] \*Journal of Consumer Policy\* 45 \(2\): 331–42. <https://doi.org/10.1007/s10603-022-09511-w>.](https://slate.com/business/2022/11/suv-size-truck-</a></p></div><div data-bbox=)

159. Kendall, Alissa, y Lindsay Price. 2012. «*Incorporating Time-Corrected Life Cycle Greenhouse Gas Emissions in Vehicle Regulations*». *Environmental Science & Technology* 46 (5): 2557–63. <https://doi.org/10.1021/es203098j>.

La transición hacia el transporte electrificado es clave para la descarbonización y será más rápida y equitativa a nivel global si los Estados Unidos reducen la dependencia del automóvil, amplían las redes de transporte público y, por lo tanto, reducen la necesidad de litio del sistema de transporte electrificado. Es posible lograr este futuro con mecanismos que abarquen desde políticas de transporte público y decisiones sobre el uso del suelo y la ordenación territorial hasta normativas sobre el tamaño de las baterías y las garantías de los vehículos y la planificación de un paisaje urbano que integre la peatonabilidad y seguridad en bicicleta. Estas decisiones corresponden a los representantes electos y designados en los gobiernos municipales, estatales y federales. Somos conscientes de la realidad del estancamiento en el Congreso y la polarización partidista en Estados Unidos y precisamente por eso hemos elaborado una amplia gama de futuros polifacéticos de transporte, con muchos elementos para la intervención política y comunitaria. Este informe pretende brindar a las personas y a los responsables políticos de todo el país los argumentos, las pruebas y las propuestas que necesitan para abogar por un futuro del transporte lo más equitativo posible.

“

**La transición hacia el transporte electrificado es clave para la descarbonización y será más rápida y equitativa a nivel global si los Estados Unidos reducen la dependencia del automóvil, amplían las redes de transporte público y, por lo tanto, reducen la necesidad de litio del sistema de transporte electrificado.**

”

# APÉNDICES

La siguiente sección examina cómo se construyeron estos escenarios a partir de datos de escenarios globales de transporte. La sección a continuación, «Escenarios de movilidad descarbonizada», analiza la creación de cada escenario a partir de conjuntos de parámetros y señala de manera explícita la manera en que estos parámetros varían entre escenarios.

## La creación de itinerarios de descarbonización a partir de datos sobre sistemas globales de transporte

La descarbonización de los sistemas globales de transporte ya está en marcha. Podemos encontrar distintas etapas y enfoques de esta transición en la variedad existente de los sistemas de transporte a nivel mundial y verlas aplicadas en ciudades estadounidenses para demostrar las posibles vías futuras. Los investigadores del clima y el transporte han ilustrado las relaciones entre los sistemas de transporte, los entornos urbanísticos y la reducción de emisiones. Por ejemplo, el hecho de que haya más personas viviendo en lugares asociados a un menor uso del automóvil es una herramienta sumamente eficaz para reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de

160. Newman y Kenworthy, «Gasoline Consumption and Cities Revisited»; Newman and Kenworthy, «The End of Automobile Dependence»; Newman, «Cool Planning»; «U.S. Cities Factsheet»; Jones, Wheeler, and Kammen, «Carbon Footprint Planning».

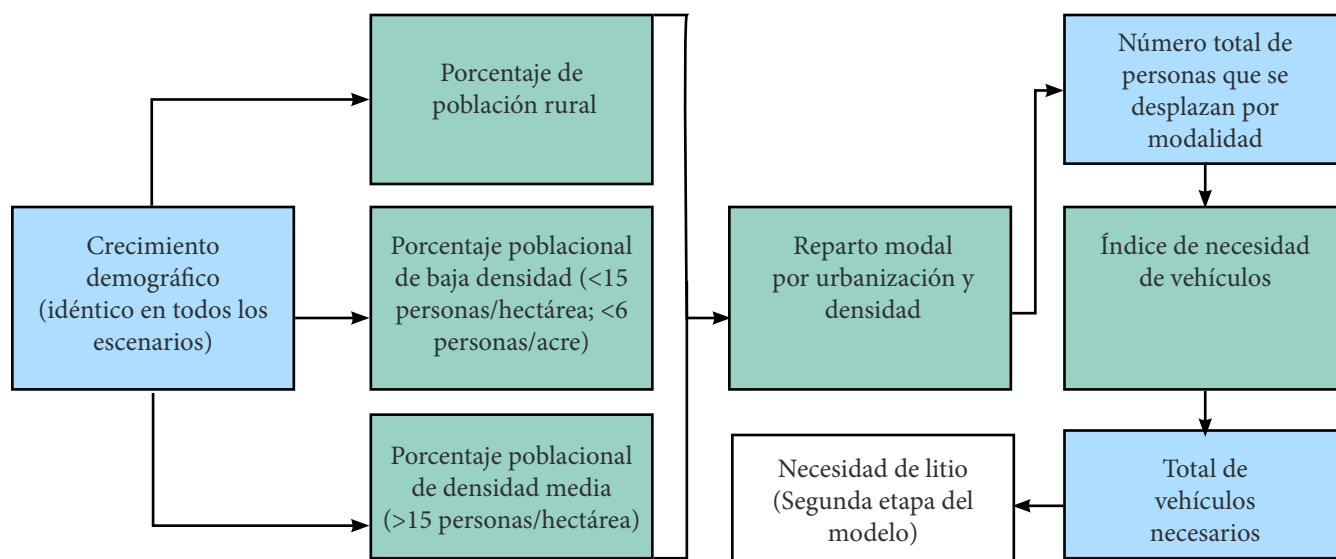


Figura 14. Organigrama sobre la modelación sobre la cantidad de vehículos necesarios

efecto invernadero.<sup>160</sup> Esta sección hace un balance de los sistemas de transporte actuales a nivel global para poder establecer un conjunto de futuros del transporte factibles.

## Panorama general de la modelación de la cantidad de vehículos necesarios

La figura 14 que aparece a continuación muestra cómo se elaboró la modelación sobre el número de vehículos necesarios para nuestros cuatro escenarios de movilidad descarbonizada. En el diagrama, [el color azul] indica una etapa de cálculo, o configuraciones estáticas o proyecciones, mientras que [el color rosa] señala parámetros que varían según los modelos.

La población total a lo largo del tiempo (que no varía según el escenario) se asigna a zonas rurales, zonas urbanas de baja densidad y zonas urbanas de densidad media, que denominaremos clases de densidad. Se ha aplicado un conjunto de parámetros para el reparto modal (el porcentaje de desplazamientos que se producen a través de diferentes modos de transporte, véase vehículo privado, transporte público o transporte activo). Se han utilizado proyecciones de reparto modal para cada escenario y para cada clase distinta de densidad. Cada escenario aplica un conjunto de parámetros sobre la manera en que las personas suelen desplazarse en zonas rurales, zonas urbanas de baja densidad y zonas urbanas de densidad media.

**Tabla 5. Vehículos necesarios y Parámetros en los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada**

Escenario	Urbanización/ Clase de densidad	Población (%)	Porcentaje de transporte activo (%)	Porcentaje de automóviles (%)	Otros modos de transporte (%)	Porcentaje de transporte público (%)	Automóviles necesarios (millones)	Autobuses necesarios (millones)
Escenario 1	Rural	19,02	2,85	93,31	1,28	2,56	60,75	0,01
	Densidad baja	62,14	3,22	88,21	4,97	3,60	187,58	0,04
	Densidad media	18,84	<b>4,59</b>	<b>75,98</b>	<b>5,49</b>	<b>13,95</b>	<b>48,99</b>	<b>0,04</b>
Escenario 2	Rural	19,02	2,85	93,31	1,28	2,56	60,75	0,01
	Densidad baja	62,14	28,10	59,70	1,60	10,60	126,96	0,11
	Densidad media	18,84	37,21	42,51	0,08	20,14	27,41	0,06
Escenario 3	Rural	19,00	<b>2,85</b>	<b>93,31</b>	<b>1,28</b>	<b>2,56</b>	<b>60,68</b>	<b>0,01</b>
	Densidad baja	31,00	28,10	59,70	1,60	10,60	43,19	0,05
	Densidad media	50,00	37,21	42,51	0,08	20,14	49,60	0,15
Escenario 4	Rural	15,00	5,00	90,00	0,00	5,00	46,20	0,01
	Densidad baja	<b>10,00</b>	<b>25,00</b>	<b>60,00</b>	<b>0,00</b>	<b>15,00</b>	<b>9,33</b>	<b>0,02</b>
	Densidad media	<b>75,00</b>	<b>40,00</b>	<b>20,00</b>	<b>0,00</b>	<b>40,00</b>	<b>23,34</b>	<b>0,37</b>

A partir de la población que habita los distintos niveles de densidad demográfica y el reparto modal según los tipos de densidad hemos estimado el número total de personas que se desplazan principalmente mediante los distintos modos de transporte. Un conjunto final de datos, el modo en el que la frecuencia de desplazamientos por cada modalidad de transporte concreta impacta a la cantidad de vehículos necesarios, nos ha permitido calcular el total de vehículos necesarios en cada escenario. Esto nos conduce a la segunda etapa del modelo, que pasa la cantidad de vehículos necesarios a las necesidades de litio. Para la elaboración de este informe solo hemos tomado en cuenta los vehículos ligeros de pasajeros (turismos, vehículos utilitarios deportivos o SUV y camiones ligeros) y autobuses, incluyendo autobuses escolares. Esto se debe a la gran necesidad de litio de estos vehículos, en comparación con los trenes ligeros y pesados de pasajeros, las bicicletas, las bicicletas eléctricas y otras formas de micromovilidad.<sup>161</sup>

161. Véase Figura 4: Aunque algunas bicicletas eléctricas y otras modalidades de micromovilidad sí requieran algo de litio, una bicicleta eléctrica necesitaría cerca de 1/400 de la cantidad de litio que necesita un pequeño coche eléctrico y menos de 1/1000 de lo que requiere un gran SUV o una camioneta eléctrica.

Este apéndice expondrá la definición cuantitativa de cada escenario y la cantidad de vehículos necesarios en cada uno de ellos antes de describir cómo se establecieron los parámetros en función de los datos de los sistemas globales de transporte y de tratar la estructura del modelo con más detalle.

## Los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada

La tabla a continuación muestra los parámetros utilizados en los cuatro escenarios de descarbonización. Por ejemplo, en el Escenario 1 el 19 % de la población vive en zonas rurales y el 93 % de esas personas se desplazan principalmente en coche. Según la tasa de vehículos necesarios en ese escenario, se requieren 60,75 millones de coches para satisfacer las necesidades de movilidad de esa parte de la población en ese escenario.

Las columnas que definen los parámetros están coloreadas de azul para que coincidan con el diagrama del modelo anterior. Los porcentajes de modalidad reflejados en esta tabla hacen referencia al porcentaje de

**Table 6. Parámetros para los porcentajes de número de vehículos necesarios por tipo de vehículo**

Índice de vehículos necesarios	Escenarios 1 y 2	Escenario 3	Escenario 4
Automóviles (por cada mil personas que se desplazan principalmente en coche)	880	600*	400*
Autobuses (por cada millón de personas que se desplazan principalmente en transporte público)	4.400	3.800	3.200
Autobuses escolares (total, miles)	560	560	<b>480</b>

desplazamientos. Las dos columnas que muestran el total de vehículos necesarios por tipo se muestran en azul. Transporte y de tratar la estructura del modelo con más detalle.

Dado que los autobuses escolares no se consideraron como una función de la proporción de los modos de transporte entre las clases de densidad, aparecen con distintas unidades de medida en la tabla superior. En los escenarios 1-3, la necesidad de autobuses escolares se calculó ajustando la flota actual de autobuses escolares con el crecimiento de la población, mientras que en el escenario 4 la necesidad de autobuses escolares disminuyó un poco para reflejar la probabilidad de que las áreas con mayor densidad y menos tráfico de automóviles permitirían que los autobuses amarillos operasen de manera más eficiente.

Las tablas muestran cómo se parametrizaron los modelos y cómo la necesidad total de vehículos de las diferentes movilidades descarbonizadas requieren unas cantidades muy dispares de vehículos. La tabla 5 también muestra el desglose de la cantidad de vehículos necesarios en zonas rurales y lugares de densidad baja y media.

## Datos

Para formular los parámetros empleados en los distintos escenarios de movilidad descarbonizada hemos incorporado varios conjuntos de datos para comprender la variación global de los factores de los sistemas de transporte y cómo inciden unos en otros.

162. UITP, «Base de datos de movilidad en ciudades».

163. Deloitte, «Índice Deloitte de Movilidad Urbana 2020».

Los tres conjuntos principales de datos utilizados son:

- La Base de Datos de Movilidad en Ciudades (MCD) de 2020 de la Asociación Internacional de Transporte Público (UITP)<sup>162</sup>
- Los datos del Índice de Movilidad Urbana de Deloitte (DCMI) de 2020/2018<sup>163</sup>
- Los datos de la Encuesta sobre la Comunidad Estadounidense (ACS) de la Oficina del Censo de los Estados Unidos de 2019 (estimaciones a 5 años)

Las dos primeras fuentes son conjuntos de datos internacionales. Los datos de la MCD de la UITP son fruto de décadas de trabajo para elaborar características urbanas y de transporte comparables y estandarizadas para una serie de ciudades de todo el mundo.<sup>164</sup> Hemos empleado la edición de estos datos de 2020, que recoge las características desde 2012. Los datos del DCMI se recabaron a partir de informes urbanos de la consultora Deloitte que incluyen información sobre la densidad demográfica y porcentajes de modalidades (de transporte). Para los años 2018 y 2020 había una serie distinta de ciudades y se han combinado los datos de los dos años para que este informe pueda presentar una representación transversal más completa.

Hemos comparado los resultados de estos dos conjuntos de datos para comprobar la solidez de las relaciones que examinamos, pero los resultados de las

164. Kenworthy, Jeffrey R. «*The Good, the Bad and the Ugly in Urban Transport: Comparing Global Cities for Dependence on the Automobile*». Methods for Sustainability Research, 28 de julio de 2017, 46-62. <https://doi.org/10.4337/9781786432735.00012>.

dos fuentes de datos distintas no coinciden exactamente debido a las diferencias en el período del tiempo, los enfoques de recogida de datos y las diferentes definiciones de área (tales como área urbanizada o área metropolitana).

En tercer lugar, los datos de la ACS de la Oficina del Censo de los Estados Unidos son recientes, de gran calidad y nos permiten establecer comparaciones entre lugares, pero solo incluyen información de dentro de los Estados Unidos.

En combinación, los tres conjuntos de datos ofrecen una panorámica abundante y relativamente coherente de las variedades de las características fundamentales de los sistemas de transporte en función del lugar y de la manera en que se relacionan entre sí.

Cabe destacar que, mientras que los datos de la UITP y el DCMI consideran los porcentajes (de modalidad) de todos los desplazamientos, los datos de la ACS consideran los porcentajes (de modalidad) de los desplazamientos al trabajo. Cuando se utilizan los datos de la ACS, se utilizan estos porcentajes (de modalidad de desplazamiento al trabajo) como aproximación a los porcentajes (de modalidad) totales. Aunque los porcentajes de desplazamientos al trabajo no son indicadores perfectos del número total de desplazamientos (probablemente se sobrestimen los desplazamientos en transporte público y se subestimen los desplazamientos en transporte activo), representan los mejores datos disponibles con una cobertura completa de las zonas urbanas de Estados Unidos. La comparación de los datos de la ACS y el DCMI en las áreas urbanas cubiertas por los datos del DCMI indica que el porcentaje de desplazamientos al trabajo (de la ACS) suele tener un porcentaje de automóviles entre 3-5 puntos superior al porcentaje de desplazamientos (del DCMI). Esto sugiere que los datos de los porcentajes de desplazamientos al trabajo que utilizamos en el escenario 1 pueden sobrevalorar en cierta medida el porcentaje de desplazamientos que realmente se realizan en coche, lo que haría que los cambios de modalidad de transporte en los escenarios 2-4 fueran algo menos considerables.

Asimismo, todos los conjuntos de datos suelen utilizar «datos urbanizados» como definición de área.<sup>165</sup> Los datos de la MCD de la UITP incluyen a menudo un

---

165. En EE. UU., las zonas urbanizadas no incluyen los terrenos menos urbanizados ni los espacios abiertos dentro de un área metropolitana. «2010 Census Urban and Rural Classification and Urban Area Criteria». Oficina del Censo de Estados Unidos, 28 de octubre de 2021. <https://www.census.gov/programs-surveys/geography/guidance/geo-areas/urban-rural/2010-urban-rural.html>.

166. Estas fuentes no se incluyen como fuentes de datos «primarias» porque se utilizó un único dato del Departamento de Energía de EE. UU.

ámbito de análisis más amplio, pero incluyen un valor para la densidad demográfica «urbana», que únicamente utiliza el área urbanizada para calcular la densidad así que hemos utilizado este valor para la densidad demográfica cuando empleamos los datos de la MCD de la UITP. Por lo tanto, las definiciones de área son relativamente coherentes en los conjuntos de datos y los países incluidos en ellos y pueden ofrecer comparaciones útiles, aunque seguirá habiendo discrepancias como consecuencia de las distintas prácticas regionales y nacionales a la hora de definir las áreas urbanas.

Nuestro análisis se basa mayoritariamente en los datos de la ACS para el análisis de las condiciones existentes en las ciudades estadounidenses y en los datos de la MCD de la UITP para establecer comparaciones internacionales y elaborar escenarios realistas de densidad urbana y transporte. Los datos de Deloitte se han utilizado para complementar la panorámica de los datos de la MCD de la UITP y establecer que las relaciones básicas sean coherentes en todos los conjuntos de datos.

Por último, se han empleado datos del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) y del Instituto de Recursos Mundiales (WRI) para obtener información sobre el número de automóviles, autobuses de transporte público y autobuses escolares que existen actualmente en Estados Unidos y se han utilizado para calcular las necesidades de vehículos en el futuro, facilitando los parámetros para los índices de necesidad de vehículos incluidos en los escenarios 1 y 2.<sup>166</sup>

## Clases de densidad y transporte

La lógica de nuestro modelo se fundamenta en la constatación sólida y duradera (señalada por primera vez en 1989) de que la densidad urbana está relacionada con la intensidad energética del sistema de transportes.<sup>167</sup> Cuanto menos densa es una ciudad, más energía por persona será necesaria para su transporte, y viceversa.

Peter Newman y Jeffrey Kenworthy, investigadores en materia de transporte y sostenibilidad, fueron los primeros en apuntar esta observación. Estos investigadores identificaron varios umbrales de densidad demográfica

---

(DOE) y del Instituto de Recursos Mundiales (WRI), respectivamente; Davis y Boundy, *Transportation Energy Data Book* [Libro de datos sobre la energía del transporte]; Lazer y Freehafer, «*Dataset of Electric School Bus Adoption in the United States*» [Conjunto de datos sobre la adopción de autobuses escolares eléctricos en Estados Unidos].

167. Newman y Kenworthy, «Gasoline Consumption and Cities» [Consumo de gasolina y las ciudades].

a partir de los cuales predominan distintos modos de transporte. Según su esquema, en las zonas urbanas de menos de 35 personas/hectárea (ha) predomina el automóvil; entre 35 y 50 personas/ha predomina el transporte público y a densidades más altas predomina el desplazamiento a pie. Cabe destacar que algunos de estos datos incluyen zonas con un enorme abanico de niveles de renta.

Sin embargo, los datos de la UITP muestran que el uso del automóvil puede reducirse de manera drástica (en áreas) con densidades inferiores a los umbrales de 35 o 50 personas/ha de la clasificación de Newman y Kentworthy. Además, debido al alto nivel de dispersión urbana y a las bajas densidades de la mayoría de las zonas urbanizadas de EE. UU., hay muy pocas áreas que se acerquen actualmente a cualquiera de estos umbrales. Para elaborar escenarios de movilidad hemos considerado cómo puede vivir la futura población de Estados Unidos con diferentes densidades de población y niveles de urbanización. Por todas estas razones en este análisis hemos utilizado unos niveles de densidad diferentes de los empleados por Newman y Kenworthy, a saber:

- Rural (fuera de las zonas urbanizadas)
- Zonas urbanas de baja densidad (<15 personas/ha)
- Zonas urbanas de densidad media (>15 personas/ha)

Hemos adoptado las definiciones de zonas urbanas de la Oficina del Censo estadounidense de 2019.

Empleamos la terminología de densidad Baja y Media para describir estos umbrales porque incluso la tipología de densidad media es notablemente inferior a la de muchas otras ciudades del mundo. Ninguno de nuestros escenarios de descarbonización requiere que ningún área urbana de Estados Unidos alcance unos niveles de densidad superiores al umbral más alto de 15 personas/ha. Alcanzar densidades de población más altas en algunas ciudades probablemente solo sería beneficioso desde la mayoría de las perspectivas económicas, sociales o ecológicas, y las densidades más altas son muy comunes en otros lugares del mundo. Sin embargo, no contemplamos densidades más altas en nuestros escenarios principalmente porque la densidad de las áreas metropolitanas estadounidenses existentes es muy baja en la actualidad en comparación con otras ciudades del mundo y porque no se requieren unos niveles más altos para empezar a reducir considerablemente la necesidad de recursos y otros costes de nuestro sistema de transporte.

Los gráficos siguientes muestran cifras nacionales e internacionales de densidad y reparto modal y han sido confeccionados a partir de los tres conjuntos de

datos descritos anteriormente. En cada gráfico se han etiquetado varias ciudades para ilustrar las diferentes densidades y modos de transporte en ciudades reales.

Las líneas horizontales representan los umbrales de 15 personas/ha que separan las clases de densidad baja y media en la elaboración de nuestro escenario. La tabla 6 refleja que las zonas urbanizadas de EE. UU. son mucho menos densas que muchas de las ciudades del mundo y tienen un porcentaje de desplazamientos mucho más elevado. Las ciudades más densas tienen menos desplazamientos en coche. Sin embargo, la densidad no es el único factor determinante del porcentaje de los modos de transporte. Muchas ciudades en el mundo, como Helsinki y Oslo, tienen un porcentaje de desplazamientos en coche mucho más bajo aun teniendo densidades comparables a las de las ciudades estadounidenses incluidas en los datos.

La figura 15 emplea los datos del DCMI de Deloitte para ilustrar la misma correlación entre una serie más reducida de ciudades. En este caso, Ámsterdam, Manchester y Ciudad de México presentan una densidad similar a la de muchas ciudades de EE. UU. con porcentajes de uso de automóviles inferiores o notablemente inferiores. Algunas ciudades, como Oslo, ocupan unas posiciones claramente diferentes en los dos gráficos y esto se debe a los distintos periodos de tiempo de los dos conjuntos de datos y, posiblemente, a otras diferencias en la medición. No obstante, los dos gráficos muestran una relación coherente.

La figura 16 se sirve de los datos de la ACS para exponer la misma relación en todas las zonas urbanizadas de EE. UU. con una población superior al medio millón de habitantes. El rango de densidades de población es mucho menor: ninguna zona urbanizada de EE. UU. tiene más de 30 personas/ha. La relación entre densidad y uso del coche sigue presente, pero es menos pronunciada. Incluso las zonas urbanizadas de EE. UU. que utilizan automóviles de forma esporádica, como Nueva York-Newark, tienen extrarradios extensos que reducen su densidad y aumentan su dependencia general del coche.

Los trazos de la figura 16 muestran que la densidad es una característica esencial que se correlaciona sistemáticamente con el porcentaje del modo de transporte. Sin embargo, las relaciones entre el porcentaje de modo de transporte y la densidad demográfica pueden ser complejas.<sup>168</sup> Nuestros datos revelan que ciudades

168. Teoh, Ancaes y Jones, «Urban Mobility Transitions through GDP Growth»; Ewing y Cervero, «Does Compact Development Make People Drive Less?»; Ewing et al., «Testing Newman and Kenworthy's Theory of Density and Automobile Dependence»; Kuss y Nicholas, «A Dozen Effective Interventions to Reduce Car Use in European Cities»; Kenworthy, «Urban Transport and Eco-Urbanism».



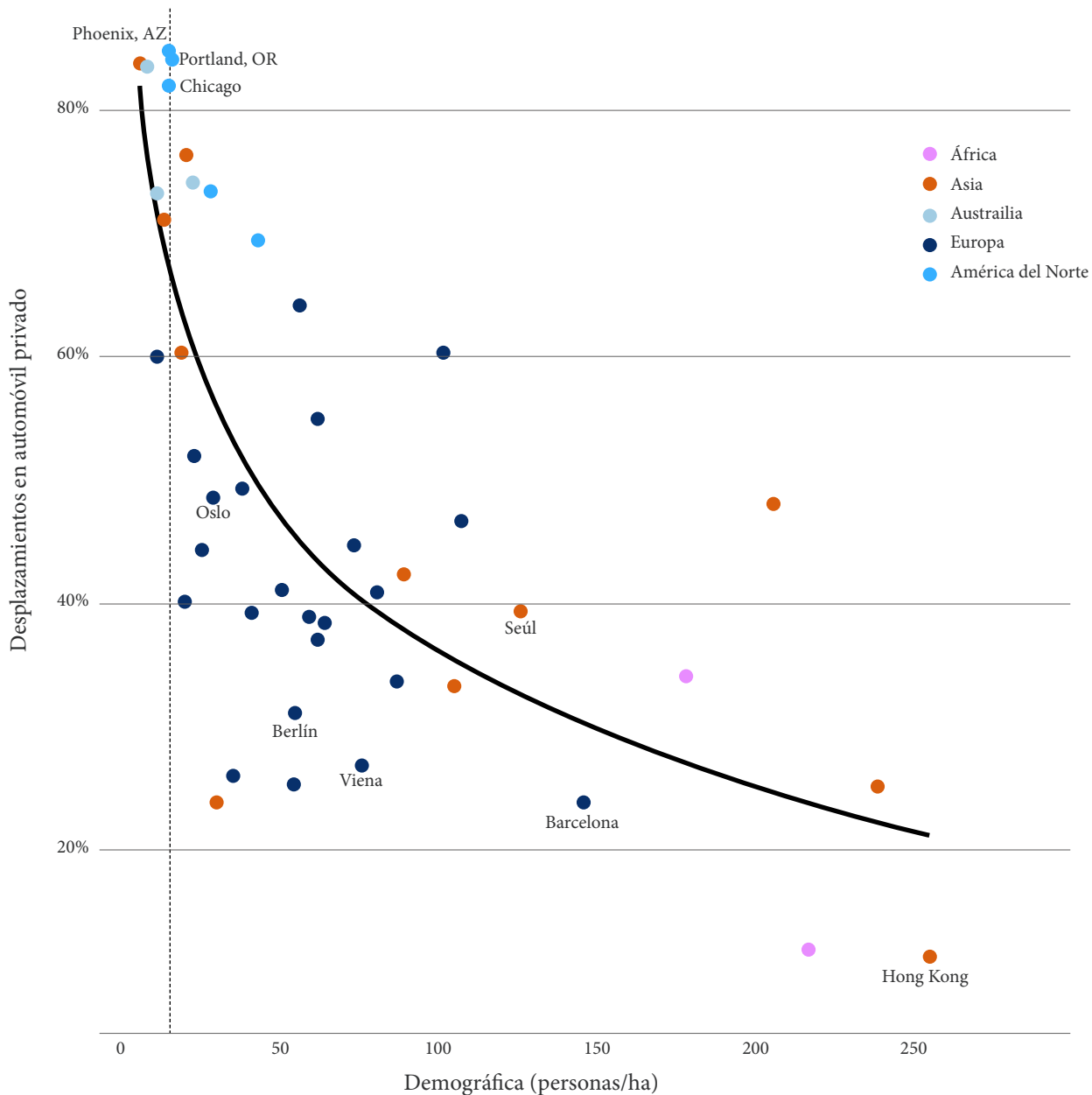


Figura 15. Densidad demográfica y porcentaje de desplazamientos en automóvil privado, MCD de UITP

con densidades de población similares pueden tener unos reparto modal muy diferentes. En Birmingham (Inglaterra), el 65 % de los desplazamientos se realizan en vehículo privado mientras que el porcentaje en Berlín es menos de la mitad. Ambas ciudades tienen densidades de población similares, en torno a las 50 personas/ha según los datos de la MCD de la UITP.

Para que tengamos una idea más clara de las ciudades estadounidenses existentes y de la definición espacial de zona urbanizada que hemos utilizado, hemos incluido a continuación unos mapas de densidad demográfica de las zonas urbanizadas de Chicago, Nueva York y Los Ángeles, seguidos de un histograma que recoge

la distribución actual de la población estadounidense por regiones censales. La elección de estas tres zonas se debe simplemente a que todas ellas son grandes ciudades que presentan formas urbanas muy variadas. Los mapas ponen de manifiesto la forma en que la expansión descontrolada y las zonas periféricas de baja densidad hacen que todas las zonas urbanizadas sean mucho menos densas de lo que cabría esperar en algunas de estas ciudades. El histograma subraya la elevada proporción de población estadounidense que vive actualmente en zonas urbanas de muy baja densidad, con menos de 15 personas/ha.

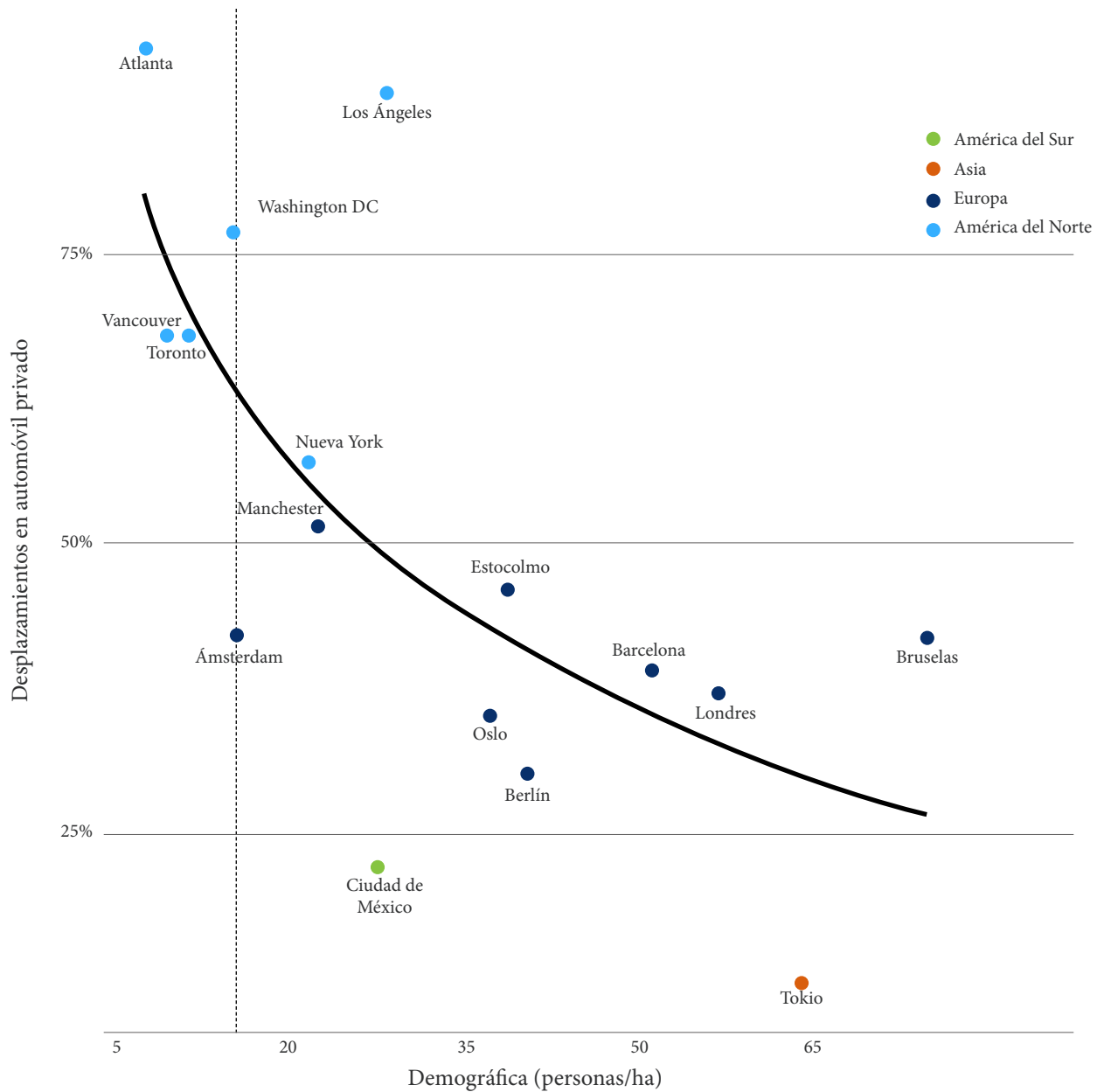


Figura 16. Densidad demográfica y porcentaje de desplazamientos en automóvil privado, datos del DCMI

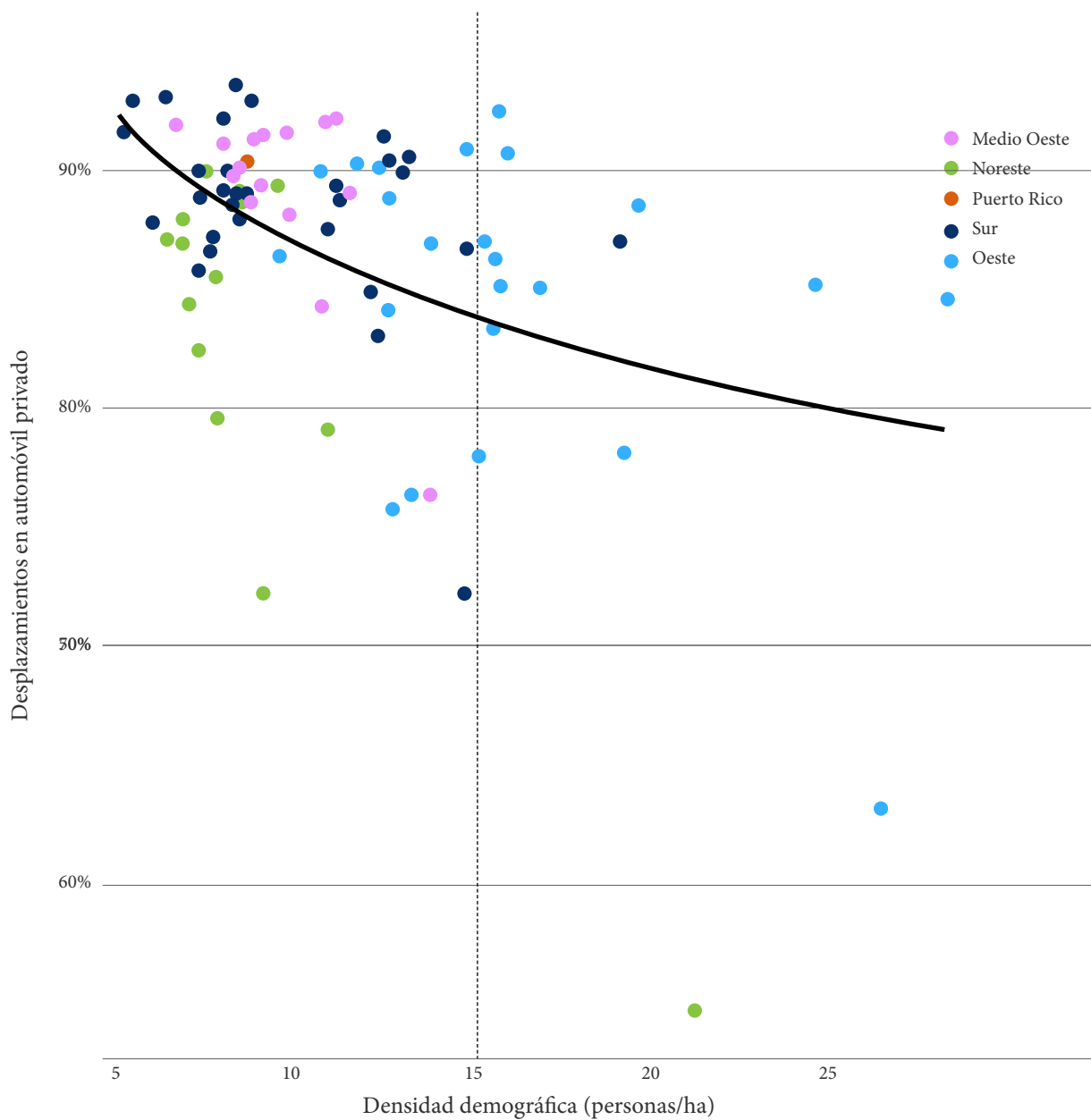


Figura 17. Densidad demográfica y porcentaje de desplazamientos en automóvil privado, ciudades de EE. UU.

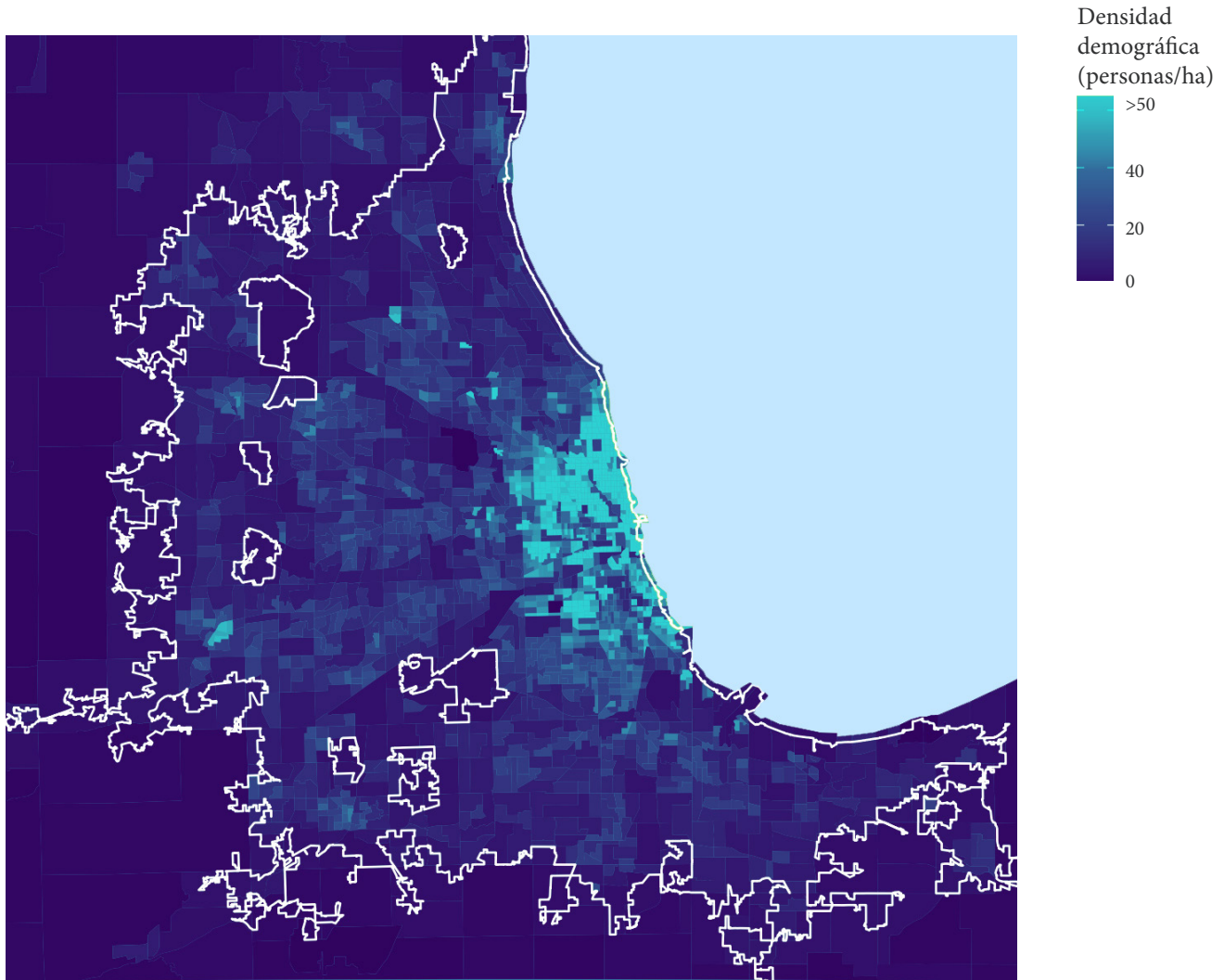


Figura 18. Densidad demográfica del área urbanizada de Chicago

Tanto las áreas urbanizadas de Nueva York-Newark como las de Chicago tienen grandes zonas centrales con una densidad muy superior a nuestro umbral más elevado de 15 personas/ha. Sin embargo, el conjunto de las zonas urbanizadas de ambas ciudades incluye una expansión suburbana de baja densidad, así como infraestructuras automovilísticas espacialmente extensas tales como autopistas y aparcamientos. Estos factores hacen que cada zona urbanizada en su conjunto tenga una densidad muy inferior a la del centro de la ciudad o incluso a la de sus suburbios más densos. Las densidades globales de población de ambas zonas son de unas 22 personas/ha en Nueva York y de 13 personas/ha en Chicago. Por último, el tamaño y la baja densidad de gran parte de Long Island contribuyen a que la zona de Nueva York-Newark tenga una densidad demográfica inferior a la de Los Ángeles, a pesar de la consabida expansión de esta última.

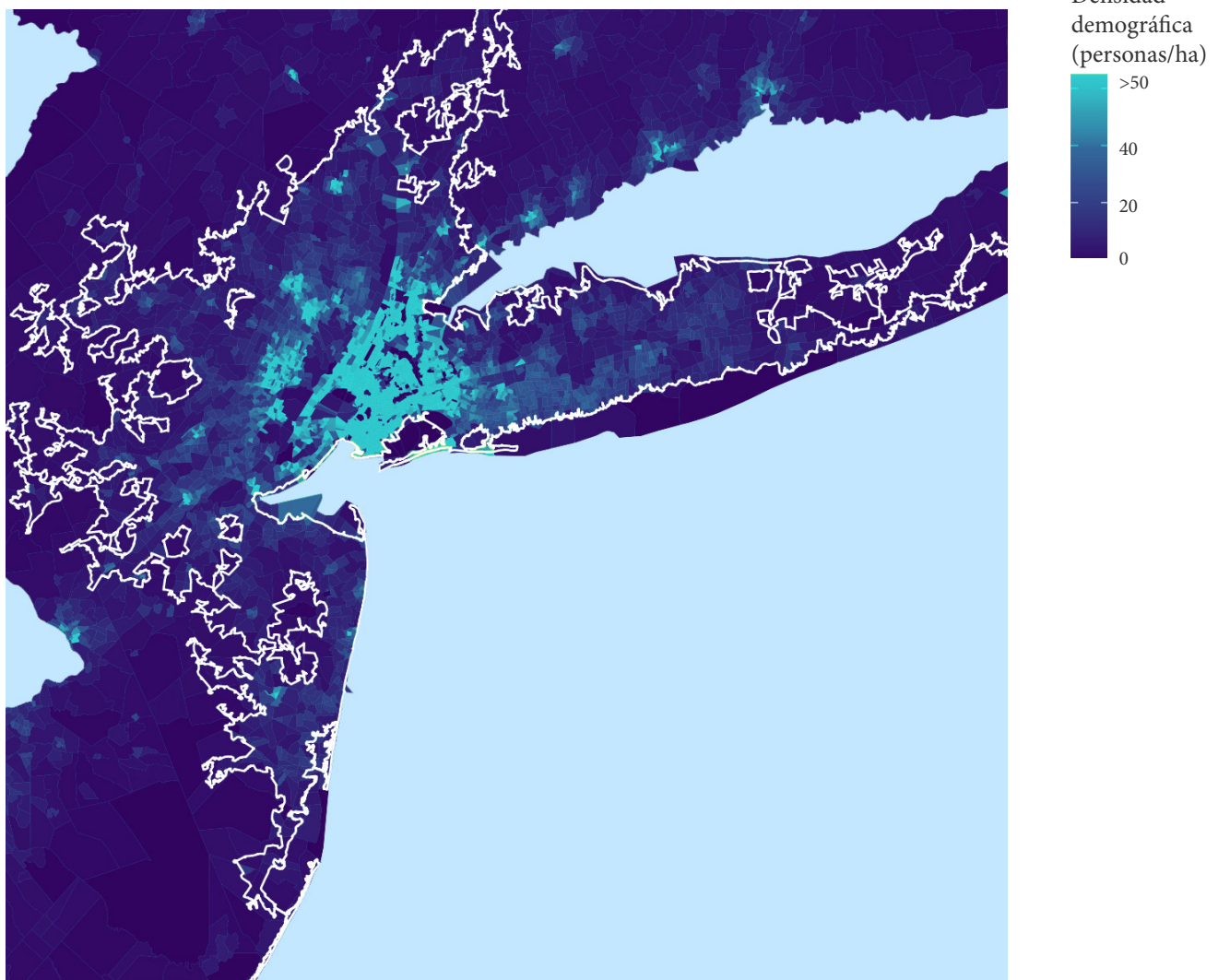


Figura 19. Densidad demográfica del área urbanizada de Nueva York

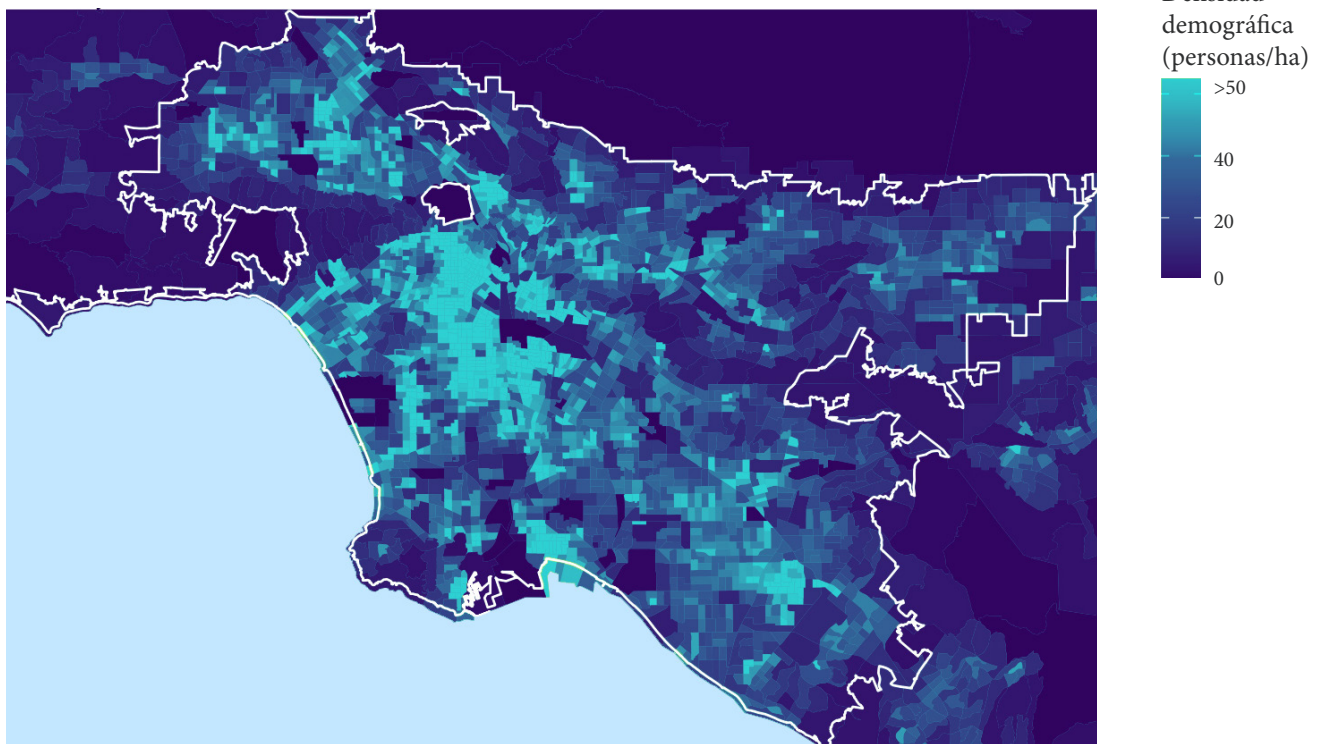


Figura 20. Densidad demográfica del área urbanizada de Los Ángeles

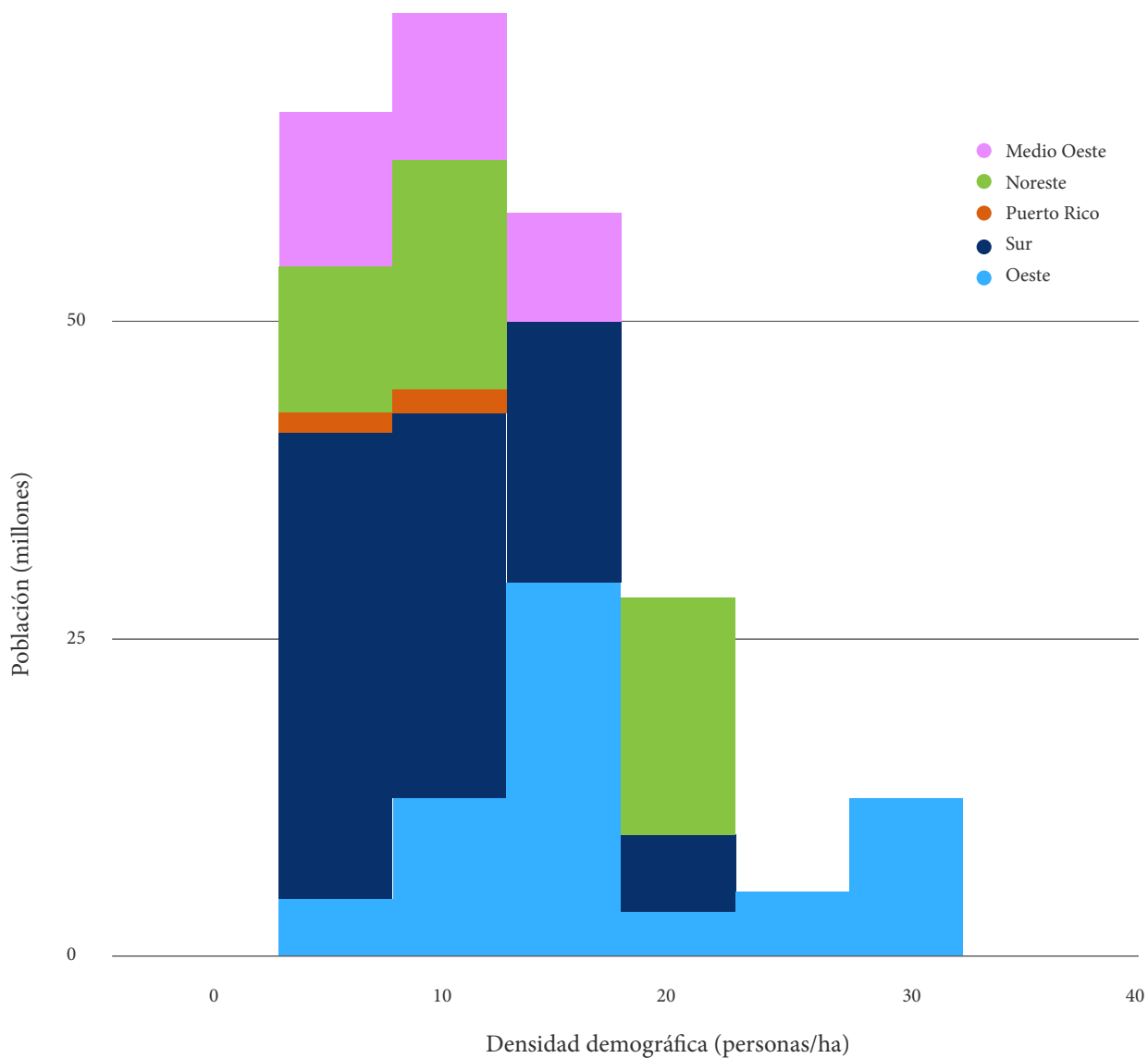


Figura 21. Población urbanizada de EE. UU. según densidad demográfica y región

La figura 24 muestra la distribución de la población urbanizada en EE. UU. según su densidad demográfica. La mayor parte de la población urbanizada vive en áreas urbanizadas con entre 5 y 15 personas/ha. Según las proyecciones de población de 2019, el 19 % de la población de EE. UU. (unos 330 millones) vive en zonas rurales. El 81 % restante se incluye en este histograma. Este gráfico brinda un contexto más detallado sobre las densidades demográficas existentes en las zonas urbanizadas de EE. UU.

## Parámetros de las clases de densidad

El organigrama que daba comienzo a este apéndice reflejaba que los escenarios de movilidad partían de la clasificación de la población en tres clases de densidad: rural, urbana de densidad baja y de densidad media. El

análisis anterior argumenta la definición de estas categorías y explica por qué la distribución de la población en función de la densidad repercute en la proporción de modos de transporte y, por ende, en la necesidad de vehículos y de litio por parte de un sistema de transporte descarbonizado.

La distribución de la población en función de las clases de densidad para los cuatro escenarios se muestra en la tabla general «Cantidades necesarias y parámetros de los vehículos en los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada» con la que inicia este apéndice. Estos parámetros de clases de densidad también se indican de forma gráfica a continuación:

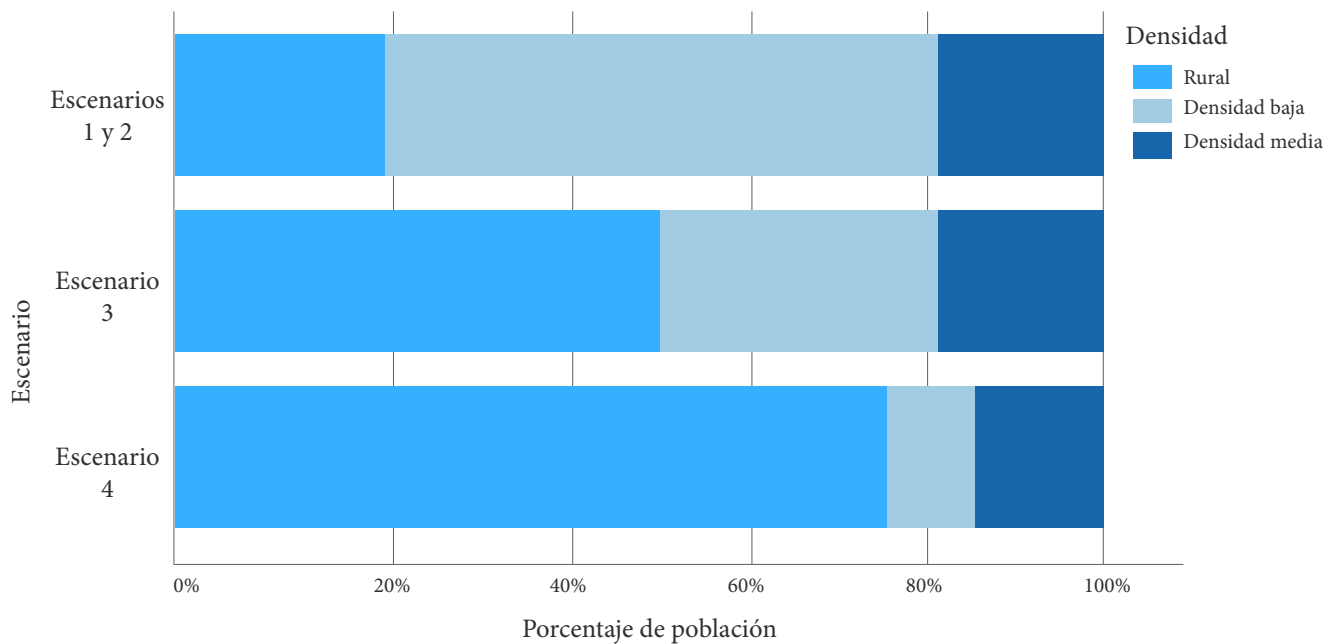


Figura 22. Escenarios de densificación

## Reparto modal a nivel global

Los conjuntos de datos internacionales nos permiten trasladar las clases de densidad al reparto modal para facilitar los parámetros de los porcentajes de los modos de transporte de nuestro modelo. Las figuras 23 y 24 van más allá de la relación entre densidad y porcentaje de vehículos y muestran el desglose de los modos de desplazamiento entre automóviles privados, transporte público y transporte activo (a pie y en bicicleta).

La figura 23 agrupa las ciudades de la UITP por continentes para reflejar el porcentaje medio de modos de transporte por «clase de densidad» en Asia, Australia, Europa y América del Norte, los continentes de los que la UITP dispone de más datos. El diagrama muestra que el transporte público y activo aumenta con la densidad, pero los modos mixtos también son factibles con densidades relativamente bajas. Las ciudades de Europa y Asia tienen un porcentaje mucho menor de desplazamientos en coche privado, incluso con densidades de población similares. La figura 23 también revela que no hay zonas urbanas con más de 50 personas/ha en Norteamérica o Australia en el conjunto de datos de la UITP.

La figura 24 presenta el mismo desglose del reparto modal por ciudad según los datos de Deloitte. El porcentaje de coches se reduce en función de la densidad de forma más evidente. Los porcentajes de transporte público y activo eclipsan a los porcentajes de automóviles en muchas ciudades del mundo.

La figura 25 a continuación ofrece la misma información sobre todas las zonas urbanas de EE. UU. con más de un millón de habitantes.

El gráfico anterior utiliza datos de la ACS para presentar los porcentajes de desplazamientos de todas las zonas urbanizadas de EE. UU. con más de 1 millón de habitantes. A diferencia de las cifras anteriores, que ofrecían una imagen global, la mayoría de los desplazamientos en todas las zonas de Estados Unidos se realizan en coche. La relación entre el desglose por modos de transporte y la densidad también es mucho menos evidente, lo que demuestra que hay otras políticas que también determinan el modo de desplazamiento y que todas las zonas urbanizadas de EE. UU. incluyen una gran extensión urbana de densidad muy baja.

## Parámetros para reparto modal

Hemos trasladado el modelo de la cantidad necesaria de vehículos de la población por clase de densidad al reparto modal por clase de densidad. La reflexión anterior permite comprender mejor los porcentajes razonables de modos de transporte para los diferentes escenarios de movilidad descarbonizada y nos enseña la situación actual en ciudades de todo el mundo. Igual que en el caso de los parámetros por clase de densidad, los parámetros de porcentaje por modo de transporte para los cuatro escenarios figuran en la tabla «Cantidad necesaria de vehículos y parámetros



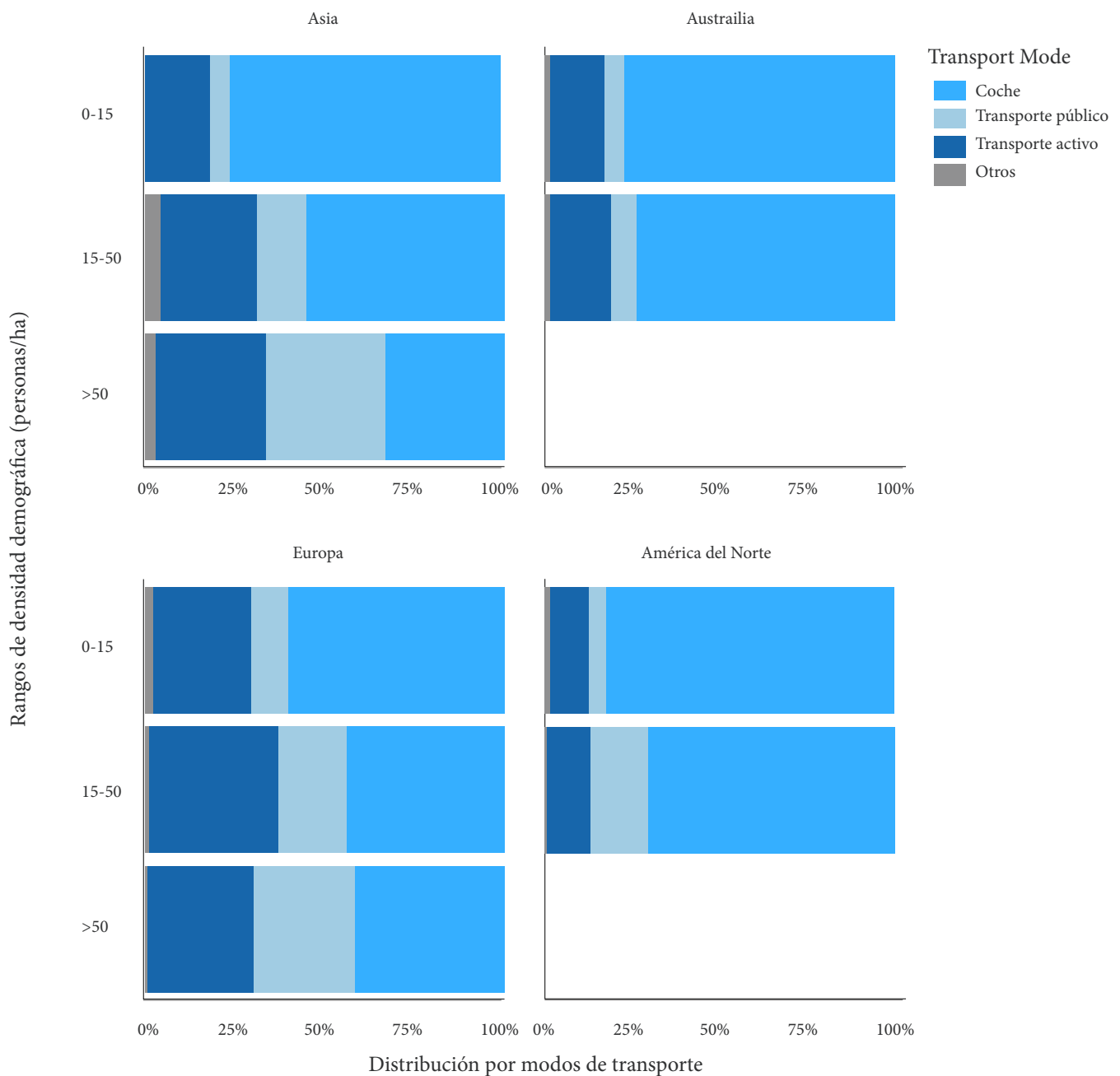


Figura 23. Reparto modal por densidad y continente, MCD de la UITP [Reparto modal por densidad y continente, MCD de la UITP]

en los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada» con la que se daba comienzo a este apéndice. Los parámetros de la distribución por modos de transporte también se muestran de forma gráfica a continuación: Los parámetros de los repartos modales empleados en el Escenario 1 mantienen el patrón actual de desplazamientos por densidad en Estados Unidos, mientras que los parámetros utilizados en los Escenarios 2 y 3 reflejan la distribución media de los modos de transporte por densidad en las zonas urbanas europeas recogidas en el conjunto de datos de la MCD de la UITP. Se seleccionaron zonas europeas debido a su representación relativamente

detallada en los datos de la UITP, así como a su cierta similitud con muchas ciudades estadounidenses en términos de ingresos y densidad existente. Los parámetros de distribución modal del Escenario 4 reflejan los objetivos fijados por ciudades como Viena, que pretenden limitar el uso del automóvil en beneficio de modos de transporte más sostenibles y eficientes. La figura 25 siguiente ilustra los parámetros de distribución modal de los distintos escenarios y solo incluye los porcentajes superiores al 5 %.

Zonas ordenadas por densidad creciente

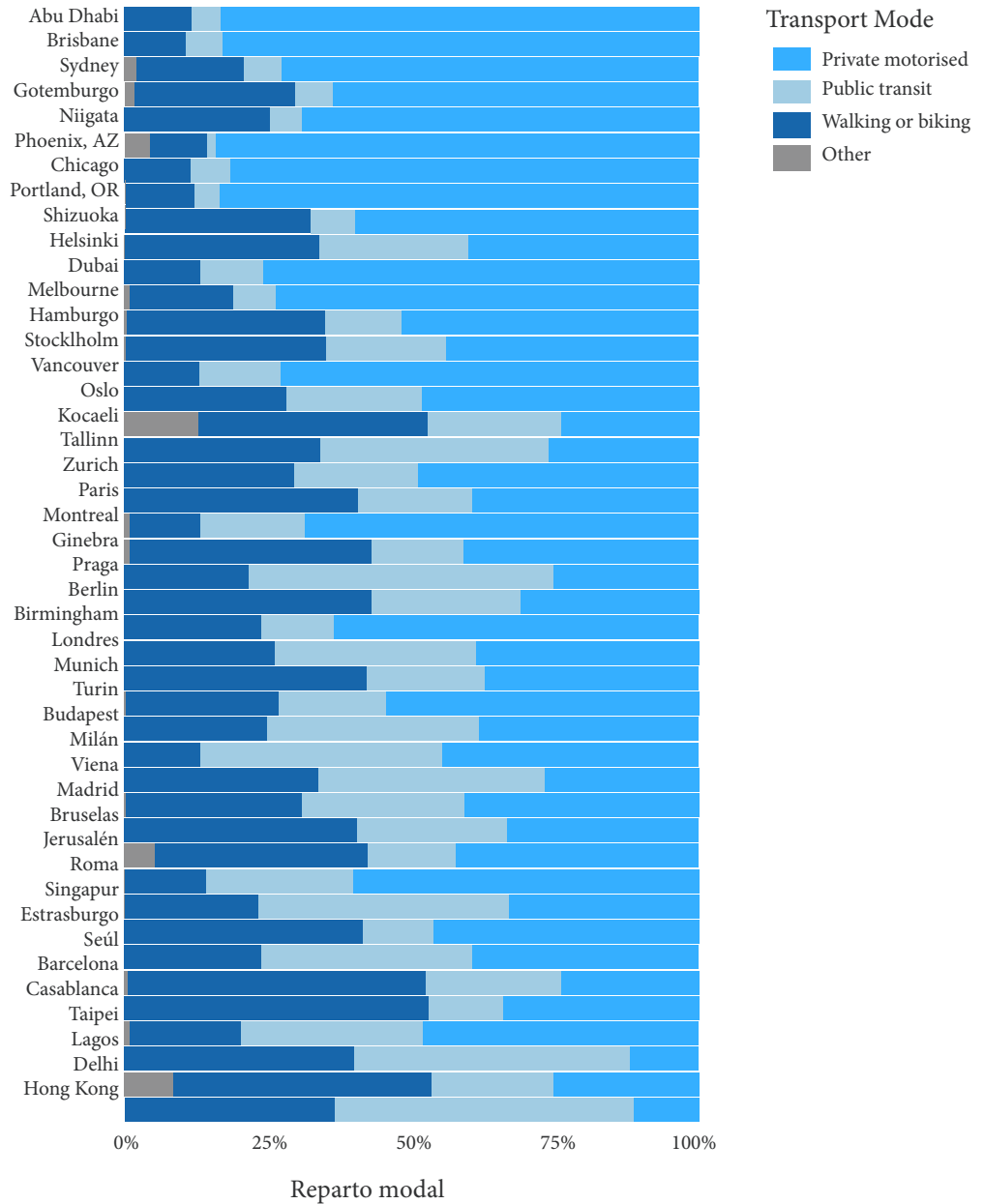


Figura 24: Reparto modal en zonas urbanas seleccionadas, datos del DCMI.

en los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada» con la que se daba comienzo a este apéndice. Los parámetros de la distribución por modos de transporte también se muestran de forma gráfica a continuación: Los parámetros de los repartos modales empleados en el Escenario 1 mantienen el patrón actual de desplazamientos por densidad en Estados Unidos, mientras que los parámetros utilizados en los Escenarios 2 y 3 reflejan la distribución media de los modos de transporte por densidad en las zonas urbanas europeas recogidas en el conjunto de datos de la MCD de la UITP. Se seleccionaron zonas europeas debido a su representación relativamente

detallada en los datos de la UITP, así como a su cierta similitud con muchas ciudades estadounidenses en términos de ingresos y densidad existente. Los parámetros de distribución modal del Escenario 4 reflejan los objetivos fijados por ciudades como Viena, que pretenden limitar el uso del automóvil en beneficio de modos de transporte más sostenibles y eficientes. La figura 26 siguiente ilustra los parámetros de distribución modal de los distintos escenarios y solo incluye los porcentajes superiores al 5 %.

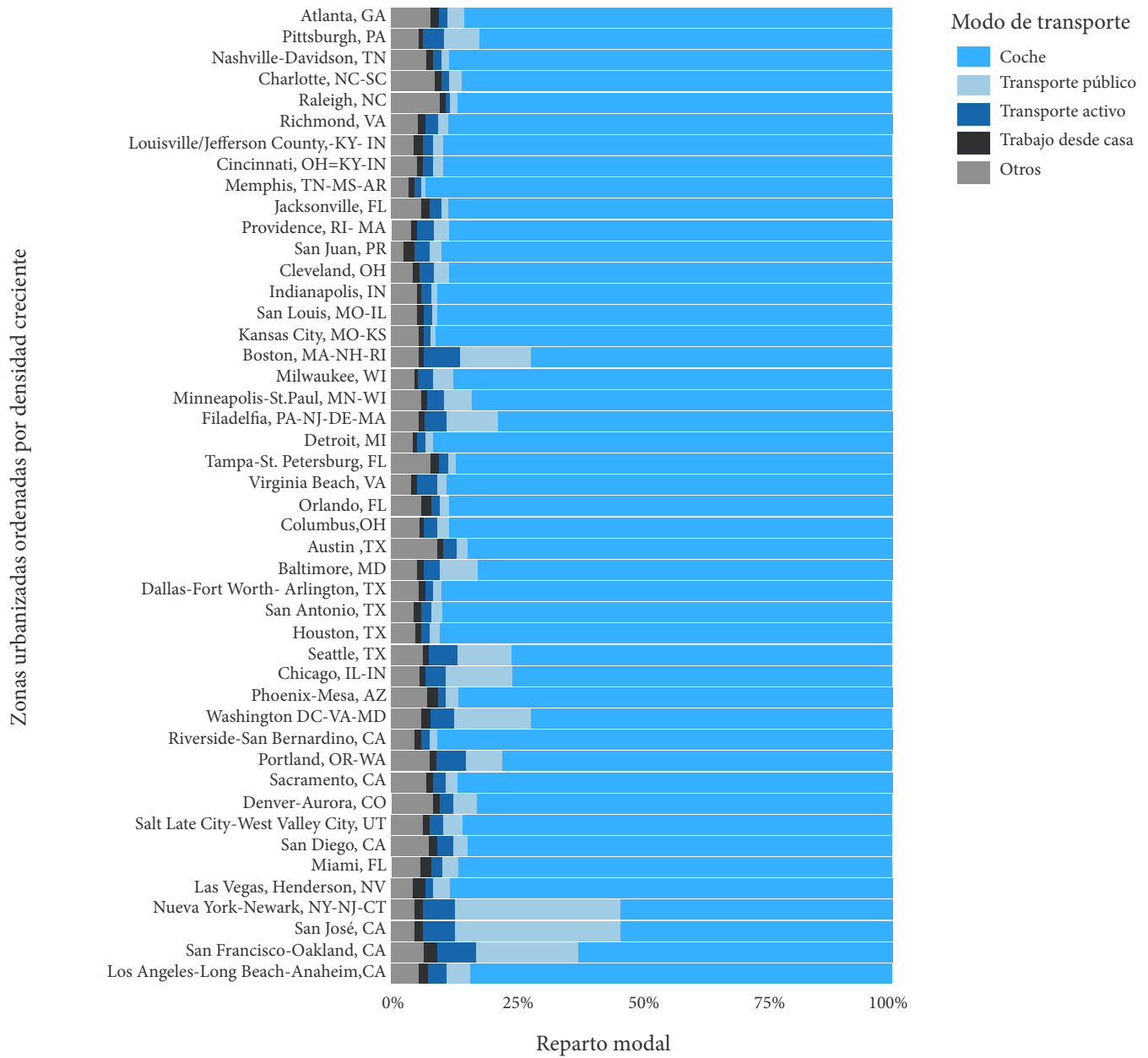


Figura 25. Porcentaje de desplazamientos en las zonas urbanas de EE. UU. con más de un millón de habitantes

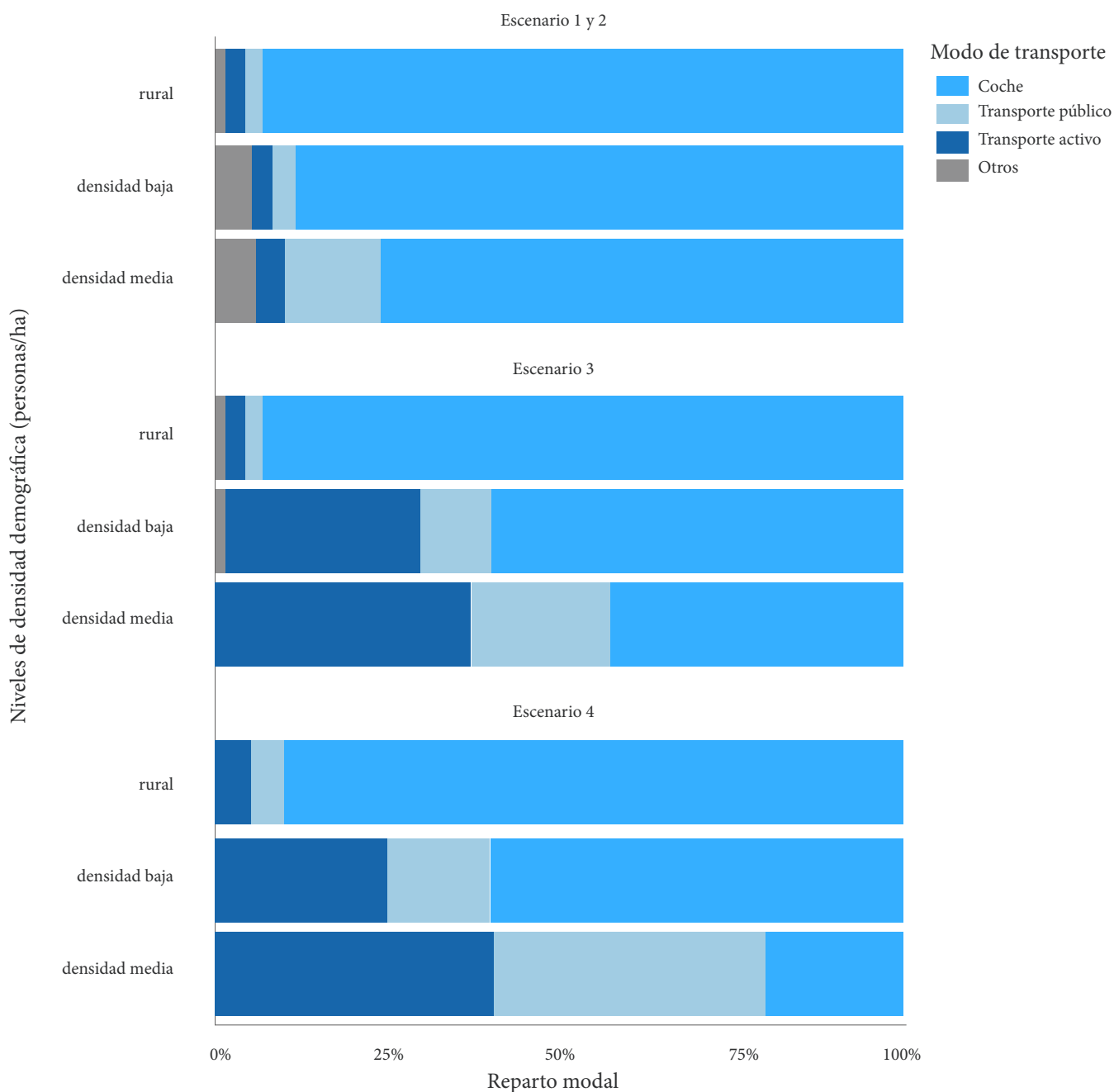


Figura 26. Escenarios de reparto modal

## Índices de volumen de vehículos necesarios

El último componente empleado para definir los escenarios de movilidad es el índice de volumen de vehículos al que se traducen los desplazamientos según cada modo de transporte. Este índice es necesario para poder pasar de la población estimada que se desplaza en los distintos modos de transporte a la estimación de la necesidad de vehículos, que puede servir para calcular la necesidad de litio para las vías de descarbonización de la movilidad.

Los datos de la UITP son los únicos que permiten saber cómo se relacionan la cantidad de vehículos necesaria con el reparto modal y la población. Sin embargo, el Departamento de Energía (DOE) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) han facilitado el número actual de coches, autobuses de transporte público y autobuses escolares que existen en Estados Unidos. Hemos utilizado el cómputo de vehículos actual por modo de transporte para establecer los distintos índices de volumen vehículos de nuestro escenario base. En los escenarios 3 y 4 se ha utilizado la gran divergencia en los índices de volumen de vehículos por modo de transporte de los datos de la UITP para

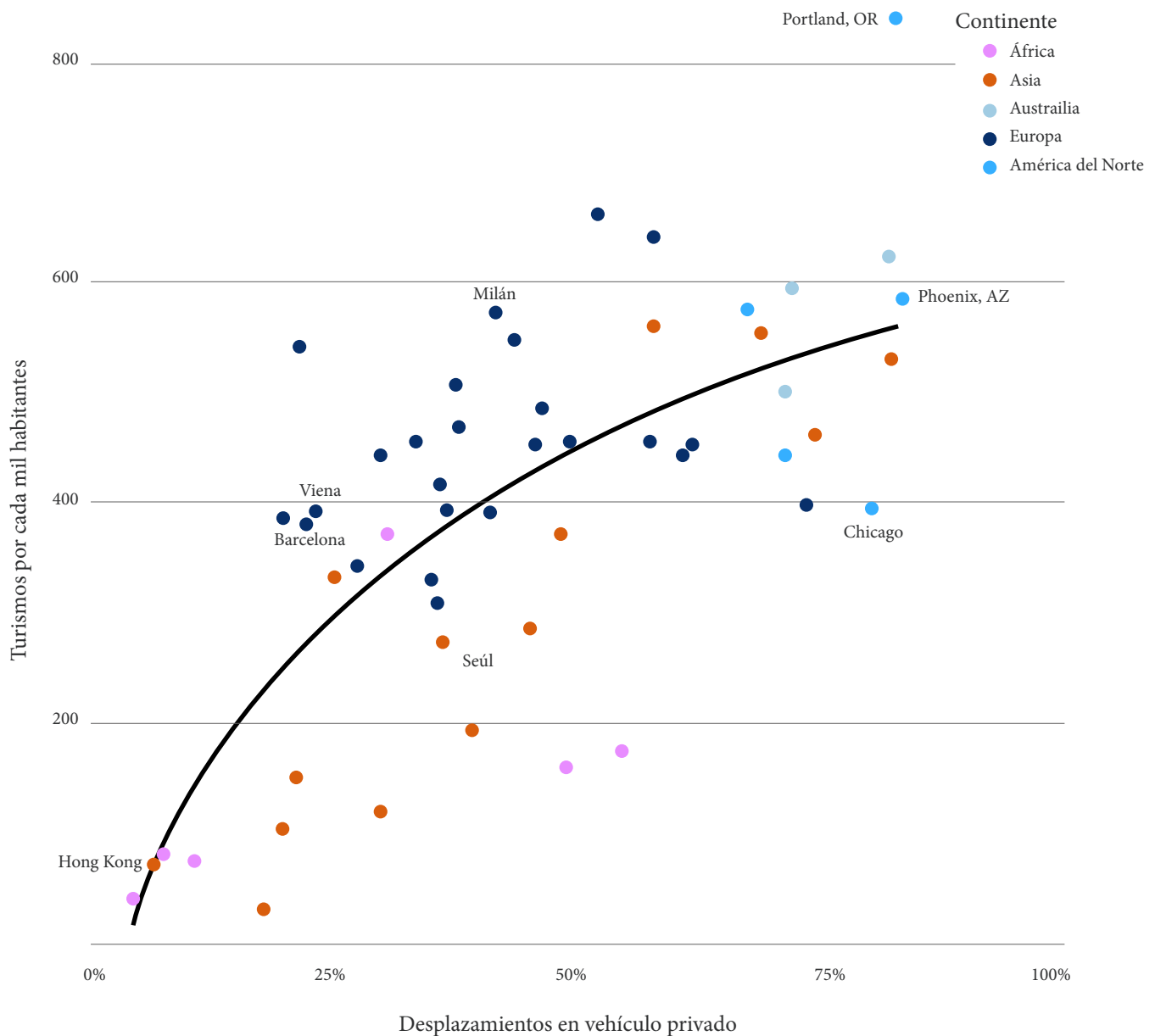


Figura 27. Propiedad de automóviles en función del reparto modal

calcular unos índices razonables, pero más ambiciosos. Los gráficos 26 y 27 a continuación representan la relación entre el número de vehículos en propiedad y el número de autobuses de tránsito per cápita con la proporción de desplazamientos que se realizan en coche privado o en transporte público, respectivamente.

Tal y como ocurre en el resto de correspondencias, existe un gran margen de variación a pesar de la correlación subyacente entre el porcentaje de desplazamientos en coche y el número de coches por cada mil habitantes. Portland (Oregón), registra unos niveles de propiedad de automóviles extraordinariamente elevados –incluso superiores a los de Phoenix, Arizona– a pesar de tener un porcentaje ligeramente inferior de desplazamientos en

coche. Los diferentes parámetros de volumen de vehículos reflejan cómo los niveles de uso del automóvil se pueden plasmar de forma diferente en el número total de coches.

La relación entre la necesidad de autobuses y el porcentaje del modo de transporte público muestra una variación aún mayor, aunque mantiene una correlación positiva aproximada. Si la necesidad de autobuses per cápita es menor con una proporción similar de desplazamientos en transporte público, el sistema de transporte público se apoyará más en los tranvías, los ferrocarriles ligeros y pesados y otros vehículos de transporte público. Esto será relevante para nuestro análisis de intensidad de recursos porque estos vehículos suelen requerir menores cantidades de litio que los autobuses eléctricos.

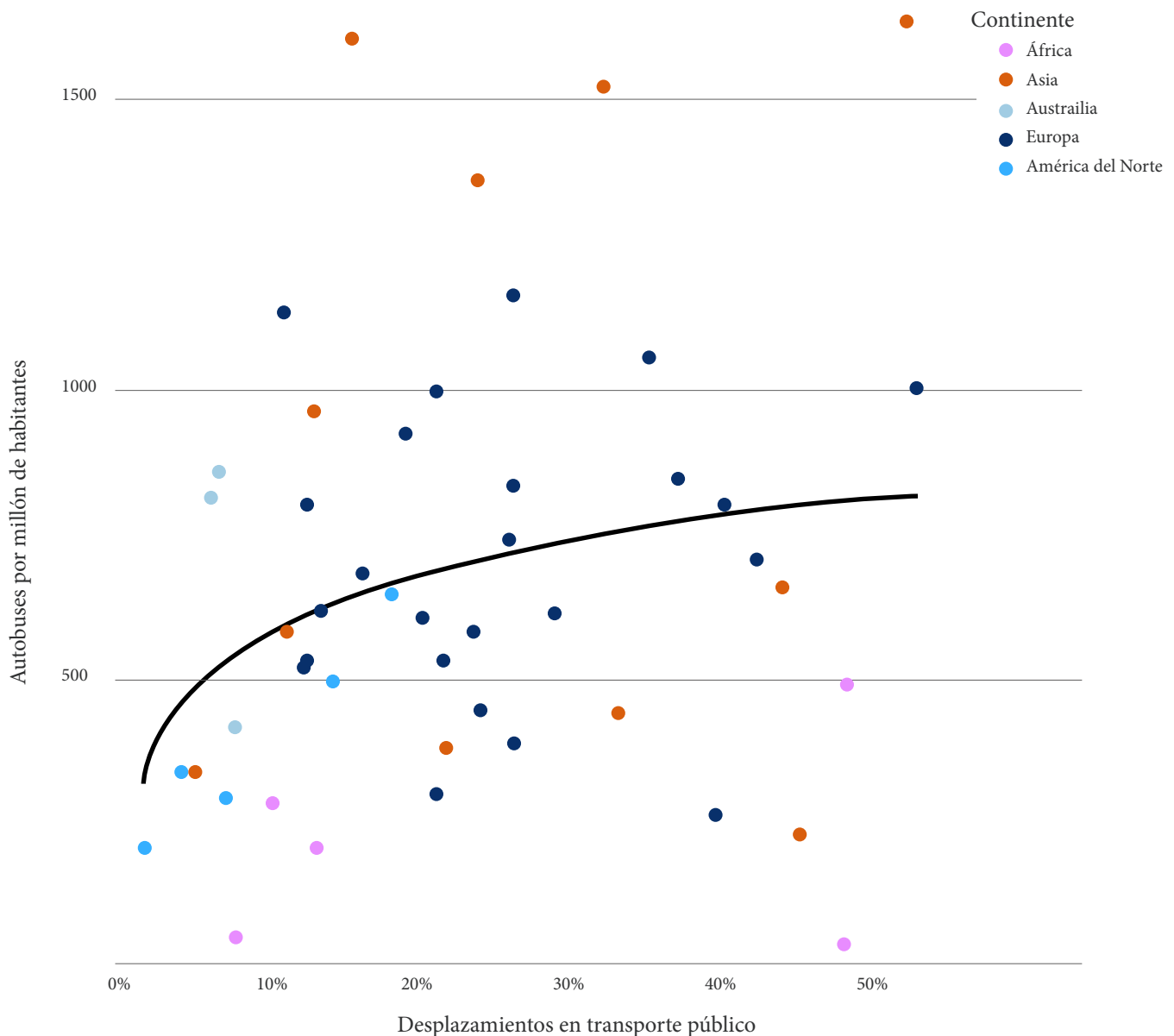
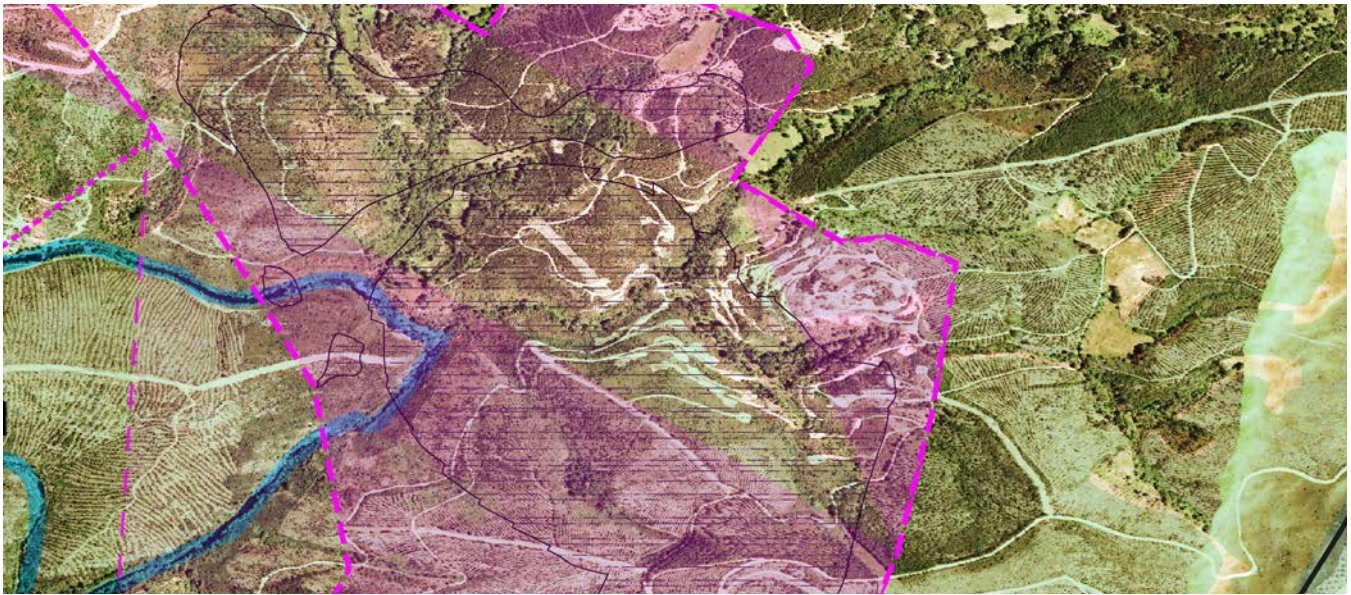


Figura 28. Tamaño de la flota de autobuses per cápita en función del porcentaje del modo de transporte

## Parámetros para determinar el volumen de vehículos necesarios

En el organigrama del modelo con el que comenzaba esta sección, los índices del volumen de vehículos necesarios constituían el último conjunto de parámetros necesarios para estimar la necesidad de los vehículos. Estos índices nos permiten pasar del número de personas que se desplazan principalmente en un modo concreto a la necesidad de vehículos en forma de coches y autobuses. El índice de necesidad de vehículos en las zonas rurales no cambia en ningún escenario o conjunto de parámetros. El índice de necesidad de vehículos del caso base se utiliza para los coches en las zonas rurales en todos los escenarios (Tabla 5).

Los índices de necesidad de vehículos aluden al número de coches o autobuses necesarios para transportar a una población determinada que se desplaza principalmente en dichos modos de transporte. Es posible considerar estos índices como la relación entre la propiedad de un coche y los desplazamientos en coche (o la relación entre los autobuses en funcionamiento y los desplazamientos en transporte público). Los escenarios con índices de necesidad de vehículos más bajos tendrán más sistemas de coche compartido, vehículos compartidos, normas variables relativas a la propiedad de coches privados y menos hogares con varios coches. Los índices más bajos de necesidad de autobuses reflejan un mayor número de tranvías, trenes ligeros y otros vehículos de transporte público que requieren menores cantidades de litio en comparación con



los autobuses eléctricos. En el escenario 4, los requisitos para los autobuses escolares se redujeron un poco para reflejar la probabilidad de que una mayor densidad demográfica y un menor tráfico de coches permitirían a los autobuses amarillos funcionar de forma más eficiente.

Los índices de necesidad de vehículos, en especial para el escenario 1, se compararon con los niveles actuales en EE. UU., obtenidos a partir de los datos del WRI y del DOE y de los datos existentes sobre población y modos de transporte en EE. UU. Los índices de necesidad de vehículos para otros escenarios se calcularon mediante un análisis visual y estadístico de los datos de la MCD de la UITP.

## Resultados de un transporte descarbonizado: necesidades de vehículos en los cuatro escenarios

Una vez definidos nuestros escenarios, podemos estimar la necesidad total de vehículos para los distintos escenarios de movilidad descarbonizada. Estos resultados del modelo ya se presentaron en la tabla general "Necesidad de vehículos y parámetros en los cuatro escenarios de movilidad descarbonizada" con la que comenzaba este apéndice, pero se muestran de nuevo de forma gráfica en las figuras 29 y 30 a continuación.

169. Clayton Nall, *The Road to Inequality: How the Federal Highway Program Polarized America and Undermined Cities* (Cambridge, Reino Unido; Nueva York, NY: Cambridge University Press, 2018).

## ¿Qué es la dependencia del automóvil?

Definimos la dependencia del automóvil como el conjunto de políticas que imponen la propiedad masiva de vehículos privados haciendo que llegar a muchos destinos necesarios sea una tarea difícil, lenta, insegura, poco saludable y/o ilegal si no se posee un coche. Estas políticas pueden incluir:

- **La inversión en infraestructuras automovilísticas en detrimento de las infraestructuras de transporte público.** La construcción del sistema de autopistas interestatales de Estados Unidos supuso la mayor inversión en infraestructuras públicas de la historia en su momento.<sup>169</sup> Las autopistas aún siguen recibiendo cuatro veces más financiación federal que el transporte público.<sup>170</sup> La dependencia del automóvil es algo adquirido y la infraestructura física de la dependencia del automóvil conlleva muchas de las inversiones públicas más grandes y continuadas de la historia de Estados Unidos.
- **Leyes de desarrollo orientadas al automóvil.** Entre estas leyes se incluyen los mínimos de aparcamientos o tamaño mínimo de las parcelas de aparcamiento exigidos por ley, el aparcamiento gratuito o barato en la calle, los análisis obligatorios del impacto del tráfico en la construcción de nuevas viviendas y otras leyes que obligan a un desarrollo orientado al automóvil que hace que otros modos de transporte

170. Davis, Jeff. «Explainer: What the '80-20 Highway-Transit Split' Really Is, and What It Isn't» Eno Center for Transportation, Julio 26, 2021, <https://www.enotrans.org/article/explainer-what-the-80-20-highway-transit-split-really-is-and-what-it-isnt/>.

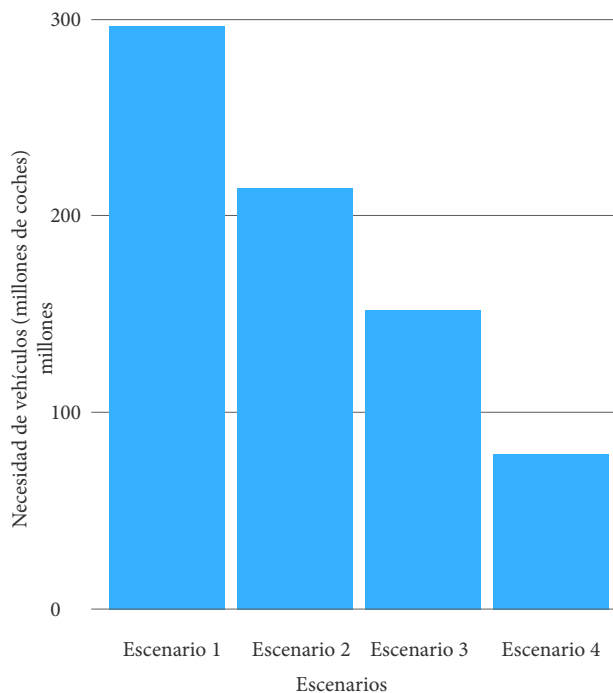


Figura 29. Necesidad estimada de vehículos por escenario de transporte descarbonizado

sean menos seguros, prácticos y agradables. Los números mínimos de aparcamientos establecidos por ley encarecen la vivienda y otras formas de desarrollo, lo que supone unos enormes subsidios financieros y espaciales para la propiedad privada de automóviles. La zonificación y las ordenanzas de edificación establecen un desarrollo de menor densidad que puede fomentar el uso del coche y obstaculizar la mayoría de las formas de transporte público en casi todos los Estados Unidos, incluidas las grandes ciudades.<sup>171</sup>

- **La asignación de superficie y espacio público a los automóviles.** La mayor parte del espacio público de las ciudades estadounidenses está destinado exclusiva o prácticamente a los coches. Las calles constituyen el 80 % de todo el espacio público de las ciudades estadounidenses<sup>172</sup> y la mayor parte del espacio de las calles se destina a los coches en forma de carriles de circulación o aparcamiento. Según el ingeniero civil Samuel Schwartz, los coches ocupan entre el 30 % y el 40 % del espacio total

171. Badger, Emily and Bui, Quoc Trung. «Cities Start to Question an American Ideal: A House With a Yard on Every Lot» *The New York Times*, Junio 18, 2019, sec. The Upshot, <https://www.nytimes.com/interactive/2019/06/18/upshot/cities-across-america-question-single-family-zoning.html>.

172. NACTO, «Streets» Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte de la Ciudad, NACTO. Julio 11, 2013, <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/streets/>.

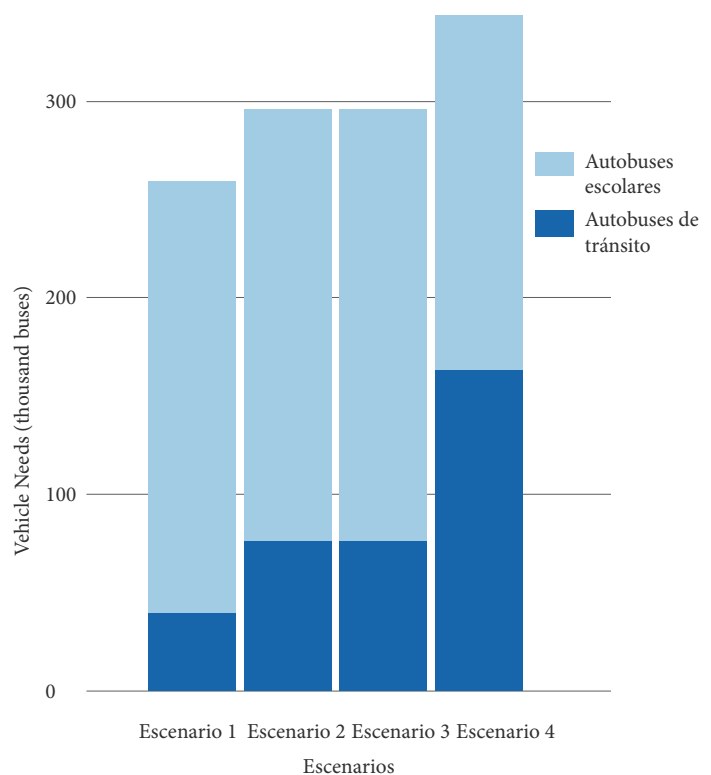


Figura 30. Necesidad estimada de autobuses por escenario de transporte descarbonizado

de las ciudades estadounidenses.<sup>173</sup> La gigantesca concesión de espacio público a los coches es una característica esencial de la dependencia del automóvil.

- **Una regulación insuficiente de la contaminación atmosférica, acústica y de gases de efecto invernadero y de la seguridad de los vehículos.** El uso del automóvil plantea externalidades económicas descomunales. La siniestralidad vial es una de las principales causas de muerte de los estadounidenses hasta los 45 años y es la primera causa en pérdida potencial de años de vida. La contaminación acústica acarrea una sorprendente cantidad de repercusiones sociales negativas, ya que provoca un aumento de la delincuencia violenta y una proporción alarmantemente alta de enfermedades neurodegenerativas.<sup>174</sup> La seguridad de los automóviles en Estados Unidos no está regulada desde el punto de vista de las personas ajenas al vehículo, lo que permite que los fabricantes de automóviles sigan contribuyendo al número elevado y en aumento de muertes por accidentes de tráfico en Estados Unidos

173. Diaz, Johnny «Cities Close Streets to Cars, Opening Space for Social Distancing» *The New York Times*, Abril 11, 2020, sec. U.S., <https://www.nytimes.com/2020/04/11/us/coronavirus-street-closures.html>.

174. Hener, Timo. «Noise Pollution and Violent Crime» *Journal of Public Economics* 215 (Noviembre1, 2022): 104748, <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2022.104748>; Medical News Today, «Traffic Noise May Raise Risk of Alzheimer's, Other Dementias» Septiembre 13, 2021, <https://www.medicalnewstoday.com/articles/dementia-traffic-noise-may-raise-risk>.



sin consecuencias para ellos mismos.<sup>175</sup> Estos factores, sumados a la inmensa proporción de superficie dedicada a los automóviles, hacen que grandes extensiones de Estados Unidos sean peligrosas y perjudiciales para la salud de las personas ajenas a ellas.

- **Subvenciones económicas para los coches y el petróleo.** Los coches gozan de unas subvenciones cuantiosas en EE. UU. El impuesto sobre la gasolina dista mucho de cubrir los costes de las carreteras en todos los estados de EE. UU.<sup>176</sup> Los fabricantes de automóviles se han beneficiado de grandes rescates públicos, como ocurrió durante la crisis financiera de 2008.<sup>177</sup> Los coches eléctricos cuentan con subvenciones muy elevadas, mientras que muchos otros modos de transporte más sostenibles, como las bicicletas y las bicicletas eléctricas, no suelen recibirlas por lo general.
- **Política exterior dirigida a garantizar un precio bajo y estable de la gasolina.** La política exterior de EE. UU. se ha desarrollado a menudo de manera que protegiera el suministro de petróleo y unos precios relativamente estables.<sup>178</sup>

El resultado de estas políticas y otras similares es un entorno construido en casi toda la superficie desarrollada de EE. UU. que es hostil, peligroso y/o poco práctico para circular sin un coche. Nos hemos aferrado a la dependencia del automóvil y el ingente gasto público a todos los niveles que ha contribuido a crearla. Muchas instituciones y aspectos de nuestra cultura o rutinas diarias se han desarrollado en torno a él. Sin embargo, podemos salir enormemente beneficiados si cambiamos de rumbo. Hay países y ciudades de todo el mundo que han demostrado lo rápido que puede hacerse y lo popular que puede resultar.<sup>179</sup>

---

175. Wilson, «*Vehicle Safety Assessments Don't Protect Pedestrians*» Streetsblog USA, Abril 29, 2020, <https://usa.streetsblog.org/2020/04/28/vehicle-safety-standards-dont-protect-pedestrians/>.

176. Fritts, Janelle: «How Are Your State's Roads Funded?» *Tax Foundation* (blog), Septiembre 11, 2019, <https://taxfoundation.org/states-road-funding-2019/>.

177. «What Did America Buy with the Auto Bailout, and Was It Worth It?» Marketplace (blog), Noviembre 14, 2018, <https://www.marketplace.org/2018/11/13/what-did-america-buy-auto-bailout-and-was-it-worth-it/>.

178. Brew, Grefory: «How Private Oil Companies Took Over U.S. Energy Security» Mayo 2022, <https://foreignpolicy.com/2022/05/16/us-oil-companies-history-energy-security-gas-fossil-fuels-war-climate-europe/>.

## Tecnología de las baterías de iones de litio

### ¿Cómo se degradan y se agotan las baterías?

El estado de salud o SOH de las baterías de iones de litio (Li-ion) es difícil de predecir porque depende de otros parámetros y no puede medirse directamente. Estos factores dependen del usuario (como los hábitos de carga y descarga), del entorno (como la temperatura) o de la batería (como la capacidad).<sup>180</sup> Una menor intensidad de descarga prolonga la vida útil de las baterías. Mantener un estado de carga o SOC alto (es decir, la cantidad de energía disponible en la batería) pero sin alcanzar la capacidad máxima de la misma también permite que la batería dure más. Esto indica que un entorno en el que las distancias de conducción sean cortas y la infraestructura de carga sea amplia es ideal para el SOH de la batería. Dado que la intensidad de descarga es una función de la capacidad, esta también influye en el SOH. En teoría, las baterías más grandes tendrán una vida útil más larga si se someten a los mismos ciclos de carga y descarga que una batería más pequeña. La temperatura influye en el rendimiento de una batería Li-ion. El rango de temperatura óptimo para una batería Li-ion es de 15-35 °C.<sup>181</sup> El rendimiento disminuye a temperaturas inferiores a este rango al producirse una pérdida de conductividad y un aumento de la resistencia interna. Cuanto más altas sean las temperaturas, más rápido es el deterioro y mayor es el riesgo de fuga térmica.

Es fundamental determinar el SOH de manera precisa para gestionar la seguridad de las baterías. Los métodos de medición directa son precisos pero difíciles de aplicar dado que se requieren equipos y condiciones experimentales especiales para ello. Por lo tanto, la mayoría

---

179. Kersley, Andrew: «People Hate the Idea of Car-Free Cities—Until They Live in One» *Wired UK*, Junio 2022, <https://www.wired.co.uk/article/car-free-cities-opposition>; Vock, Ido: «How Anne Hidalgo's Anti-Car Policies Won Her Re-Election in Paris» *New Statesman* (blog), Junio 29, 2020, <https://www.newstatesman.com/world/2020/06/how-anne-hidalgo-anti-car-policies-won-her-re-election-paris>; Romeo, Nick «How Oslo Learned to Fight Climate Change» *The New Yorker*, Mayo 4, 2022, <https://www.newyorker.com/news/annals-of-a-warming-planet/how-oslo-learned-to-fight-climate-change>.

180. Ning He, Cheng Qian, Chao Shen, and Yigeng Huangfu. "A Fusion Framework for Lithium-Ion Batteries State of Health Estimation Using Compressed Sensing and Entropy Weight Method," *ISA Transactions*, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2022.10.003>.

181. S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, W. Shang, "Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A Review," *Progress in Natural Science: Materials International* 28(6), 653–666, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2018.11.002>.

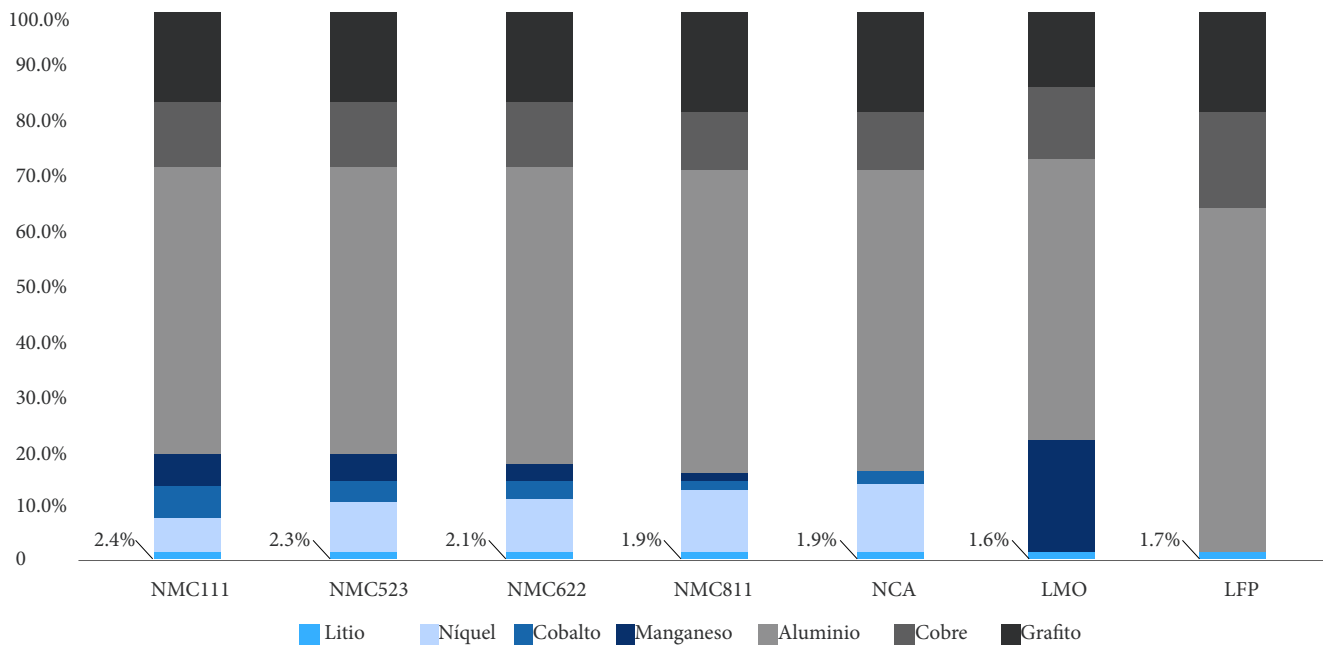


Figura 31. Contenido mineral relativo en varias composiciones químicas de baterías de iones de litio

de los métodos para determinar el SOH se basan en mediciones indirectas denominadas indicadores de salud o IS. Los IS son datos históricos de carga que se manipulan matemáticamente para reflejar la reacción electroquímica interna que indica el nivel de deterioro de la batería.<sup>182</sup> Los IS utilizados habitualmente para determinar el SOH son la resistencia interna (RI), la temperatura, la caída de tensión y el tiempo de carga a corriente constante (CC). El uso de la RI como factor de salud para determinar el SOH proporciona predicciones precisas en las primeras etapas.<sup>183</sup> Según Xufan et. al. (2022), existe una estrecha relación lineal entre el tiempo de carga de CC y el SOH, y según Gong et. al. (2022), el tiempo de carga de CC se utiliza como factor de salud para determinar el SOH.<sup>184</sup> La caída de tensión también se utiliza como factor de salud en las estimaciones de SOH basadas en modelos.<sup>185</sup> El análisis

182. Y. Guo, K. Huang, X. Yu, Y. Wang, "State-of-health estimation for lithium-ion batteries based on historical dependency of charging data and ensemble SVR," *Electrochimica Acta*, 428, (2022): 140940. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140940>.

183. Mohammed Hussein Saleh Mohammed Haram, Jia Woon Lee, Gobbi Ramasamy, Eng Eng Ngu, Siva Priya Thiagarajah, and Yuen How Lee, "Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges," *Alexandria Engineering Journal* 60, no. 5 (2021): 4517-4536.

184 Y. Guo, K. Huang, X. Yu, Y. Wang, "State-of-health estimation for lithium-ion batteries based on historical dependency of charging data and ensemble SVR," *Electrochimica Acta* 428, (2022): 140940. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.140940>; D. Gong, Y. Gao, Y. Kou, Y. Wang, "State of Health Estimation for lithium-ion battery based on

de tensión diferencial y el análisis de capacidad incremental son dos métodos adicionales para estimar unos valores de SOH muy precisos a partir de datos transformados.<sup>186</sup>

## Garantías de las baterías de los vehículos eléctricos

Se recomienda sustituir las baterías de iones de litio de los vehículos eléctricos cuando alcancen el 80 % de su estado de salud o SOH.<sup>187</sup> El SOH es la carga máxima de la batería del vehículo eléctrico dividida por la capacidad nominal. En EE. UU. no existen leyes federales que aborden directamente el deterioro de las baterías y los requisitos de garantía. Sin embargo, en agosto de 2022, la Junta de Recursos del Aire de California (CARB por sus siglas en inglés) aprobó la regulación Advanced Clean Cars II, que convirtió a California en el primer estado de EE. UU. en

energy features," *Energy* 257, (2022): 124812, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124812>.

185. D. Gong, "State of Health Estimation for lithium-ion battery based on energy features"; Z. Chen, S. Zhang, N. Shi, F. Li, Y. Wang, J. Cui, "Online state-of-health estimation of lithium-ion battery based on relevance vector machine with Dynamic Integration," *Applied Soft Computing* 129, (2022): 109615. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109615>.

186. Cuicui Liu, Xiankui Wen, Jingliang Zhong, Wei Liu, Jianhong Chen, Jiawei Zhang, Zhiqin Wang, and Qiangqiang Liao, "Characterization of Aging Mechanisms and State of Health for Second-Life 21700 Ternary Lithium-Ion Battery," *Journal of Energy Storage* 55 (2022): 105511, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105511>.

implementar un periodo de garantía para las baterías de los vehículos eléctricos. La normativa exige que las baterías de los VE conserven al menos el 75 % de su capacidad nominal durante 8 años o 160 000 km (100 000 millas) para los vehículos del año de modelo 2031 y posteriores. En cuanto a la durabilidad de las baterías a lo largo del tiempo, esta normativa también exige que los vehículos mantengan al menos el 80 por ciento de su autonomía eléctrica durante 10 años o 241 000 kilómetros (150 000 millas).

Para alcanzar este objetivo, la legislación californiana adopta un enfoque gradual que exige que las garantías cubran el 70 % de la capacidad nominal de los vehículos de los años 2026 a 2030.<sup>188</sup> A pesar de la falta de incentivos legales, la mayoría de los fabricantes de equipos originales (OEM) ofrecen hoy en día garantías que cubren las baterías Li-ion durante 8 años o 160 000 km (100 000 millas).

---

187. Z. Chen, S. Zhang, N. Shi, F. Li, Y. Wang, J. Cui, "Online state-of-health estimation of lithium-ion battery based on relevance vector machine with Dynamic Integration," *Applied Soft Computing* 129, (2022): 109615. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109615>.

188. "Advanced Clean Cars II." Advanced Clean Cars II. Accessed December 15, 2022. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/advanced-clean-cars-program/advanced-clean-cars-ii>.

## Venta y retirada de vehículos eléctricos

**Table 7. Regresión del parque de vehículos eléctricos**

Tipo de proyección	Modo de transporte	Escenario futuro de transporte	R <sup>2</sup>	Orden polinómico	Función
Existencias	Autobús de tránsito	Escenario 1	,9952	3	$y = 3,369316878x^3 - 20,480,5571975018x^2 + 41,496,478,1118077x - 28,025,233,014,3114$
Existencias	Autobús de tránsito	Escenario 2	,9998	3	$y = 5,4101288958x^3 - 32,810,7327561504x^2 + 66,328,588,3947035000x - 44,695,252,504,5018$
Existencias	Autobús de tránsito	Escenario 3	,9999	3	$y = 5,8124665579x^3 - 35,241,5827488313x^2 + 71,224,163,7550019x - 47,981,705,541,4614$
Existencias	Autobús de tránsito	Escenario 4	1,0000	3	$y = 10,0643743579x^3 - 60,930,7541054873x^2 + 122,960,356,250431x - 82,712,677,956,6852$
Existencias	Autobús escolar	Escenario 1-3	,9996	3	$y = 3,7126595054x^3 - 22,357,9282183206x^2 + 44,882,261,0975993x - 30,033,907,640,8713$
Existencias	Autobús escolar	Escenario 4	,9993	2	$y = 146,3886195201x^2 - 587,306,339892098x + 589,259,788,282788$
Existencias	Turismos	Escenario 1	1,000	3	$y = 6,473,63363266364x^3 - 39,116,912,0945412x^2 + 78,787,920,640,3889x - 52,897,279,864,132,$
Existencias	Turismos	Escenario 2	,9995	2	$Y = 172,557,552939913x^2 - 695,264,328,267829x + 700,333,763,867,394$
Existencias	Turismos	Escenario 3	,9995	2	$y = 122,167,917651265x^2 - 492,205,420,17016x + 495,763,821,651,905$
Existencias	Turismos	Escenario 4	,9997	2	$y = 61,213,0640961815x^2 - 246,571,056,371998x + 248,301,604,509,68$

## Modelación de la retirada de vehículos

Los índices de retirada de vehículos (es decir, las averías de los vehículos) se han estimado utilizando una distribución de Weibull, partiendo de una vida útil media de 15 años y utilizando un parámetro de forma de 7, un método que concuerda con actividades de modelado similares para vehículos eléctricos. Se ha elegido el parámetro de forma de Weibull porque los valores superiores a 1 indican fallos por desgaste. El parámetro de la escala se define como el tiempo que el 63,2 % de los componentes analizados tardan en fallar. El parámetro de escala se ha calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Eq (1): } \eta = t / e^{(\Gamma(1+1/\beta))},$$

Siendo  $t$  la vida media de una batería,  $\beta$  el parámetro de forma y  $\eta$  el parámetro de escala. Con estos parámetros para la distribución de Weibull se ha obtenido la siguiente probabilidad de avería de la batería a lo largo del tiempo.

Para trasladar el modelo de rotación de existencias a las ventas de vehículos nuevos se ha recurrido a la siguiente ecuación:

$$\text{Ec(2) Ventas de VE nuevos} = \text{StV}(t) - \text{StV}(t-1) + \text{VRet}(t)$$

Siendo  $\text{VSt}$  el stock o existencias de vehículos en un año  $t$  y  $\text{VRet}$  el número de vehículos retirados en un año  $t$ .  $\text{VRet}$  se calcula a partir del modelo de rotación del parque y, por lo tanto, es proporcional a las ventas de los años anteriores. Los datos cronológicos de existencias, ventas y retiradas de VE de pasajeros se presentan en las tablas 9 y 10.

**Tabla 8. Probabilidad de avería del vehículo a lo largo del tiempo.**

Años desde la venta del coche	Probabilidad de avería
0	0
1	0,006
2	0,013
3	0,019
4	0,029
5	0,045
6	0,062
7	0,086
8	0,114
9	0,146
10	0,182
11	0,222
12	0,263
13	0,320
14	0,392
15	0,466
16	0,536
17	0,600
18	0,657
19	0,707
20	0,750
21	0,786
22	0,817
23	0,843
24	0,866
25	0,885
26	0,901
27	<b>0,915</b>
28	<b>0,929</b>

**Tabla 9. Existencias, ventas y retiradas de turismos eléctricos en EE. UU. para los escenarios 1 y 2.**

Año	Escenario 1			Escenario 2		
	Existencias de VE	Venta de VE	Retirada de VE	Existencias de VE	Venta de VE	Retirada de VE
2010	3774	3774	24	3774	3774	24
2011	13524	9750	86	13524	9750	86
2012	28174	14650	179	28174	14650	179
2013	75864	47690	498	75864	47690	498
2014	139284	63420	958	139284	63420	958
2015	210328	71044	1525	210328	71044	1525
2016	297059	86731	2388	297059	86731	2388
2017	401546	104487	3645	401546	104487	3645
2018	640369	238823	6027	640369	238823	6027
2019	882281	241912	8830	882281	241912	8830
2020	1138654	231088	12003	1138654	231088	12003
2021	2142551	1015900	21131	4612519	3485867	36840
2022	3146449	1025028	31404	8086384	3510705	62922
2023	4475789	1360745	44740	10817357	2793896	85373
2024	6148270	1717221	64699	13893446	3161461	124397
2025	8202734	2119163	114355	17314649	3545601	182427
2026	10678022	2589643	149939	21080968	3948746	251430
2027	13612976	3084893	197300	25192402	4362864	341680
2028	17046439	3630762	269970	29648951	4798229	448285
2029	21017251	4240783	359578	34450615	5249949	572835
2030	25564255	4906582	528400	39597394	5719614	717876
2031	30726293	5690438	661331	45089288	6209770	887475
2032	36542205	6477244	804955	50926297	6724484	1072747
2033	43050835	7313585	1026321	57108422	7254872	1318539

**Tabla 9. Existencias, ventas y retiradas de turismos eléctricos en EE. UU. para los escenarios 1 y 2.**

2034	50291024	8266509	1286826	63635661	7845779	1630369
2035	58301613	9297416	1565781	70508016	8502723	1957937
2036	67121445	10385613	1901342	77725486	9175406	2285793
2037	76789361	11569258	2297227	85288071	9848377	2622326
2038	87344203	12852069	2744290	93195771	10530026	2973095
2039	98824813	14224900	3178780	101448586	11225910	3338547
2040	111270032	15623999	3646176	110046516	11936477	3720043
2041	124718704	17094848	4121221	118989561	12663088	4119320
2042	139209668	18612185	4789970	128277721	13407480	4536470
2043	154781767	20362069	5514287	137910997	14169745	4974776
2044	171473844	22206363	6159107	147889388	14953166	5433270
2045	189324739	24010002	6793200	158212893	15756775	5911080
2046	208373294	25841756	7463396	168881514	16579701	6409245
2047	228658352	27748453	8195278	179895250	17422980	6931755
2048	250218754	29755680	8992740	191254101	18290606	7484663
2049	273093342	31867328	9858715	202958067	19188629	8051033
2050	297320957	34086330	11018026	215118347	20211313	8638164



**Tabla 10. Existencias, ventas y retiradas de turismos eléctricos en EE. UU. para los escenarios 3 y 4.**

Año	Escenario 3			Escenario 4		
	Existencias de VE	Venta de VE	Retirada de VE	Existencias de VE	Venta de VE	Retirada de VE
2010	3774	3774	24	3774	3774	24
2011	13524	9750	86	13524	9750	86
2012	28174	14650	179	28174	14650	179
2013	75864	47690	498	75864	47690	498
2014	139284	63420	958	139284	63420	958
2015	210328	71044	1525	210328	71044	1525
2016	297059	86731	2388	297059	86731	2388
2017	401546	104487	3645	401546	104487	3645
2018	640369	238823	6027	640369	238823	6027
2019	882281	241912	8830	882281	241912	8830
2020	1138654	231088	12003	1138654	231088	12003
2021	3588676	2462025	30328	2350164	1223512	22452
2022	6038698	2480351	49858	3561674	1233961	34054
2023	8002505	2013664	67346	4597462	1069842	45539
2024	10210648	2275489	96640	5755676	1203753	63063
2025	12663126	2549119	139420	7036316	1343703	87394
2026	15359940	2836234	190333	8439382	1490461	116424
2027	18301090	3131483	256321	9964874	1641917	153065
2028	21486576	3441807	334000	11612793	1800984	195751
2029	24916398	3763821	424431	13383138	1966096	244910
2030	28590556	4098588	529850	15275908	2137681	302400
2031	32509049	4448343	653033	17291105	2317597	369435
2032	36671878	4815862	787290	19428728	2507058	441982
2033	41079043	5194456	963138	21688778	2702031	533220

**Tabla 10. Existencias, ventas y retiradas de turismos eléctricos en EE. UU. para los escenarios 3 y 4.**

2034	45730544	5614639	1184312	24071253	2915695	644729
2035	50626381	6080148	1416725	26576154	3149631	762036
2036	55766554	6556897	1649959	29203482	3389364	880809
2037	61151062	7034467	1889660	31953236	3630563	1003375
2038	66779906	7518504	2139585	34825415	3875555	1131312
2039	72653086	8012765	2400025	37820021	4125918	1264723
2040	78770602	8517541	2671983	40937053	4381755	1404175
2041	85132454	9033834	2956604	44176512	4643634	1550100
2042	91738642	9562791	3253912	47538396	4911984	1702439
2043	98589165	10104435	3566428	51022706	5186750	1862792
2044	105684024	10661288	3893192	54629443	5469529	2030206
2045	113023219	11232387	4233544	58358606	5759369	2204278
2046	120606750	11817075	4588281	62210195	6055866	2385516
2047	128434617	12416148	4960223	66184210	6359531	2575320
2048	136506820	13032426	5354538	70280651	6671761	2777788
2049	144823358	13671076	5757673	74499518	6996655	2983463
2050	153459847	14394162	6174782	78873382	7357327	3194901

# Resultados de la demanda de litio de vehículos eléctricos en EE. UU.

## Demanda de litio de autobuses

**Tabla 11. Demanda de litio (kg) por año de los autobuses escolares y de tránsito de EE. UU.**

Año	Demanda de litio (kg) de autobuses escolares por escenario futuro de transporte				Demanda de litio (kg) de autobuses de tránsito por escenario futuro de transporte			
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2020	1,42E+04	1,42E+04	1,42E+04	1,42E+04	1,30E+06	2,27E+06	1,64E+06	1,61E+06
2021	5,29E+05	5,29E+05	5,29E+05	5,40E+05	1,36E+06	2,57E+06	1,79E+06	1,76E+06
2022	2,30E+05	2,30E+05	2,30E+05	2,35E+05	1,41E+06	2,87E+06	1,93E+06	1,91E+06
2023	2,40E+05	2,40E+05	2,40E+05	2,46E+05	1,47E+06	3,17E+06	2,07E+06	2,06E+06
2024	2,51E+05	2,51E+05	2,51E+05	2,57E+05	2,53E+06	4,48E+06	3,23E+06	3,21E+06
2025	2,63E+05	2,63E+05	2,63E+05	2,69E+05	2,64E+06	5,08E+06	3,52E+06	3,51E+06
2026	2,77E+05	2,77E+05	2,77E+05	2,82E+05	2,76E+06	5,68E+06	3,80E+06	3,80E+06
2027	2,91E+05	2,91E+05	2,91E+05	2,95E+05	1,29E+06	2,03E+06	1,57E+06	1,49E+06
2028	3,07E+05	3,07E+05	3,07E+05	3,09E+05	1,35E+06	2,34E+06	1,71E+06	1,64E+06
2029	3,25E+05	3,25E+05	3,25E+05	3,24E+05	1,40E+06	2,64E+06	1,86E+06	1,79E+06
2030	4,80E+05	4,80E+05	4,80E+05	4,78E+05	1,48E+06	2,97E+06	2,04E+06	1,96E+06
2031	5,05E+05	5,05E+05	5,05E+05	4,98E+05	2,55E+06	4,29E+06	3,20E+06	3,12E+06
2032	5,34E+05	5,34E+05	5,34E+05	5,21E+05	2,66E+06	4,90E+06	3,50E+06	3,42E+06
2033	5,68E+05	5,68E+05	5,68E+05	5,48E+05	2,77E+06	5,51E+06	3,80E+06	3,72E+06
2034	6,04E+05	6,04E+05	6,04E+05	5,76E+05	2,89E+06	6,12E+06	4,10E+06	4,02E+06
2035	6,43E+05	6,43E+05	6,43E+05	6,04E+05	1,42E+06	2,49E+06	1,88E+06	1,72E+06
2036	6,84E+05	6,84E+05	6,84E+05	6,34E+05	1,48E+06	2,81E+06	2,05E+06	1,87E+06
2037	7,28E+05	7,28E+05	7,28E+05	6,64E+05	1,57E+06	3,16E+06	2,25E+06	2,05E+06
2038	7,76E+05	7,76E+05	7,76E+05	6,96E+05	1,63E+06	3,49E+06	2,42E+06	2,21E+06
2039	8,26E+05	8,26E+05	8,26E+05	7,29E+05	2,70E+06	4,83E+06	3,62E+06	3,38E+06
2040	8,80E+05	8,80E+05	8,80E+05	7,62E+05	2,83E+06	5,47E+06	3,95E+06	3,69E+06

**Tabla 11. Demanda de litio (kg) por año de los autobuses escolares y de tránsito de EE. UU.**

2041	9,33E+05	9,33E+05	9,33E+05	7,93E+05	2,95E+06	6,11E+06	4,28E+06	4,01E+06
2042	1,51E+06	1,51E+06	1,51E+06	1,35E+06	1,50E+06	2,51E+06	2,10E+06	1,72E+06
2043	1,27E+06	1,27E+06	1,27E+06	1,09E+06	1,57E+06	2,87E+06	2,31E+06	1,89E+06
2044	1,35E+06	1,35E+06	1,35E+06	1,13E+06	1,65E+06	3,23E+06	2,52E+06	2,07E+06
2045	1,64E+06	1,64E+06	1,64E+06	1,37E+06	1,79E+06	3,69E+06	2,84E+06	2,32E+06
2046	1,74E+06	1,74E+06	1,74E+06	1,43E+06	2,88E+06	5,09E+06	4,09E+06	3,53E+06
2047	1,85E+06	1,85E+06	1,85E+06	1,50E+06	3,03E+06	5,79E+06	4,49E+06	3,88E+06
2048	1,97E+06	1,97E+06	1,97E+06	1,56E+06	3,18E+06	6,49E+06	4,90E+06	4,24E+06
2049	2,09E+06	2,09E+06	2,09E+06	1,63E+06	3,34E+06	7,21E+06	5,32E+06	4,61E+06
2050	2,22E+06	2,22E+06	2,22E+06	1,71E+06	1,92E+06	3,70E+06	3,23E+06	1,60E+07
Acumulativo (2050)	2,65E+07	2,65E+07	2,65E+07	2,30E+07	6,53E+07	1,26E+08	9,20E+07	9,82E+07

## Demanda de turismos

**Tabla 12. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 8 años.**

Año	Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería pequeña				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería mediana				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería grande			
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2020	2,71E+06	3,68E+06	3,06E+06	3,02E+06	3,32E+06	4,29E+06	3,66E+06	3,63E+06	4,51E+06	5,48E+06	4,86E+06	4.82E+06
2021	8,02E+06	2,42E+07	1,72E+07	9,69E+06	1,07E+07	3,33E+07	2,37E+07	1,29E+07	1,59E+07	5,13E+07	3,64E+07	1.92E+07
2022	7,84E+06	2,43E+07	1,71E+07	9,60E+06	1.05E+07	3,35E+07	2,37E+07	1,28E+07	1,58E+07	5,17E+07	3,65E+07	1.92E+07
2023	9,93E+06	2,03E+07	1,45E+07	8,77E+06	1,35E+07	2,76E+07	1,98E+07	1,16E+07	2,05E+07	4,21E+07	3,02E+07	1.71E+07
2024	1,32E+07	2,38E+07	1,72E+07	1,07E+07	1,77E+07	3,21E+07	2,32E+07	1,39E+07	2,65E+07	4,85E+07	3,50E+07	2.01E+07
2025	1,57E+07	2,68E+07	1,92E+07	1,19E+07	2,13E+07	3,61E+07	2,59E+07	1,54E+07	3,22E+07	5,44E+07	3,91E+07	2.24E+07
2026	1,87E+07	2,98E+07	2,12E+07	1,31E+07	2,55E+07	4,02E+07	2,87E+07	1,70E+07	3,89E+07	6,06E+07	4,33E+07	2.47E+07
2027	2,02E+07	2,87E+07	2,08E+07	1,17E+07	2,83E+07	4,02E+07	2,90E+07	1,60E+07	4,43E+07	6,28E+07	4,52E+07	2.45E+07
2028	2,36E+07	3,17E+07	2,29E+07	1,29E+07	3,32E+07	4,44E+07	3,19E+07	1,76E+07	5,19E+07	6,92E+07	4,98E+07	2.70E+07
2029	2,74E+07	3,49E+07	2,51E+07	1,41E+07	3,86E+07	4,88E+07	3,50E+07	1,93E+07	6,05E+07	7,61E+07	5,46E+07	2.95E+07
2030	3,17E+07	3,82E+07	2,74E+07	1,54E+07	4,46E+07	5,33E+07	3,83E+07	2,11E+07	7,00E+07	8,31E+07	5,96E+07	3.22E+07
2031	3,75E+07	4,25E+07	3,07E+07	1,77E+07	5,25E+07	5,89E+07	4,25E+07	2,38E+07	8,20E+07	9,11E+07	6,56E+07	3.58E+07
2032	4,24E+07	4,63E+07	3,33E+07	1,92E+07	5,95E+07	6,40E+07	4,60E+07	2,58E+07	9,31E+07	9,89E+07	7,10E+07	3.88E+07
2033	4,77E+07	5,01E+07	3,59E+07	2,07E+07	6,69E+07	6,93E+07	4,96E+07	2,78E+07	1,05E+08	1,07E+08	7,66E+07	4.19E+07
2034	5,36E+07	5,44E+07	3,88E+07	2,23E+07	7,54E+07	7,51E+07	5,36E+07	3,00E+07	1,18E+08	1,16E+08	8,28E+07	4.52E+07
2035	5,84E+07	5,48E+07	3,95E+07	2,15E+07	8,29E+07	7,72E+07	5,55E+07	2,98E+07	1,31E+08	1,21E+08	8,71E+07	4.61E+07
2036	6,52E+07	5,92E+07	4,26E+07	2,31E+07	9,25E+07	8,35E+07	5,99E+07	3,21E+07	1,46E+08	1,31E+08	9,40E+07	4.97E+07
2037	7,25E+07	6,37E+07	4,57E+07	2,48E+07	1,03E+08	8,97E+07	6,43E+07	3,44E+07	1,63E+08	1,41E+08	1,01E+08	5.32E+07
2038	8,04E+07	6,83E+07	4,89E+07	2,65E+07	1,14E+08	9,61E+07	6,88E+07	3,67E+07	1,81E+08	1,51E+08	1,08E+08	5.68E+07
2039	8,99E+07	7,39E+07	5,31E+07	2,92E+07	1,27E+08	1,04E+08	7,43E+07	4,01E+07	2,01E+08	1,62E+08	1,16E+08	6.15E+07
2040	9,85E+07	7,89E+07	5,66E+07	3,11E+07	1,40E+08	1,10E+08	7,91E+07	4,27E+07	2,21E+08	1,72E+08	1,23E+08	6.55E+07
2041	1,08E+08	8,40E+07	6,01E+07	3,30E+07	1,53E+08	1,17E+08	8,40E+07	4,53E+07	2,41E+08	1,83E+08	1,31E+08	6.94E+07
2042	1,16E+08	8,55E+07	6,18E+07	3,29E+07	1,65E+08	1,21E+08	8,70E+07	4,59E+07	2,62E+08	1,91E+08	1,37E+08	7.15E+07

**Tabla 12. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 8 años.**

2043	1,26E+08	9,03E+07	6,50E+07	3,45E+07	1,80E+08	1,28E+08	9,17E+07	4,82E+07	2,86E+08	2,01E+08	1,44E+08	7,52E+07
2044	1,38E+08	9,55E+07	6,87E+07	3,65E+07	1,96E+08	1,35E+08	9,69E+07	5,09E+07	3,12E+08	2,13E+08	1,52E+08	7,94E+07
2045	1,49E+08	1,01E+08	7,28E+07	3,87E+07	2,13E+08	1,43E+08	1,02E+08	5,40E+07	3,37E+08	2,25E+08	1,61E+08	8,39E+07
2046	1,62E+08	1,08E+08	7,77E+07	4,18E+07	2,30E+08	1,52E+08	1,09E+08	5,78E+07	3,64E+08	2,38E+08	1,70E+08	8,93E+07
2047	1,73E+08	1,14E+08	8,19E+07	4,41E+07	2,47E+08	1,60E+08	1,15E+08	6,09E+07	3,91E+08	2,50E+08	1,79E+08	9,40E+07
2048	1,86E+08	1,20E+08	8,62E+07	4,64E+07	2,65E+08	1,68E+08	1,21E+08	6,40E+07	4,19E+08	2,63E+08	1,88E+08	9,88E+07
2049	1,99E+08	1,26E+08	9,06E+07	4,88E+07	2,83E+08	1,77E+08	1,27E+08	6,73E+07	4,49E+08	2,77E+08	1,98E+08	1,04E+08
2050	2,11E+08	1,29E+08	9,30E+07	6,25E+07	3,01E+08	1,82E+08	1,31E+08	8,19E+07	4,79E+08	2,88E+08	2,06E+08	1,20E+08
Total Acumulado	2,39E+09	1,93E+09	1,39E+09	7,76E+08	3,39E+09	2,70E+09	1,94E+09	1,06E+09	5,36E+09	4,23E+09	3,03E+09	1,62E+09

**Tabla 13. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 10 años.**

Año	Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería pequeña				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería mediana				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería grande			
	Escenario, 1	Escenario, 2	Escenario, 3	Escenario, 4	Escenario, 1	Escenario, 2	Escenario, 3	Escenario, 4	Escenario, 1	Escenario, 2	Escenario, 3	Escenario, 4
2020	2,71E+06	3,68E+06	3,06E+06	3,02E+06	3,32E+06	4,29E+06	3,66E+06	3,63E+06	4,51E+06	5,49E+06	4,86E+06	4,83E+06
2021	8,02E+06	2,42E+07	1,72E+07	9,69E+06	1,07E+07	3,33E+07	2,37E+07	1,29E+07	1,59E+07	5,13E+07	3,64E+07	1,92E+07
2022	7,84E+06	2,43E+07	1,71E+07	9,60E+06	1,05E+07	3,35E+07	2,37E+07	1,28E+07	1,58E+07	5,17E+07	3,65E+07	1,92E+07
2023	9,94E+06	2,03E+07	1,45E+07	8,78E+06	1,35E+07	2,76E+07	1,98E+07	1,16E+07	2,06E+07	4,21E+07	3,02E+07	1,71E+07
2024	1,32E+07	2,38E+07	1,72E+07	1,08E+07	1,77E+07	3,22E+07	2,32E+07	1,39E+07	2,66E+07	4,85E+07	3,50E+07	2,02E+07
2025	1,57E+07	2,68E+07	1,92E+07	1,19E+07	2,13E+07	3,61E+07	2,59E+07	1,55E+07	3,23E+07	5,44E+07	3,91E+07	2,24E+07
2026	1,87E+07	2,98E+07	2,13E+07	1,31E+07	2,55E+07	4,02E+07	2,87E+07	1,71E+07	3,89E+07	6,07E+07	4,34E+07	2,48E+07
2027	2,03E+07	2,88E+07	2,08E+07	1,18E+07	2,84E+07	4,02E+07	2,91E+07	1,61E+07	4,44E+07	6,28E+07	4,53E+07	2,46E+07
2028	2,37E+07	3,18E+07	2,29E+07	1,29E+07	3,32E+07	4,44E+07	3,20E+07	1,77E+07	5,21E+07	6,94E+07	4,99E+07	2,71E+07
2029	2,75E+07	3,50E+07	2,51E+07	1,41E+07	3,86E+07	4,89E+07	3,51E+07	1,93E+07	6,07E+07	7,62E+07	5,47E+07	2,96E+07
2030	3,18E+07	3,85E+07	2,77E+07	1,56E+07	4,48E+07	5,38E+07	3,86E+07	2,13E+07	7,03E+07	8,38E+07	6,01E+07	3,25E+07
2031	3,78E+07	4,33E+07	3,13E+07	1,80E+07	5,28E+07	6,00E+07	4,33E+07	2,42E+07	8,25E+07	9,30E+07	6,69E+07	3,65E+07
2032	4,27E+07	4,70E+07	3,38E+07	1,94E+07	5,99E+07	6,51E+07	4,68E+07	2,62E+07	9,37E+07	1,01E+08	7,22E+07	3,94E+07
2033	4,80E+07	5,08E+07	3,64E+07	2,09E+07	6,74E+07	7,03E+07	5,03E+07	2,82E+07	1,06E+08	1,09E+08	7,77E+07	4,24E+07
2034	5,40E+07	5,52E+07	3,94E+07	2,26E+07	7,60E+07	7,62E+07	5,44E+07	3,04E+07	1,19E+08	1,18E+08	8,41E+07	4,58E+07
2035	5,90E+07	5,56E+07	4,01E+07	2,18E+07	8,37E+07	7,85E+07	5,64E+07	3,02E+07	1,32E+08	1,23E+08	8,85E+07	4,69E+07
2036	6,58E+07	6,02E+07	4,33E+07	2,35E+07	9,34E+07	8,48E+07	6,09E+07	3,26E+07	1,48E+08	1,33E+08	9,55E+07	5,05E+07
2037	7,32E+07	6,48E+07	4,65E+07	2,52E+07	1,04E+08	9,12E+07	6,54E+07	3,49E+07	1,65E+08	1,43E+08	1,03E+08	5,41E+07
2038	8,13E+07	6,94E+07	4,97E+07	2,69E+07	1,16E+08	9,77E+07	6,99E+07	3,73E+07	1,83E+08	1,53E+08	1,10E+08	5,78E+07
2039	9,09E+07	7,51E+07	5,40E+07	2,97E+07	1,29E+08	1,05E+08	7,56E+07	4,08E+07	2,04E+08	1,65E+08	1,18E+08	6,26E+07
2040	9,97E+07	8,03E+07	5,76E+07	3,16E+07	1,41E+08	1,12E+08	8,05E+07	4,34E+07	2,24E+08	1,76E+08	1,26E+08	6,66E+07
2041	1,09E+08	8,55E+07	6,12E+07	3,36E+07	1,55E+08	1,20E+08	8,55E+07	4,61E+07	2,45E+08	1,87E+08	1,33E+08	7,07E+07
2042	1,18E+08	8,71E+07	6,29E+07	3,35E+07	1,67E+08	1,23E+08	8,87E+07	4,68E+07	2,65E+08	1,94E+08	1,39E+08	7,28E+07
2043	1,28E+08	9,20E+07	6,63E+07	3,52E+07	1,83E+08	1,30E+08	9,35E+07	4,92E+07	2,90E+08	2,05E+08	1,47E+08	7,67E+07

**Tabla 13. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 10 años.**

2044	1,40E+08	9,74E+07	7,00E+07	3,72E+07	1,99E+08	1,38E+08	9,88E+07	5,19E+07	3,16E+08	2,17E+08	1,55E+08	8,10E+07
2045	1,51E+08	1,03E+08	7,42E+07	3,95E+07	2,16E+08	1,46E+08	1,05E+08	5,50E+07	3,42E+08	2,29E+08	1,64E+08	8,56E+07
2046	1,64E+08	1,10E+08	7,93E+07	4,26E+07	2,33E+08	1,55E+08	1,11E+08	5,90E+07	3,70E+08	2,43E+08	1,74E+08	9,12E+07
2047	1,76E+08	1,16E+08	8,35E+07	4,49E+07	2,51E+08	1,63E+08	1,17E+08	6,21E+07	3,97E+08	2,56E+08	1,83E+08	9,59E+07
2048	1,89E+08	1,22E+08	8,79E+07	4,73E+07	2,69E+08	1,72E+08	1,23E+08	6,54E+07	4,26E+08	2,69E+08	1,93E+08	1,01E+08
2049	2,02E+08	1,29E+08	9,25E+07	4,98E+07	2,88E+08	1,81E+08	1,29E+08	6,87E+07	4,57E+08	2,83E+08	2,02E+08	1,06E+08
2050	2,15E+08	1,32E+08	9,51E+07	6,35E+07	3,07E+08	1,86E+08	1,34E+08	8,34E+07	4,87E+08	2,94E+08	2,11E+08	1,23E+08
Acumulado	2,42E+09	1,96E+09	1,41E+09	7,88E+08	3,44E+09	2,75E+09	1,97E+09	1,08E+09	5,43E+09	4,30E+09	3,08E+09	1,65E+09



**Tabla 14. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 12 años.**

Año	Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería pequeña				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería mediana				Demanda total de Li (kg) en el supuesto de una garantía de batería de 8 años y una batería grande			
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
2020	2,71E+06	3,68E+06	3,06E+06	3,02E+06	3,32E+06	4,29E+06	3,66E+06	3,63E+06	4,51E+06	5,49E+06	4,86E+06	4,83E+06
2021	8,03E+06	2,42E+07	1,72E+07	9,69E+06	1,07E+07	3,33E+07	2,37E+07	1,29E+07	1,59E+07	5,13E+07	3,64E+07	1,92E+07
2022	7,85E+06	2,43E+07	1,72E+07	9,61E+06	1,05E+07	3,35E+07	2,37E+07	1,29E+07	1,58E+07	5,17E+07	3,65E+07	1,92E+07
2023	9,95E+06	2,03E+07	1,45E+07	8,79E+06	1,35E+07	2,76E+07	1,98E+07	1,16E+07	2,06E+07	4,21E+07	3,02E+07	1,72E+07
2024	1,32E+07	2,39E+07	1,73E+07	1,08E+07	1,77E+07	3,22E+07	2,33E+07	1,40E+07	2,66E+07	4,85E+07	3,50E+07	2,02E+07
2025	1,58E+07	2,68E+07	1,92E+07	1,20E+07	2,14E+07	3,62E+07	2,60E+07	1,55E+07	3,24E+07	5,45E+07	3,92E+07	2,25E+07
2026	1,88E+07	2,99E+07	2,13E+07	1,32E+07	2,56E+07	4,03E+07	2,88E+07	1,71E+07	3,90E+07	6,08E+07	4,35E+07	2,49E+07
2027	2,03E+07	2,88E+07	2,09E+07	1,18E+07	2,85E+07	4,03E+07	2,92E+07	1,62E+07	4,45E+07	6,30E+07	4,54E+07	2,47E+07
2028	2,37E+07	3,18E+07	2,30E+07	1,30E+07	3,33E+07	4,45E+07	3,21E+07	1,78E+07	5,22E+07	6,95E+07	5,01E+07	2,72E+07
2029	2,76E+07	3,51E+07	2,52E+07	1,42E+07	3,88E+07	4,90E+07	3,53E+07	1,95E+07	6,09E+07	7,64E+07	5,50E+07	2,99E+07
2030	3,20E+07	3,87E+07	2,78E+07	1,57E+07	4,50E+07	5,40E+07	3,88E+07	2,15E+07	7,06E+07	8,41E+07	6,05E+07	3,29E+07
2031	3,79E+07	4,35E+07	3,14E+07	1,81E+07	5,31E+07	6,03E+07	4,35E+07	2,44E+07	8,29E+07	9,33E+07	6,72E+07	3,69E+07
2032	4,31E+07	4,80E+07	3,45E+07	1,98E+07	6,04E+07	6,65E+07	4,78E+07	2,68E+07	9,45E+07	1,03E+08	7,39E+07	4,04E+07
2033	4,87E+07	5,31E+07	3,80E+07	2,18E+07	6,84E+07	7,36E+07	5,27E+07	2,94E+07	1,07E+08	1,14E+08	8,15E+07	4,43E+07
2034	5,48E+07	5,73E+07	4,09E+07	2,34E+07	7,71E+07	7,93E+07	5,66E+07	3,15E+07	1,21E+08	1,23E+08	8,75E+07	4,76E+07
2035	6,00E+07	5,76E+07	4,15E+07	2,25E+07	8,51E+07	8,12E+07	5,84E+07	3,13E+07	1,35E+08	1,28E+08	9,17E+07	4,86E+07
2036	6,70E+07	6,24E+07	4,48E+07	2,43E+07	9,52E+07	8,80E+07	6,31E+07	3,38E+07	1,51E+08	1,38E+08	9,91E+07	5,24E+07
2037	7,48E+07	6,72E+07	4,82E+07	2,61E+07	1,06E+08	9,48E+07	6,79E+07	3,63E+07	1,68E+08	1,49E+08	1,07E+08	5,63E+07
2038	8,31E+07	7,21E+07	5,17E+07	2,79E+07	1,18E+08	1,02E+08	7,27E+07	3,88E+07	1,87E+08	1,60E+08	1,14E+08	6,02E+07
2039	9,31E+07	7,81E+07	5,62E+07	3,08E+07	1,32E+08	1,10E+08	7,87E+07	4,24E+07	2,09E+08	1,72E+08	1,23E+08	6,52E+07
2040	1,02E+08	8,36E+07	5,99E+07	3,28E+07	1,45E+08	1,17E+08	8,39E+07	4,52E+07	2,29E+08	1,83E+08	1,31E+08	6,94E+07
2041	1,12E+08	8,91E+07	6,38E+07	3,49E+07	1,59E+08	1,25E+08	8,92E+07	4,80E+07	2,51E+08	1,95E+08	1,39E+08	7,38E+07
2042	1,21E+08	9,10E+07	6,57E+07	3,50E+07	1,72E+08	1,29E+08	9,27E+07	4,89E+07	2,73E+08	2,03E+08	1,46E+08	7,62E+07
2043	1,32E+08	9,63E+07	6,93E+07	3,67E+07	1,88E+08	1,36E+08	9,79E+07	5,14E+07	2,99E+08	2,15E+08	1,54E+08	8,03E+07

**Tabla 14. Demanda de litio (kg) de turismos en EE. UU. considerando un periodo de garantía de 12 años.**

2044	1,44E+08	1,02E+08	7,33E+07	3,89E+07	2,06E+08	1,44E+08	1,04E+08	5,44E+07	3,27E+08	2,28E+08	1,63E+08	8,49E+07
2045	1,57E+08	1,08E+08	7,78E+07	4,13E+07	2,23E+08	1,53E+08	1,10E+08	5,77E+07	3,54E+08	2,41E+08	1,72E+08	8,98E+07
2046	1,70E+08	1,15E+08	8,31E+07	4,46E+07	2,42E+08	1,62E+08	1,17E+08	6,18E+07	3,83E+08	2,55E+08	1,83E+08	9,57E+07
2047	1,83E+08	1,22E+08	8,77E+07	4,71E+07	2,60E+08	1,71E+08	1,23E+08	6,52E+07	4,12E+08	2,69E+08	1,93E+08	1,01E+08
2048	1,96E+08	1,28E+08	9,24E+07	4,96E+07	2,79E+08	1,81E+08	1,30E+08	6,87E+07	4,43E+08	2,83E+08	2,03E+08	1,06E+08
2049	2,10E+08	1,35E+08	9,73E+07	5,23E+07	3,00E+08	1,90E+08	1,36E+08	7,23E+07	4,75E+08	2,98E+08	2,13E+08	1,12E+08
2050	2,24E+08	1,39E+08	1,00E+08	6,61E+07	3,19E+08	1,97E+08	1,41E+08	8,72E+07	5,07E+08	3,10E+08	2,22E+08	1,29E+08
Acumulado	2,49E+09	2,04E+09	1,46E+09	8,16E+08	3,54E+09	2,86E+09	2,05E+09	1,12E+09	5,59E+09	4,47E+09	3,20E+09	1,71E+09

## Material reciclado y potencial de circularidad

**Tabla 15. Demanda de material, material reciclado disponible y demanda neta (Demanda de material - material reciclado disponible) considerando un futuro de capacidad media de las baterías y un periodo de garantía de 8 años.**

Año	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3			Escenario 4		
	Demanda	Material reciclado disponible	Demanda neta	Demanda	Material reciclado disponible	Demanda neta	Demanda	Material reciclado disponible	Demanda neta	Demanda	Material reciclado disponible	Demanda neta
2020	4,6E+06	1,3E+06	3,3E+06	6,6E+06	2,3E+06	4,3E+06	5,3E+06	1,7E+06	3,7E+06	5,3E+06	1,7E+06	3,6E+06
2021	1,2E+07	1,5E+06	1,1E+07	4,6E+07	2,8E+06	4,3E+07	3,2E+07	2,0E+06	3,0E+07	1,8E+07	1,9E+06	1,6E+07
2022	1,2E+07	1,6E+06	1,1E+07	2,7E+07	3,3E+06	2,4E+07	2,0E+07	2,3E+06	1,7E+07	1,2E+07	2,2E+06	1,0E+07
2023	1,5E+07	1,8E+06	1,3E+07	3,1E+07	3,8E+06	2,7E+07	2,2E+07	2,6E+06	1,9E+07	1,4E+07	2,4E+06	1,1E+07
2024	2,0E+07	2,1E+06	1,8E+07	3,7E+07	4,5E+06	3,2E+07	2,7E+07	3,0E+06	2,4E+07	1,7E+07	2,8E+06	1,5E+07
2025	2,4E+07	2,6E+06	2,2E+07	4,1E+07	5,3E+06	3,6E+07	3,0E+07	3,6E+06	2,6E+07	1,9E+07	3,2E+06	1,6E+07
2026	2,9E+07	3,0E+06	2,6E+07	4,6E+07	6,3E+06	4,0E+07	3,3E+07	4,2E+06	2,9E+07	2,1E+07	3,6E+06	1,8E+07
2027	3,0E+07	2,0E+06	2,8E+07	4,3E+07	3,4E+06	3,9E+07	3,1E+07	2,6E+06	2,8E+07	1,8E+07	1,6E+06	1,6E+07
2028	3,5E+07	2,8E+06	3,2E+07	4,7E+07	4,5E+06	4,3E+07	3,4E+07	3,4E+06	3,1E+07	2,0E+07	2,1E+06	1,7E+07
2029	4,0E+07	3,8E+06	3,7E+07	5,2E+07	5,9E+06	4,6E+07	3,7E+07	4,5E+06	3,3E+07	2,1E+07	2,8E+06	1,9E+07
2030	4,7E+07	5,5E+06	4,1E+07	5,7E+07	7,7E+06	4,9E+07	4,1E+07	5,9E+06	3,5E+07	2,4E+07	3,6E+06	2,0E+07
2031	5,6E+07	8,0E+06	4,8E+07	6,4E+07	1,1E+07	5,3E+07	4,6E+07	8,6E+06	3,8E+07	2,7E+07	5,6E+06	2,2E+07
2032	6,3E+07	9,9E+06	5,3E+07	6,9E+07	1,4E+07	5,5E+07	5,0E+07	1,1E+07	3,9E+07	3,0E+07	6,9E+06	2,3E+07
2033	7,0E+07	1,3E+07	5,8E+07	7,5E+07	1,9E+07	5,6E+07	5,4E+07	1,4E+07	4,0E+07	3,2E+07	8,7E+06	2,3E+07
2034	7,9E+07	1,6E+07	6,3E+07	8,2E+07	2,5E+07	5,7E+07	5,8E+07	1,8E+07	4,0E+07	3,5E+07	1,1E+07	2,4E+07
2035	8,5E+07	2,0E+07	6,5E+07	8,1E+07	3,1E+07	4,9E+07	5,8E+07	2,3E+07	3,5E+07	3,2E+07	1,3E+07	1,9E+07
2036	9,5E+07	2,5E+07	7,0E+07	8,7E+07	3,9E+07	4,8E+07	6,3E+07	2,8E+07	3,5E+07	3,5E+07	1,6E+07	1,9E+07
2037	1,1E+08	3,1E+07	7,4E+07	9,4E+07	4,6E+07	4,7E+07	6,7E+07	3,3E+07	3,4E+07	3,7E+07	1,9E+07	1,9E+07
2038	1,2E+08	3,8E+07	7,9E+07	1,0E+08	5,4E+07	4,7E+07	7,2E+07	3,8E+07	3,4E+07	4,0E+07	2,1E+07	1,8E+07
2039	1,3E+08	4,4E+07	8,6E+07	1,1E+08	6,0E+07	4,9E+07	7,9E+07	4,3E+07	3,6E+07	4,4E+07	2,4E+07	2,1E+07
2040	1,4E+08	5,2E+07	9,2E+07	1,2E+08	6,7E+07	5,0E+07	8,4E+07	4,8E+07	3,6E+07	4,7E+07	2,6E+07	2,1E+07
2041	1,6E+08	6,0E+07	9,6E+07	1,2E+08	7,4E+07	5,1E+07	8,9E+07	5,3E+07	3,6E+07	5,0E+07	2,9E+07	2,1E+07

**Tabla 15. Demanda de material, material reciclado disponible y demanda neta (Demanda de material - material reciclado disponible) considerando un futuro de capacidad media de las baterías y un periodo de garantía de 8 años.**

2042	1,7E+08	6,9E+07	9,9E+07	1,2E+08	7,7E+07	4,8E+07	9,1E+07	5,5E+07	3,6E+07	4,9E+07	2,9E+07	2,0E+07
2043	1,8E+08	8,0E+07	1,0E+08	1,3E+08	8,4E+07	4,8E+07	9,5E+07	6,0E+07	3,5E+07	5,1E+07	3,2E+07	2,0E+07
2044	2,0E+08	9,0E+07	1,1E+08	1,4E+08	9,2E+07	4,8E+07	1,0E+08	6,6E+07	3,5E+07	5,4E+07	3,4E+07	2,0E+07
2045	2,2E+08	1,0E+08	1,1E+08	1,5E+08	1,0E+08	4,8E+07	1,1E+08	7,2E+07	3,5E+07	5,8E+07	3,7E+07	2,0E+07
2046	2,3E+08	1,1E+08	1,2E+08	1,6E+08	1,1E+08	4,9E+07	1,1E+08	7,9E+07	3,6E+07	6,3E+07	4,2E+07	2,1E+07
2047	2,5E+08	1,3E+08	1,2E+08	1,7E+08	1,2E+08	4,9E+07	1,2E+08	8,5E+07	3,6E+07	6,6E+07	4,5E+07	2,1E+07
2048	2,7E+08	1,4E+08	1,3E+08	1,8E+08	1,3E+08	4,8E+07	1,3E+08	9,2E+07	3,5E+07	7,0E+07	4,9E+07	2,1E+07
2049	2,9E+08	1,6E+08	1,3E+08	1,9E+08	1,4E+08	4,8E+07	1,3E+08	9,9E+07	3,5E+07	7,4E+07	5,2E+07	2,1E+07
2050	3,1E+08	8,3E+07	2,2E+08	1,9E+08	7,6E+07	1,1E+08	1,4E+08	5,5E+07	8,2E+07	1,0E+08	2,9E+07	7,0E+07
Acumulado	2,49E+09	2,04E+09	1,46E+09	8,16E+08	3,54E+09	2,86E+09	2,05E+09	1,12E+09	5,59E+09	4,47E+09	3,20E+09	1,71E+09

## Resultados de la demanda de litio de VE en EE. UU.

### Demanda de litio de autobuses

**Tabla 16. Potencial de circularidad acumulada de litio en 2050 considerando un escenario de batería media y un periodo de garantía de 8 años**

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
38%	49%	49%	47%