

## Desafíos del crecimiento del mercado de vehículos eléctricos

### Antecedentes

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publica los Informes Foresight con el fin de destacar aspectos críticos del cambio ambiental, exponer cuestiones científicas emergentes o tratar problemas ambientales contemporáneos. Ofrecen al público la oportunidad de conocer qué cambios están teniendo lugar en su entorno y las consecuencias de sus decisiones cotidianas, así como de reflexionar sobre la futura orientación de las políticas.

### Resumen

Los vehículos eléctricos pueden desempeñar un papel importante en la descarbonización del sector del transporte. Esto contribuye a mitigar el cambio climático y repercute positivamente en la calidad del aire urbano gracias a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y partículas finas. No obstante, si se pretende que sean un producto respetuoso con el medio ambiente, es preciso hacer un mayor esfuerzo por paliar las cargas ambientales y sociales de la extracción de tierras raras, que son necesarias sobre todo para las baterías y los motores, así como para su proceso de producción. Esto debe venir acompañado de una transición de la producción de electricidad hacia fuentes de energía renovables al tiempo que se presiona en favor del establecimiento de directrices claras sobre la reutilización y el reciclaje de las baterías.

### Introducción

En vista del auge de las emisiones de CO<sub>2</sub> y el deterioro de la calidad del aire en las ciudades, el uso de vehículos eléctricos se considera una solución beneficiosa para todos. Es necesario encontrar alternativas a los vehículos de combustión, y los vehículos eléctricos ofrecen una solución prometedora, ya que no consumen gasolina ni emiten CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> u otras partículas y gases nocivos. Aunque el uso y la expansión del transporte público y la movilidad blanda deberían seguir siendo factores prioritarios en

Producción mundial de electricidad, por fuentes

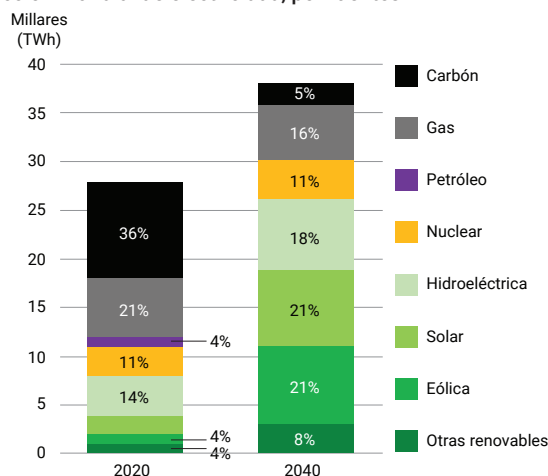


Gráfico 1: Producción de electricidad mundial total por fuentes en 2020 y 2040. La energía renovable se indica en verde. Las fuentes renovables producirán 18.000 teravatios-hora (TWh) adicionales, lo que incrementará su cuota del 29% al 68% del total. La electricidad destinada al transporte dará lugar a un aumento de la demanda de 3.800 TWh y representará el 10% de la electricidad total<sup>1</sup>.

la ordenación territorial y urbana, la demanda y la necesidad de transporte particular seguirán siendo cuestiones acuciantes, y es ahí donde los vehículos eléctricos de consumo pueden jugar un papel significativo.

Para obtener los mejores resultados, la electricidad que carga las baterías del vehículo debe provenir de fuentes de energía renovables para se constituya en la alternativa ecológica requerida. En 2020, el 61% de la combinación de energía eléctrica mundial procede de combustibles fósiles (carbón: 36%, gas: 21%, petróleo: 4%; gráfico 1). Se prevé un rápido incremento de la producción de electricidad procedente de fuentes renovables, observado ya en los últimos dos años, durante los próximos dos decenios. En 2040, el 68% de toda la producción de electricidad provendrá de fuentes renovables. El transporte representará el 10% de su uso<sup>1</sup>.

Un examen detenido de todas las fases del ciclo de vida de los vehículos eléctricos revela dos “desafíos” a los que es preciso prestar atención para que estos sean una opción aún más ecológica:

- 1) el proceso de producción de baterías y motores para los vehículos eléctricos requiere el uso de tierras raras y consume grandes cantidades de energía; y
- 2) la necesidad de poner en práctica estrategias para la reutilización, reciclaje y eliminación de las baterías de estos vehículos al final de su vida útil.

En la actualidad se están evaluando las posibles amenazas y desafíos asociados a la producción y el uso de vehículos eléctricos y de sus baterías, junto con sus posibles soluciones.



Automóvil eléctrico en una estación de carga  
© Smile Fight / Shutterstock.com



## ¿Cuáles son los resultados?

### Huella de carbono

La diferencia entre la huella de carbono de los vehículos eléctricos y la huella de los vehículos de combustión ha sido ampliamente estudiada. Los vehículos eléctricos aventajan claramente a los de combustión, aunque este efecto positivo depende sobre todo de cómo se genera la energía empleada para producir el vehículo (especialmente la batería) y qué fuente de energía se utiliza para cargar la batería. En Alemania, donde cerca del 40% de la combinación energética proviene del carbón y el 30% de fuentes renovables, un automóvil eléctrico de tamaño medio debe recorrer entre 125.000 y 219.000 km para igualar las emisiones de CO<sub>2</sub> de un automóvil diésel, y entre 60.000 y 127.000 km si lo comparamos con un automóvil de gasolina<sup>6,7</sup>. Algo parecido sucede en los Estados Unidos, pero es menos

pronunciado en Francia, que utiliza energía nuclear, o Noruega, donde se recurre a la energía regenerativa; son dos países en los que, dada una vida útil de 150.000 km, dicha paridad puede alcanzarse a los 40.000 km con un vehículo eléctrico de tamaño medio. El ciclo de vida total de las emisiones de CO<sub>2</sub> en estos países es de unos 70 a 80 g de CO<sub>2</sub> por km para los vehículos eléctricos, lo que contrasta con los 190 g de CO<sub>2</sub> por km de Alemania<sup>8</sup>. Un vehículo de combustión europeo promedio emite más de 250 g de CO<sub>2</sub> por km, mientras que su contrapartida eléctrica emite, en las condiciones actuales, 130 g de CO<sub>2</sub> por km, lo cual representa casi la mitad (gráfico 4).

Teniendo en cuenta el ciclo de vida de los automóviles en su conjunto, un estudio reciente determinó que, con las actuales intensidades de carbono de la generación de electricidad, los vehículos eléctricos ya producen menos emisiones que los vehículos de combustión en la mayor parte del mundo<sup>9</sup>.

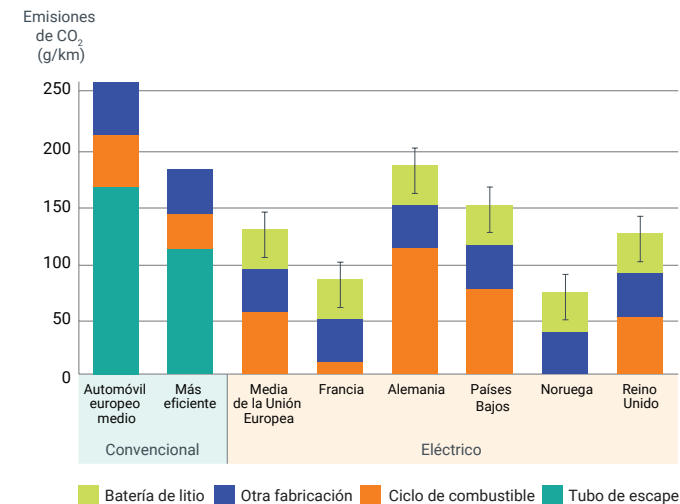


Gráfico 4: Emisiones de los vehículos eléctricos y convencionales durante su ciclo de vida (más de 150.000 km) en Europa en 2015<sup>7</sup>.

Los países continuarán ampliando la cuota de electricidad de fuentes renovables, lo que aumentará la ventaja de los vehículos eléctricos sobre los de combustión. Esta ventaja puede acrecentarse aún más si la producción del vehículo y su batería emplean energía renovable y materiales reciclados. Algunos fabricantes automovilísticos ya han dado pasos en esta dirección.

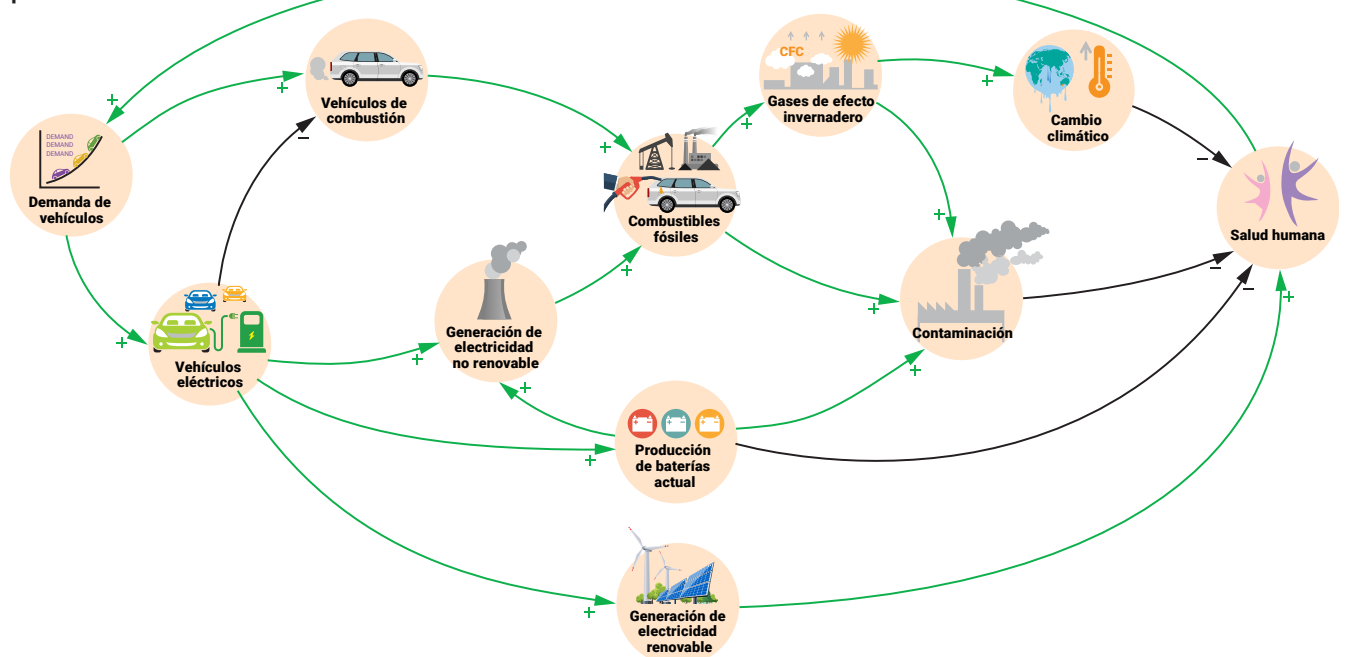
### Huella ambiental

Además de las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan a nuestro clima, los vehículos eléctricos tienen otros efectos ambientales que expondremos aquí, sin perder de vista que, en el caso de los vehículos de combustión, el impacto de la extracción de petróleo —como la contaminación del medio ambiente y el consumo de energía requerido para su transporte y refinamiento— representa asimismo una carga importante.

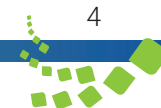
### • Componentes o minerales

La atención suele limitarse al litio, pero es preciso tener en cuenta también otros elementos de las baterías, como el cobalto, el níquel y el grafito. Las baterías de un turismo de tamaño pequeño o medio pesan en torno a 200 o 300 kg y tienen una capacidad de 30 a 45 kWh. Dependiendo de su tipo, la batería estará compuesta por una cantidad de entre 5 y 80 kg de litio, de 8 a 20 kg de cobalto, hasta 50 kg de grafito y 100 kg de níquel<sup>3,10,11</sup>.

### Una perspectiva desde el pensamiento sistémico



Bucles causales predominantes en la demanda de vehículos particulares y posibles alternativas. La demanda impulsa la producción y el suministro de vehículos. Los vehículos de combustión consumen combustibles fósiles contaminantes que generan gases de efecto invernadero y agravan el cambio climático, lo que a su vez perjudica a la salud humana. Los vehículos eléctricos, si se construyen y utilizan empleando fuentes de energía renovables y componentes reciclables — como, por ejemplo, las baterías— contribuirán a mejorar la salud humana. Esta perspectiva conduce, por su parte, a un refuerzo más sostenible de la demanda de vehículos. La influencia (+) se refuerza y va en la misma dirección; la influencia (-) se equilibra y va en la dirección opuesta.



La mayoría de los vehículos eléctricos utilizan imanes permanentes de neodimio, hierro y boro que contienen hasta un 1 kg de neodimio<sup>12</sup> y hasta 100 g de disprosio<sup>13</sup>, además de praseodimio. En 2015, la mitad de la demanda mundial de tierras raras se debió a estos minerales.

• **Repercusiones ambientales**

Sin unas políticas y medidas claras, la producción y el uso de vehículos eléctricos podrían traer consigo un aumento de la toxicidad para los seres humanos, causar ecotoxicidad y eutrofización en aguas dulces y provocar el agotamiento de metales. Estas consecuencias se derivan en gran medida de la cadena de suministro de los vehículos. Las evaluaciones del ciclo de vida demuestran que la producción de las baterías es la fase responsable en mayor medida de dichas consecuencias<sup>14-17</sup>. El tipo de reciclaje también es importante. Deberían adoptarse nuevas políticas para acelerar la investigación de nuevos tipos de batería con una huella menor. La cantidad necesaria de los minerales más importantes para las baterías de los vehículos eléctricos pasará de 200.000 toneladas en 2018 a 7.100.000 toneladas en 2030 (gráfico 5)<sup>18</sup>.

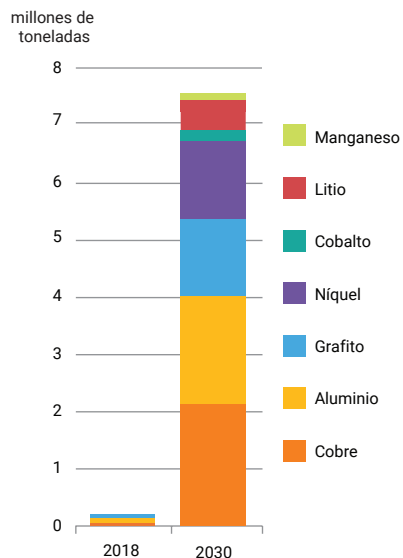


Gráfico 5: Demanda de metales y materiales de las baterías de iones de litio en turismos eléctricos<sup>18</sup>.

Las operaciones mineras intensivas tienen un impacto indudable en el medio ambiente circundante, como el drenaje ácido de las minas, la contaminación del agua, la rotura de presas (con las consiguientes inundaciones), la producción de residuos, la contaminación del aire, la erosión y la contaminación del suelo, el abastecimiento de agua, la destrucción de ecosistemas, las emisiones de radiación y el vertido submarino o fluvial de relaves<sup>19</sup>. Todos estos aspectos deberían estar mejor regulados. Existen numerosos informes sobre las consecuencias negativas de la extracción de minerales para vehículos eléctricos —como el litio<sup>20-22</sup>, el níquel<sup>23,24</sup>, el cobalto<sup>25,26</sup> o el grafito<sup>27</sup>— que describen su impacto sobre la población y el medio ambiente locales.

En el caso del litio, por ejemplo, se necesitan entre 250 y 750 toneladas de materiales ricos en litio para producir una tonelada de litio<sup>28</sup>. Según un informe, “con cada tonelada de metales raros extraída se liberan entre 9600 y 12 000 metros cúbicos de gases residuales que contienen polvo concentrado, ácido fluorhídrico, dióxido de azufre y ácido sulfúrico.

También se producen aproximadamente 75 metros cúbicos de aguas residuales ácidas, además de una tonelada de residuos radiactivos<sup>29</sup>. Esto último se debe a la frecuente asociación de torio y uranio radiactivos con estas tierras raras.

Algunos metales proceden de pequeñas minas que apenas cuentan con medidas de protección del medio ambiente y donde los trabajadores, algunos de los cuales son niños, utilizan equipos muy deficientes<sup>26</sup>. Es necesario aplicar nuevas políticas para proteger la salud de los trabajadores de las minas y erradicar el trabajo infantil.

Extraer el mineral en bruto de la tierra es tan solo una pequeña parte de la producción de tierras raras. Transformarlas en productos comerciales constituye el aspecto más importante de la producción y de las consecuencias ambientales y sociales asociadas.

• **Agua**

Además de las consecuencias habituales de la extracción (depósitos, polvo, generación de residuos tóxicos, etc.), una seria preocupación en los países donde se explota el litio son las grandes cantidades de agua que requiere su tratamiento<sup>10</sup>. Los datos de Bolivia y Chile sugieren que se necesitan entre 5 y 50 m<sup>3</sup> de agua dulce por cada tonelada obtenida de

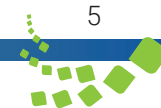
carbonato de litio apto para su uso en baterías<sup>30</sup>. Otras fuentes recogen cantidades muy superiores, de hasta 2.000 m<sup>3</sup><sup>22</sup>. Esta extracción tiene graves repercusiones para los agricultores locales<sup>21</sup>. En terrenos áridos (como el desierto de Atacama), las disputas por el agua entre las minas y los agricultores están provocando grandes tensiones. Se debe prestar especial atención al uso del agua y es preciso emplear nuevas técnicas de extracción.

• **Electricidad**

La buena noticia en este caso es que el efecto de la expansión del parque de vehículos eléctricos sobre el consumo de electricidad es bastante reducido durante la fase de uso de estos. En Alemania, por ejemplo, 10 millones de vehículos eléctricos implicarían un incremento del consumo eléctrico del 5% o de 30 TWh<sup>31</sup>. O, llevando este dato al extremo: si todo el kilometraje de todos los turismos de Alemania (aproximadamente 630.000 millones de km en 2015) fuera cubierto por automóviles eléctricos, la energía eléctrica requerida para ello “solo” equivaldría a un 20% del consumo eléctrico actual.



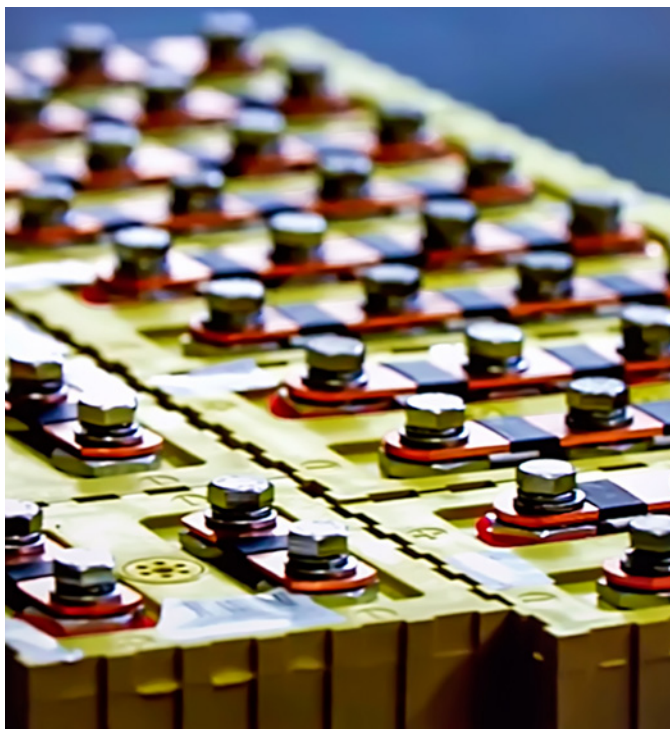
© Petair / Shutterstock.com



## ¿Qué medidas se están llevando a cabo?

### Proceso de producción de vehículos eléctricos

Debido a la creciente concienciación sobre los efectos incontrolados sobre el medio ambiente de las pequeñas explotaciones mineras, muchas de estas han sido cerradas en algunos países<sup>23,32</sup>. La mayor presión ejercida por las empresas y los convenios internacionales está dando lugar a una gestión de la extracción más eficaz en el ámbito ambiental y social. Conforme la eficiencia de las baterías aumenta, la relación entre la entrada y la salida de energía y materiales disminuye proporcionalmente, lo que da lugar a que la huella se reduzca de manera progresiva. En todo el mundo se están desarrollando numerosas tecnologías de batería diferentes que utilizan poco o ningún cobalto, por ejemplo, junto con sustancias menos nocivas, lo cual redundará en la mejora constante de la huella ambiental de los vehículos eléctricos.



Fabricación de baterías de litio para automóviles eléctricos ecológicos  
© Fishman64/Shutterstock

### Reciclaje de las baterías

Hasta 2011, solo se reciclaba una parte ínfima (menos del 1%) de las tierras raras y un 5% de las baterías de iones de litio utilizadas en Europa<sup>33-36</sup>, la mayoría de las cuales terminaban casi siempre en vertederos<sup>37</sup>, con la consiguiente pérdida de considerables recursos. Incluso en el caso de que las baterías de los vehículos eléctricos fueran a quedar obsoletas en los próximos años, sus procesos de reciclaje deberían organizarse y regularse lo antes posible.

Existen varias causas que explican por qué el reciclaje es tan escaso. Por ejemplo, las baterías se producen mediante diversos procesos químicos, lo que hace difícil establecer un sistema de reciclaje estandarizado. A esto se suma el coste del reciclaje, el bajo valor de los metales empleados y el bajo número de baterías de litio usadas que se recogen, además de la ausencia de incentivos<sup>38,39</sup>. Debido al coste del reciclaje, es cinco veces más caro comprar litio reciclado que adquirir litio nuevo<sup>39</sup>. Es preciso adoptar medidas correctivas que consigan que el reciclaje sea la norma. Aún así, algunas empresas sí reciclan las baterías de iones de litio, pero solo recuperan el cobalto y el níquel de las baterías debido a su gran valor<sup>10</sup>.

En este momento, los procesos más empleados consisten en calentar la batería a altas temperaturas (>600 °C), lo cual genera abundante CO<sub>2</sub> y solo permite una recuperación parcial y de baja calidad de los minerales<sup>40-42</sup>. Algunas empresas están mejorando el procedimiento mediante la destrucción mecánica, lo cual eleva las tasas de reciclaje, que terminarán por abrir el camino hacia un modelo de economía más circular. Antes de ser recicladas, las baterías también pueden utilizarse para la reserva y almacenamiento de energía o como fuente de alimentación de respaldo en antenas de telefonía móvil.

La Unión Europea cuenta con reglamentos que exigen que los fabricantes de baterías paguen los costes de la recogida, tratamiento y reciclaje de las baterías, pero solo a niveles mínimos. En el caso de los 11 millones de toneladas de baterías de iones de litio agotadas que será necesario reciclar de aquí a 2030<sup>35</sup>, los fabricantes automovilísticos y las empresas de reciclaje deberán colaborar para lograr que el proceso sea lo más económico y eficiente posible.

## ¿Cuáles son las implicaciones para la política?

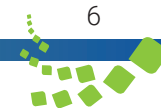


© zhang sheng/Shutterstock.com

### Cambios en nuestros hábitos de movilidad

Para paliar las repercusiones del transporte particular es necesario comenzar por reducir la demanda. Al contemplar la cuestión del transporte personal desde un punto de vista holístico, el uso del terreno y la ordenación urbana son de la máxima importancia si se desea diseñar un sistema de transporte que establezca una red eficaz de transporte público y movilidad blanda. Se necesitan nuevos conceptos de movilidad que podrían ser orgánicos (bicicletas y desplazamientos a pie) o eléctricos (metros, ferrocarriles y autobuses, bicicletas y patinetes o motocicletas eléctricas), pero no estar basados obligatoriamente en el uso de automóviles particulares.

Los gobiernos deberían poner el acento en reducir la movilidad particular en automóvil y ofrecer incentivos para usar el transporte público y promover la movilidad blanda. Un buen ejemplo son algunas ciudades de los Países Bajos o Tallin, en Estonia, donde el transporte público es gratuito. En Copenhague, el 62% de los ciudadanos se desplaza al trabajo, a la escuela o a la universidad en bicicleta<sup>43</sup>, y en Suiza el uso del ferrocarril está mucho más aceptado que en otros países.



### Transición rápida hacia energías y materiales renovables en la producción y el uso de automóviles

El paso de los vehículos de combustión a los vehículos eléctricos debe ir unido a una transición rápida hacia la producción de electricidad proveniente de fuentes renovables. Las mismas fuentes deberían emplearse para la producción de automóviles.

#### Extracción responsable

Debería establecerse un proceso de diligencia debida para las empresas en lo referido a la producción de todos los metales durante la fase de fabricación. Esto ya existe en los Estados Unidos para algunos minerales conflictivos, como el estaño, el wolframio y el oro. En la Unión Europea existen normativas comparables, pero no incluyen ciertos minerales, como el cobalto.

Debido a que se da por hecho que una parte considerable de las importaciones de minerales europeas proviene de explotaciones mineras mal gestionadas que podrían tener repercusiones ambientales negativas, es necesario que esta situación sea subsanada mediante políticas internacionales, europeas y nacionales. La ausencia de capacidades de gobernanza en algunos países, la necesidad de más recursos por parte de las empresas mineras para adoptar prácticas de gestión ambiental y el escaso nivel técnico de las explotaciones mineras más antiguas son esferas que es preciso mejorar en este sector. Dichas protecciones ambientales no solo beneficiarían al medio ambiente, sino también a la población más gravemente perjudicada por las extracciones.

Las empresas mineras deberían suscribir normas internacionales como la Iniciativa para Garantizar la Minería Responsable (Initiative on Responsible Mining Assurance), una iniciativa independiente cuya misión es mejorar el bienestar social y económico, reforzar la protección del medio ambiente y establecer una gobernanza equitativa.

#### Reutilización de las baterías

En la actualidad se está poniendo a prueba la reutilización de baterías de automóviles en forma de instalaciones de almacenamiento de electricidad en edificios. La pérdida de eficiencia, que disminuye la autonomía de un vehículo eléctrico, no es un problema importante cuando se agrupa un gran número de baterías para almacenar el excedente de energía de los sistemas fotovoltaicos instalados en las

azoteas. No obstante, hay quien afirma que las baterías con un alto contenido de cobalto deberían reciclarse de inmediato para ampliar las reservas de este mineral y evitar la sobreextracción<sup>44</sup>. Con el tiempo, la oferta de baterías usadas de vehículos eléctricos superará con mucho la cantidad que el mercado de segundo uso puede absorber<sup>45</sup>.

#### Reciclaje de las baterías

El sistema existente debe ser ampliado rápidamente para manejar la gran cantidad de residuos que se prevé que generará la adopción generalizada de los vehículos eléctricos durante los próximos años<sup>46,47</sup>. Esta transición debe ir acompañada del diseño de planes de producción, reutilización, recogida y reciclaje.

La UE ha respondido a los desafíos ambientales de las instalaciones de tratamiento de residuos mineros con la *Directiva sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas* en 2006 y la *evaluación del impacto ambiental* para nuevas actividades extractivas. Los problemas ambientales de las materias primas importadas se abordan en la *Iniciativa de las Materias Primas* de la Unión Europea, que promueve el “desarrollo sostenible” sin formular objetivos precisos ni instrumentos de políticas<sup>19</sup>. Es preciso desarrollar con urgencia la directiva europea relativa a las baterías en profundidad con el fin de dictar cuotas de reciclaje elevadas para los fabricantes de baterías y de vehículos eléctricos.

Sería lógico que cada fabricante gestionara plantas de reciclaje para sus propios productos, ya que son quienes mejor conocen la estructura y composición de sus baterías. Sería ideal que dichas plantas de reciclaje estuvieran ubicadas cerca de las fábricas de celdas para establecer un ciclo lo más cerrado posible. Tesla ya ha implementado este concepto en su Gigafactory 1, en Nevada (EE. UU.)<sup>31</sup>. Resultaría incluso más viable si fuera posible homologar y diseñar las baterías de manera que fuera sencillo reutilizar sus componentes y reciclar los materiales.

#### Promover la investigación y desarrollo de materiales alternativos

Sustituir las tierras raras utilizadas hoy en día en la fabricación de sistemas de propulsión y baterías podría ser una buena estrategia a largo plazo en aras del uso sostenible de metales esenciales<sup>48</sup>. La investigación y el desarrollo constantes en baterías han aumentado considerablemente su eficiencia

y reducido su coste. Es posible que, en el futuro, nuevas tecnologías de baterías palién en parte la huella negativa originada por el uso de tierras raras.

#### Gravar los automóviles más pesados

Reducir la huella ambiental de los automóviles —tanto eléctricos como de combustión— requiere, a su vez, reducir su tamaño y su peso. El carácter ecológico de un automóvil depende en gran medida del tamaño de su batería y del peso del automóvil. Construir automóviles pesados no solo es perjudicial para la eficiencia, sino que también supone un problema para la seguridad vial. La presencia de automóviles pesados en el tráfico influye en el diseño de los demás automóviles en lo que se refiere a la protección en caso de accidente, lo que promueve el uso de modelos más pesados en general.

Además, los vehículos eléctricos no deberían utilizarse para reducir las emisiones medias de la flota. Por ejemplo, en la legislación de la Unión Europea a partir de 2021, introducida gradualmente desde 2020, el objetivo medio de emisiones de los nuevos automóviles para todo el parque automovilístico de la Unión Europea será de 95 g de CO<sub>2</sub>/km. Sin embargo, los fabricantes están recurriendo a los vehículos eléctricos para rebajar el consumo medio de toda su flota. Esto significa que, a menos que se elija una marca que no fabrica vehículos de combustión, el consumidor que compra un vehículo eléctrico está permitiendo de forma indirecta que otro consumidor adquiera un potente vehículo utilitario deportivo. La legislación debería ampliarse para incluir no solo un promedio, sino también un objetivo de emisiones máximo que disminuya progresivamente. Los legisladores deberían tener en cuenta el peso gravando a los vehículos más pesados e incentivando los modelos de vehículos eléctricos y convencionales más pequeños.

#### Conclusiones

Los vehículos eléctricos pueden desempeñar un papel importante en la reducción de los gases de efecto invernadero emitidos por el transporte particular, además de ser silenciosos y ayudar a conservar la calidad del aire. Si fuera posible solucionar las cuestiones planteadas en este Informe Foresight, esto mejoraría en gran medida la huella de los vehículos eléctricos.

Los clientes que adquieren vehículos eléctricos están concienciados con la protección del medio ambiente. Comprar

un automóvil nuevo en este momento implica decidir qué tecnología de propulsión (de gasolina o eléctrica) se usará durante su vida útil, es decir, durante los próximos 20 años. Cuando los vehículos eléctricos sean la norma, los fabricantes más respetuosos con el medio ambiente gozarán de una ventaja comercial y posiblemente también disfruten de beneficios fiscales. En la actualidad, la fiscalidad persigue reducir las emisiones de los vehículos de combustión, pero el siguiente paso sería aprobar leyes que favorezcan a los vehículos eléctricos más ecológicos.

Por tanto, comercializar modelos con la huella medioambiental más baja posible también redundaría en beneficio de la industria del automóvil eléctrico.

## Agradecimientos

**Autor:** Stefan Schwarzer, PNUMA/GRID-Ginebra

**Revisores:** Rob de Jong, Alexander Körner, Pascal Peduzzi, Sandor Frigiyik, Angeline Djampou, Virginia Gitari, Samuel Opiyo

**Equipo de los Informes Foresight del PNUMA:** Alexandre Caldas, Sandor Frigiyik, Audrey Ringler, Erick Litswa, Pascal Muchesia

## Contacto

unep-foresight@un.org

## Descarga de responsabilidad

Las designaciones utilizadas y la presentación no implican la expresión de ningún tipo de opinión por parte del PNUMA ni de las agencias cooperadoras con relación a la condición jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área, o de sus autoridades, ni con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

© Mapas, imágenes e ilustraciones según se especifica.

## Bibliografía

1. Agencia Internacional de la Energía. *World Energy Outlook 2019*. París, 2019.
2. Gomer, M., Scheffer, S., Cazzola, P., 2019. "Electric vehicles. Tracking Clean Energy Progress" (documento en línea). <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles> (Consultado el 10 de agosto de 2019)
3. Swiss Resource Capital AG. "Battery Metals Report 2019: Everything You Need to Know about the Battery Metals Lithium, Cobalt and Vanadium". 2019. [https://download.resource-capital.ch/fileadmin/reports/2019/en\\_DS\\_BMR2019.pdf](https://download.resource-capital.ch/fileadmin/reports/2019/en_DS_BMR2019.pdf).
4. Agencia Internacional de la Energía. *Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility*. París: OCDE, 2019. <https://doi.org/10.1787/35fb60bd-en>.
5. Alpiq. "Electric vehicle market penetration in Switzerland by 2020". Lausana, 2009. [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/43/003/43003896.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/43/003/43003896.pdf). 6. Held, M., Graf, R., Wehner, D., Eckert, S., Faltenbacher, M., Weidner, S., et al. "Abschlussbericht: Bewertung der Praxistauglichkeit und Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen". Berlin: Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH), 2016. <https://edocs.tib.eu/files/e01fn16/871331055.pdf>
7. Jungmeier, G., Canella, L., Pucker-Singer, J. y Beermann, M. "Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen". 2019.
8. Hall, D. y Lutsey, N. "Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-cycle Greenhouse Gas Emissions". Consejo Internacional de Transporte Limpio, 2018.
9. Knobloch, F., Hanssen, S.V., Lam, A., Pollitt, H., Salas, P., Chewprecha, U., et al. "Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time". *Nature Sustainability*, 3, 2020, págs. 437 a 447. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7>.
10. Persson, A. y Öman, D. "Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles: Sustainable to what extent?". Real Instituto de Tecnología de Suecia, 2018. <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216809/FULLTEXT01.pdf>
11. Del Maestro, A. y van Oorschot, J. "The Outlook for electric vehicles. Strategy and PwC", junio de 2018.
12. VHM Limited. "Rare Earths". *VHM Limited*, 2018. <https://www.vhmld.com.au/products/rare-earth/>.
13. East, A. "Investors toast rare earths as electric cars drive 'magnet metals' demand". *Stockhead*, 30 de enero de 2018. <https://stockhead.com.au/resources/investors-toast-rare-earth-as-electric-car-demand-drives-magnet-metals/>
14. Cusenza, M. A., Bobba, S., Ardenne, F., Cellura, M. y Di Persio, F. "Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles". *Journal of Cleaner Production*, vol. 215, 2019, págs. 634 a 649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.056>.
15. Bicer, Y. y Dincer, I. "Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles". *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 132, 2018, págs. 141 a 157. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.036>.
16. Matheys, J. y Autenboer, W. V. "SUBAT: Sustainable Batteries. Work package 5: Overall Assessment. Final Public Report". 2005. <http://etec.vub.ac.be/publications/2005Matheys215.pdf>.
17. Zackrisson, M., Avellán, L. y Orlenius, J. "Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles - Critical issues". *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, núm. 15, 2010, págs. 1.519 a 1.529. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.004>.
18. Bloomberg New Energy Finance. "Electric Vehicles Outlook 2018". 2018. <https://bnf.turtl.co/story/evo2018>.
19. Dolega, P., Degreif, S., Buchert, M. y Schüler, D. "Outlining Environmental Challenges in the Non-Fuel Mining Sector". Informe de políticas de STRADE núm. 04/2016, 2016. [http://stradeproject.eu/fileadmin/user\\_upload/pdf/PolicyBrief\\_04-2016\\_Sep2016\\_FINAL.pdf](http://stradeproject.eu/fileadmin/user_upload/pdf/PolicyBrief_04-2016_Sep2016_FINAL.pdf).
20. Frankel, T.C. y Whoriskey, P. "Tossed aside in the 'white gold' rush: Indigenous people are left poor as tech world takes lithium from under their feet". *The Washington Post*, 19 de diciembre de 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/tossed-aside-in-the-lithium-rush/>.
21. Katwala, A. "The spiralling environmental cost of our lithium battery addiction". *Wired UK*, 5 de agosto de 2018. <https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteries-environment-impact>.
22. Merchant, E.F. "Lithium-ion battery production is surging, but at what cost?". *Greentech Media*, 20 de septiembre de 2017. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/lithium-ion-battery-production-is-surging-but-at-what-cost>.
23. Cruz, E.D. y Serapio, M. Jr. "Philippines to shut half of mines, mostly nickel, in environmental clampdown". *Reuters*, 2 de febrero de 2017. <https://www.reuters.com/article/us-philippines-mining/philippines-to-shut-half-of-mines-mostly-nickel-in-environmental-clampdown-idUSKBN15H0BQ>.
24. Opray, M. "Nickel mining: the hidden environmental cost of electric cars". *The Guardian*, 24 de agosto de 2017. <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/24/nickel-mining-hidden-environmental-cost-electric-cars-batteries>.
25. Frankel, T.C. "The cobalt pipeline. Tracing the path from deadly hand-dug mines in Congo to consumers' phones and laptops". *The Washington Post*, 30 de septiembre de 2016. <https://www.washingtonpost.com/graphics/business/batteries/congo-cobalt-mining-for-lithium-ion-battery/>.
26. Kelly, A. "Children as young as seven mining cobalt used in smartphones, says Amnesty". *The Guardian*, 19 de enero de 2016. <https://www.theguardian.com/global-development/2016/jan/19/children-as-young-as-seven-mining-cobalt-for-use-in-smartphones-says-amnesty>.
27. Whoriskey, P. "In your phone, in their air: A trace of graphite is in consumer tech. In these Chinese villages, it's everywhere". *Advanced Biofuels*, 3 de octubre de 2016. <https://advancedbiofuelsusa.info/in-your-phone-in-their-air-a-trace-of-graphite-is-in-consumer-tech-in-these-chinese-villages-its-everywhere/>.
28. Harper, G., Somerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stoklin, R., et al. "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles". *Nature*, vol. 575, págs. 75 a 86, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
29. Smith, T. "Rare Earthware: a journey to the toxic source of luxury goods". *The Guardian*, 15 de abril de 2015. <https://www.theguardian.com/environment/gallery/2015/apr/15/rare-earthware-a-journey-to-the-toxic-source-of-luxury-goods>.
30. Flexer, V., Baspineiro, C.F. y Galli, C.I. "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*, vol. 639, 15 de octubre de 2018, págs. 1.188 a 1.204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>.
31. Hohnhorst Brothers. "Die Elektrifizierung der Mobilität: Warum die Zukunft elektrisch fahren wird — und das schneller, als man denkt". Medium, 20 de noviembre de 2018. <https://medium.com/@lukasvh/die-elektrifizierung-der-mobilit%C3%A4t-warum-die-zukunft-elektrisch-fahren-wird-und-das-schneller-e21e0d98a5f6>.
32. Bloomberg. "Rare Earth Metals Electrified by China's Illegal Mining Clean-Up". *Bloomberg News*, 7 de septiembre de 2017. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-09-07/rare-earth-metals-electrified-by-china-s-illegal-mining-clean-up>.
33. Anderson, R. L. "A Multi-tactic approach to manage weed population dynamics in crop rotations". *Agronomy Journal*, vol. 97, núm. 6, 2005, págs. 1.579 a 1.583. <https://doi.org/10.2134/ agronj2005.0194>.
34. Amigos de la Tierra. "Lithium". 2013. [https://www.foeurope.org/sites/default/files/publications/13\\_fsheet-lithium-gb.pdf](https://www.foeurope.org/sites/default/files/publications/13_fsheet-lithium-gb.pdf).
35. Gardiner, J. "The rise of electric cars could leave us with a big battery waste problem". *The Guardian*, 10 de agosto de 2017. <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/10/electric-cars-big-battery-waste-problem-lithium-recycling>.
36. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Panel Internacional de Recursos. *Recycling Rates of Metals: A Status Report*. 2011. [http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8702/Recycling\\_Metals.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8702/Recycling_Metals.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
37. Mayyas, A., Steward, J. y Mann, M. "The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive lithium-ion batteries". *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 19, abril de 2019, e00087. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00087>.
38. Binneams, K., Jones, P. T., Blanpain, B., Van Gerven, P., Yang, Y., Walton, A., et al. "Recycling of rare earths: A critical review". *Journal of Cleaner Production*, vol. 51, 2013, págs. 1 a 22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.037>.
39. Christmann, P., Gloaguen, E., Labbé, J.-F., Melleton, J. y Piantone, P. "Global lithium resources and sustainability issues". En *Lithium Process Chemistry: Resources, Extraction, Batteries and Recycling*, págs. 1 a 40. Elsevier, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801417-2.00001-3>.
40. Boyden, A., Soo, V.K. y Doolan, M. "The environmental impacts of recycling portable lithium-ion batteries". *Procedia CIRP*, vol. 48, págs. 188 a 193, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.100>.
41. Ciez, R.E. y Whitacre, J.F. "Examining different recycling processes for lithium-ion batteries". *Nature Sustainability*, vol. 2, 2019, págs. 148 a 156. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0222-5>.
42. Romare, M. y Dahlöf, L. *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries*. Estocolmo: Instituto Sueco de Investigación sobre el Medio Ambiente, 2017.
43. Ciudad de Copenhague. "Et bedre København". *Københavns Kommune*, 2019. <https://www.kk.dk/etbedrekbh>.
44. Reaugh, L. "American Manganese: VRIC Conversation with President and CEO Larry Reaugh". MoonShot Exec, 25 de enero de 2018. <https://moonshotexec.com/american-manganese-vice-conversation-with-president-and-ceo-larry-reaugh/>.
45. Sun, S. I., Chipperfield, A. J., Kiaee, M. y Wills, R. G. A. "Effects of market dynamics on the time-evolving price of second-life electric vehicle batteries". *Journal of Energy Storage*, vol. 19, 2018, págs. 41 a 51.
46. Eckart, J. "Batteries can be part of the fight against climate change - if we do these five things". Foro Económico Mundial, 28 de noviembre de 2017. <https://www.weforum.org/agenda/2017/11/battery-batteries-electric-cars-carbon-sustainable-power-energy/>.
47. Calma, J. "The electric vehicle industry needs to figure out its battery problem". *The Verge*, 6 de noviembre de 2019. <https://www.theverge.com/2019/11/6/20951807/electric-vehicles-battery-recycling>.
48. Pavel, C. C., Thiel, C., Degreif, S., Blagoeva, D., Buchert, M., Schüler, D. y Tzimas, E. "Role of substitution in mitigating the supply pressure of rare earths in electric road transport applications". *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 12, 2017, págs. 62 a 72. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.01.003>.
49. Transport & Environment. "Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability". 2017. [https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017\\_10\\_EV\\_LCA\\_briefing\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_10_EV_LCA_briefing_final.pdf).



Para consultar la edición actual y las ediciones anteriores en línea y descargar los Informes Foresight del PNUMA, acceda a:

<https://wesr.unep.org/foresight>

