

ARGENTINA

ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

en el marco de las narrativas
de Transición Energética

Autores: Di Ruscio, Nicolás, Chemes Jorge, Bertinat Pablo, Arraña Ignacio,
Orecchia Martín.

Octubre 2024

Cita recomendada: Di Ruscio, N. et al. (2024). Análisis crítico sobre la movilidad eléctrica en el marco de las narrativas de transición energética. COOPESA. Taller Ecologista. GAIA

Alianza Global para Alternativas a los Incineradores GAIA

<https://www.no-burn.org/es/>

Taller Ecologista

<https://tallerecologista.org.ar/>

Cooperativa Energía, sociedad y Ambiente – COOPESA

<https://coopesa.ar/>



El presente trabajo representa solo el posicionamiento de los autores del trabajo y no necesariamente de las instituciones que impulsan la iniciativa.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución

No Comercial, Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



1. INTRODUCCIÓN	5
2. TRANSICIONES ENERGÉTICAS	8
2.1. CRECIMIENTO, DESIGUALDAD Y CRISIS CLIMÁTICA.....	8
2.2. PERÍODOS DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA GLOBAL.....	9
2.3. TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y SUS NARRATIVAS.....	12
2.3.1. Transición energética corporativa.....	12
2.3.2. Transición energética popular.....	15
3. MOVILIDAD ELÉCTRICA	19
3.1. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	19
3.1.1. Vehículo eléctrico de baterías (o battery electric vehicle BEV).....	21
3.1.2. Vehículo eléctrico de pila de hidrógeno (o fuel cell electric vehicle FCEV).....	21
3.1.3. Vehículo eléctrico de autonomía extendida (o extender-range electric vehicles EREV).....	22
3.1.4. Vehículo híbrido enchufable (o plug-in hybrid electric vehicle PHEV).....	22
3.1.5. Vehículo híbrido no enchufable (o hybrid electric vehicle HEV).....	23
3.1.6. Vehículo híbrido suave (o mild hybrid MHV).....	24
3.1.7. Vehículo híbrido mecánico con tracción eléctrica (HMEV).....	24
3.2. MOVILIDAD EN ARGENTINA	26
3.2.1. Producción de vehículos eléctricos.....	26
3.2.2. Capacitación en electromovilidad.....	26
3.2.3. Infraestructura de carga para EVs.....	26
3.2.4. Reglamentaciones y disposiciones.....	27
3.2.5. Normativas y leyes.....	27
3.3. MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL MUNDO Y EN AMÉRICA LATINA	28
3.3.1. América Latina.....	28
3.4. NOCIONES BÁSICAS SOBRE ACUMULACIÓN ELÉCTRICA PARA MOVILIDAD: BATERÍAS.	33
3.4.1. Batería de plomo-ácido (PB-ácido).....	34
3.4.2. Batería de níquel-cadmio (NiCd).....	34
3.4.3. Batería de níquel-hierro (NiFe o de Edison).....	34
3.4.4. Batería de níquel-hidruro metálico (NiMH).....	34
3.4.5. Baterías de Litio.....	35
3.5. ACUMULACIÓN DE ENERGÍA A ESCALA DE RED ELÉCTRICA	38
3.5.1. Estado del almacenamiento en baterías (BESS) en América Latina.....	40
3.6. CADENA DE VALOR DE LAS BATERÍAS	42
3.6.1. Materias primas.....	42
3.6.2. Ensamblaje de celdas.....	44
4. RECICLADO Y SEGUNDA VIDA DE BATERÍAS DE LITIO	45
4.1. SITUACIÓN A NIVEL MUNDIAL.....	45
4.2. SITUACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.....	46
4.3. RESPONSABILIDAD EXTENDIDA DEL PRODUCTOR.....	47
4.4. ACTUALIDAD DEL RECICLADO Y REUTILIZACIÓN.....	48
4.5. ECONOMÍA CIRCULAR.....	49
4.6. RECICLADO Y REUTILIZACIÓN.....	49
4.6.1. Pirometalurgia con tratamiento hidrometalúrgico posterior.....	50
4.6.2. Procesamiento mecánico con posterior tratamiento metalúrgico de masa negra.....	51
4.6.3. Reciclaje directo.....	51
4.7. MARCOS NORMATIVOS.....	52
4.7.1. América Latina.....	52
4.7.2. El Mundo.....	53
4.8. FUTURO DEL RECICLADO Y REUTILIZACIÓN.....	58
5. CONSIDERACIONES FINALES	60
5.1. MOVILIDAD ELÉCTRICA, CONSUMO DE ENERGÍA Y ABASTECIMIENTO.....	61
BIBLIOGRAFÍA	67

Figuras

Figura 1: Tipo de movilidad en el mundo. Fuente: citiesmoving.com	6
Figura 2: Movilidad en continentes. Fuente: citiesmoving.....	6
Figura 3: Movilidad en Argentina. Fuente: citiesmoving.....	7
Figura 4: Emisiones mundiales de CO ₂ eq por sector.....	8
Figura 5: Etapas energéticas.....	9
Figura 6: Principales fuentes y formas de conversión de energía.....	10
Figura 7: Consumo de energía mundial.....	11
Figura 8: Consumo de energía mundial.....	11
Figura 9: Matriz energética de ALyC (2022).....	12
Figura 10: Flujos de exportación importación de H ₂ v.	14
Figura 11. Flujo de madera balsa para aspas de aerogeneradores	14
Figura 12: Minerales necesarios para energías renovables y vehículos eléctricos.	16
Figura 13: Cuello de botella de los minerales para la transición energética.	17
Figura 14: Extracción de minerales, producción y consumo de tecnologías para la TE.....	17
Figura 15: Grado de electrificación de vehículos eléctricos.....	19
Figura 16: Eficiencia equivalente “del tanque a las ruedas” (ICE, HEV)..	20
Figura 17: BYD Atto 3 EV.....	21
Figura 19: Nikola Tre FCEV.	21
Figura 19: BMW I3 EREV.....	22
Figura 21: KIA Sorento PHEV.....	23
Figura 22: Toyota Prius HEV.	23
Figura 23: Ford Focus MHEV.....	24
Figura 24: Locomotora Diesel-Eléctrica HMEV.....	25
Figura 25: Nissan X-Trail e-Power.....	25
Figura 26: Ciudades censadas por C40 Cities.	30
Figura 27: Crecimiento de autobuses eléctricos en las ciudades censadas.	31
Figura 28: Proyección de demanda por tipo de autobús.....	32
Figura 29: Proyección de autobuses eléctricos por país.	32
Figura 30: Modelos de negocio de autobuses eléctricos relevados en América Latina.	33
Figura 31: Diferentes formas constructivas de celdas de iones de litio.	36
Figura 32: Modos de integración de celdas en un paquete de baterías.	36
Figura 33: Paquete de baterías con diseño cell-to-pack empleando celdas prismáticas..	37
Figura 34: Paquete de baterías con diseño cell-to-pack empleando celdas cilíndricas.....	37
Figura 35: Batería estructural conformada por elementos cilíndricos.	38
Figura 36: Batería estructural conformada por elementos prismáticos tipo “blade”.	38
Figura 37: Crecimiento anual de almacenamiento en baterías a escala de red eléctrica 2017-2022.....	39
Figura 38: Cadena de valor de las baterías de iones de litio para EVs.	42
Figura 39: El concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP)..	47
Figura 40: Cumplimiento individual de la responsabilidad física por baterías usadas.....	47
Figura 41: Cumplimiento colectivo de la responsabilidad física por baterías de desecho involucrando a una Organización de Responsabilidad del Productor.....	48
Figura 42: Diagrama de economía circular en baterías de litio. Fuente: CTI TOOL.....	49
Figura 43: Diagrama de flujo general de las principales vías de reciclaje de baterías de litio.	50
Figura 44: Cadena de suministro inversa optimizada para baterías de vehículos eléctricos.	52
Figura 45: Normativas sobre reciclado por estado en EUA.	55
Figura 46: Peras producidas en Argentina, empacadas en Tailandia, consumidas en EE. UU.	65
Figura 47: Infografía de resumen de algunos resultados obtenidos.....	66

1. Introducción

El presente informe fue realizado por la ONG Taller Ecologista y miembros de la cooperativa Energía, Sociedad y Ambiente (COOPESA) para la Alianza Global para Alternativas a la incineración (GAIA).

El informe se enfocará principalmente en la movilidad eléctrica y cómo esta se enmarca en las diversas narrativas de transición energética. De este modo, el segundo capítulo de este informe trabajará analizando las narrativas de transición energética, seguidamente abordará la situación de la movilidad eléctrica.

Para ello, en el capítulo 3 intentará dar cuenta de la diversidad de vehículos eléctricos que existen en el mercado con el objeto de comprender mejor de que se habla al momento de impulsar una política pública sobre movilidad eléctrica. Posteriormente se analizará el mercado argentino y regional respecto a capacidades de producción, estado de desarrollo infraestructural y normativo. También se abordará técnicamente los distintos tipos de acumuladores eléctricos existentes (baterías), sus composiciones, fabricación y usos en movilidad.

El capítulo 4 abordará lo concerniente a la posibilidad de extensión de vida útil, reciclado y disposición final de las baterías de litio particularmente. Para ello atenderá el estado de situación actual en el mundo y la región y describirá posibles procesos para el tratamiento.

Finalmente, en el capítulo 5 se realizará una reflexión sobre el impulso de la movilidad eléctrica en Argentina, atendiendo a que narrativa de transición energética está respondiendo y quiénes son los beneficiarios de este tipo de procesos.

Cabe aclarar que este informe se centrará en el análisis de las narrativas de la movilidad eléctrica en Argentina y no atenderá en profundidad a la problemática de la producción de litio y el impacto de la minería en las personas y territorios. Para ello se recomienda acceder a la producción realizada por el “Grupo de estudios en geopolítica y bienes comunes”¹ quienes abordan esta temática en profundidad y desde el territorio.

Por otro lado, en esta primera instancia el informe se enfoca principalmente en el uso de acumuladores eléctricos para movilidad, porque el tratamiento de las baterías de litio es más complejo que otras tecnologías. La cuestión de la movilidad en ciudades puede ser atendida desde diversas aristas como se desarrollará en este trabajo, pudiendo disminuir la cantidad de baterías de litio, el incentivo al uso del automóvil individual o atendiendo el tipo de movilidad de mercancías.

Simultáneamente a lo hasta aquí expuesto, la cuestión de movilidad puede dar cuenta de los entramados geopolíticos referidos a la dominación de los territorios con el fin de capturar bienes comunes claves en el futuro de la humanidad. Un simple paneo mundial de cómo se mueven las sociedades da cuenta de quiénes requieren minerales para la movilidad.

¹ geopolcomunes.org



Figura 1: Tipo de movilidad en el mundo. Fuente: *citiesmoving.com*

En rojo se aprecia la predominancia del automóvil individual, en azul el uso del transporte público y en amarillo la movilidad en bicicleta o medios similares.

Si observamos más detenidamente la movilidad en los continentes se puede apreciar como los países desarrollados poseen un mayor porcentaje de uso de automóvil individual, salvo algunos casos particulares.

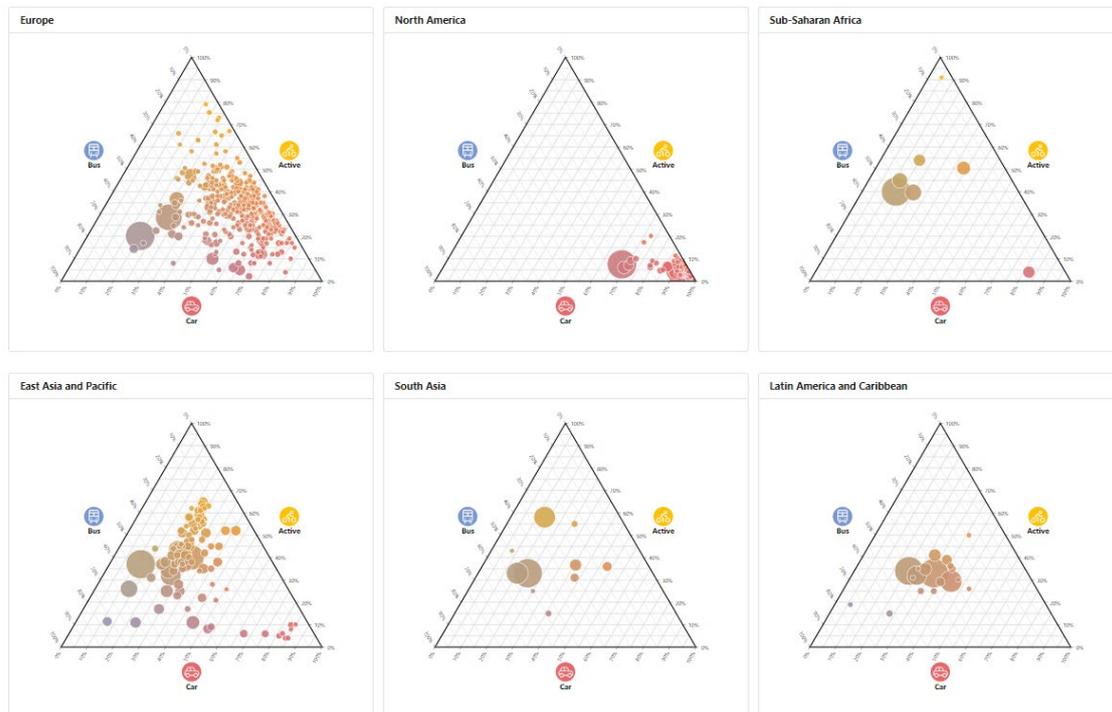


Figura 2: Movilidad en continentes. Fuente: *citiesmoving*

Particularmente en Argentina, el sistema de *citiesmoving* registra la movilidad de Buenos Aires, Rosario y ciudad de Santa Fe. Donde en estas ciudades, del mismo modo que las principales capitales de América Latina, se reparte en tercios el uso de la movilidad. El caso de Buenos Aires, 31% movilidad pública, 30% bicicleta o medios similares y 39%



automóvil individual. En el caso de Rosario aumenta la movilidad pública al 40%, 25% bicicleta y 35% automóvil individual.

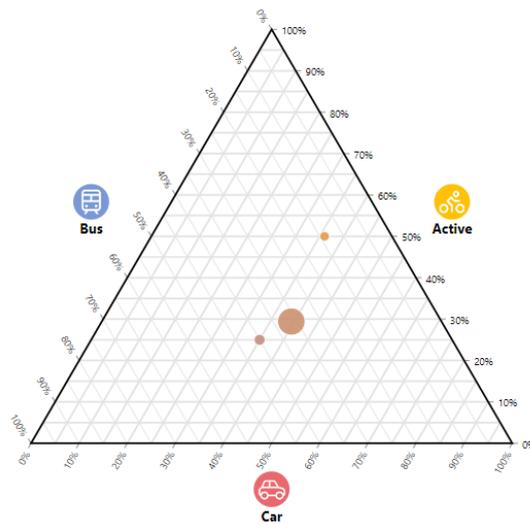


Figura 3: Movilidad en Argentina. Fuente: citiesmoving

Atender a estas situaciones y modos de movilizarse en el mundo es importante para la construcción de narrativas locales, justas y populares respecto a la movilidad y el rol de esta en la transición energética. Comprender las dinámicas locales referidas a la movilidad de personas y mercaderías, el potencial local y regional de bienes comunes, es una de las claves para posicionarse ante el avance neocolonialista, fundamentado en la transición energética del norte global.





2. Transiciones energéticas

2.1. Crecimiento, desigualdad y crisis climática.

Actualmente el discurso dominante asocia la transición energética a los procesos de descarbonización para mitigar el cambio climático. El sector energético es uno de los principales causantes del cambio climático de origen antropogénico debido al alto grado de consumo de combustibles fósiles. Tal como se muestra en la **Figura 4**, el sector energético es responsable (directa e indirectamente) del 73% de las emisiones de CO₂ equivalente, con una participación relevante del sector industrial, el transporte y el consumo en edificios. Por tanto, esta transición del discurso dominante implica reemplazar fuentes de energía de altas emisiones de gases de efecto invernadero a otras que generen menores emisiones, sumado a mecanismos de eficiencia energética.

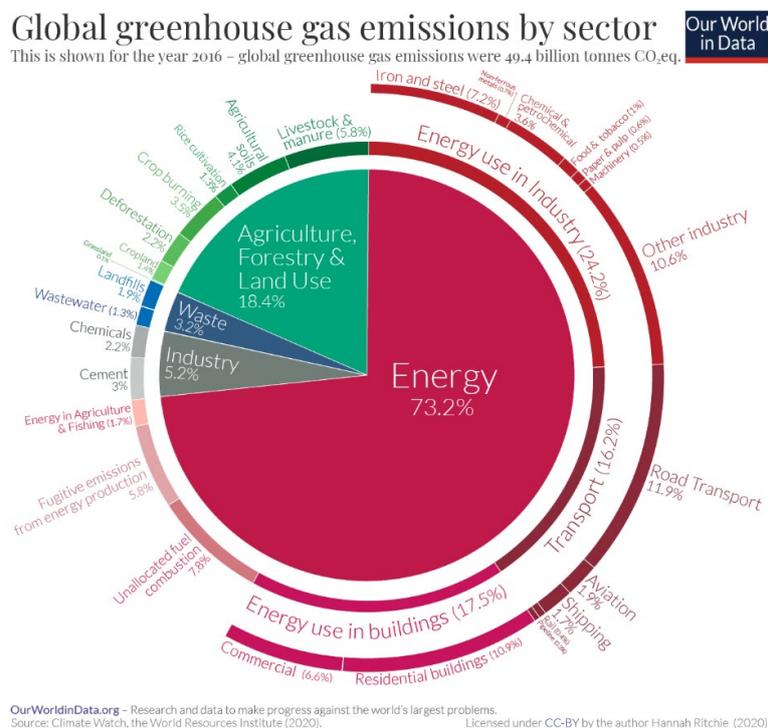


Figura 4: Emisiones mundiales de CO₂eq por sector. Fuente: ourworldindata.

En sus reportes globales de energías renovables de los últimos años IRENA (2020, 2022b) da cuenta de su escenario energético para no superar en 1,5°C la temperatura promedio a nivel mundial. Como línea base, en la actualidad se consumen aproximadamente 100 millones de barriles de petróleo por día, en este contexto, los escenarios para mantener las condiciones de vida en el planeta requieren en el año 2030 que la demanda caiga a 60 millones de barriles de petróleo por día, en el 2040, 41; y en el 2050, 22 millones de barriles. Una desaceleración de la demanda de casi el 80%. En este marco diversas narrativas pugnan por la construcción de sentido en relación con los modelos de desarrollo y su relación con la energía para imponer o co-construir escenarios de transición energética.

El término transición energética (TE) posee una característica polisémica y según da cuenta Araújo (2014) no existe una definición homogénea consensuada o aceptada. Así el término puede ser utilizado para describir un proceso de cambio histórico concreto



(social y económico) o también como un concepto analítico para explicar procesos de cambio socio-técnicos.

Como dan cuenta los investigadores Garrido y Recalde (2022, p. 20), “en general, las definiciones de transición energética se encuentran asociadas a cambios en las estructuras económicas (desde economías basadas en sectores primarios, a proceso de industrialización, y luego a economías con mayor participación del sector servicios), sociodemográficas (cambios en los patrones de urbanización, y estructura de la población), culturales (patrones de consumo energético, de bienes y otros servicios), ontológicos y tecnológicos. Además de múltiples combinaciones de todo lo anterior”.

La TE no es un concepto novedoso, ya que a lo largo de la historia de la humanidad se han dado distintas transiciones, las primeras de ellas principalmente marcadas por cambios de uso de combustibles (leña, viento y sol, a carbón, carbón a fósiles, etcétera) y, con ellas, el advenimiento de distintos artefactos (navegación de velas a motores, máquina de vapor, generador de energía eléctrica, etcétera) (Smil, 2010; Fernández Durán y González Reyes, 2014). Estos cambios de fuentes de energías también se realizaban en un proceso de transformación de los sistemas productivos, de transporte, urbanización, comunicación, entre otros. Por ello autores como Schot (2016) asientan estos procesos de transformación de gran alcance en la idea de transiciones profundas (*Deep transitions*).

2.2. Períodos de la transición energética global

A lo largo de la historia de la humanidad nos hemos relacionado de distinto modo con el ambiente y particularmente con la cantidad y tipo de energía que utilizamos. Algunos estudios (Fernández Durán & González Reyes, 2014; Smil, 2006, 2010, 2021) dividen el consumo de energía a lo largo de la humanidad en los siguientes periodos o etapas²: pre agrícola, agrícola, agrícola avanzada, pre industrial, industrial e industrial avanzada.

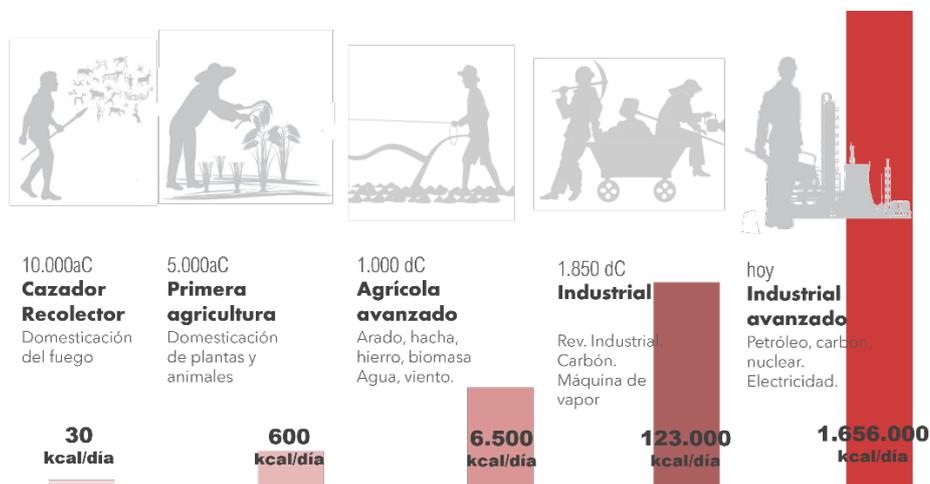


Figura 5: Etapas energéticas. Fuente: Elaboración propia a partir de (Fernández Durán & González Reyes, 2014).

Cada uno de estos períodos con la presencia dominante de alguna fuente particular de energía y alguna tecnología/artefacto asociado para su aprovechamiento (ver **Figura 6**).

² Aunque no todos las catalogan del mismo modo, se destaca la coincidencia en fuentes de energía y periodos.

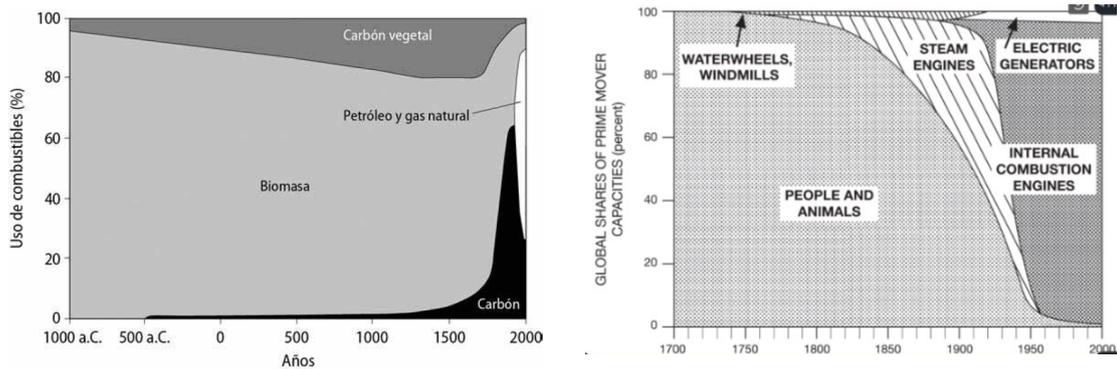


Figura 6: Principales fuentes y formas de conversión de energía.

Fuente: (Smil, 2006)

En la historia reciente, la TE a nivel mundial se destaca por una intervención de movimientos sociales ambientalistas o sindicalistas. Por ejemplo, en la década de 1970, en Alemania, la idea de TE aparece con fuerza a partir de los movimientos antinucleares y antibélicos (Brüggemeier, 2017; Fornillo, 2017) y, en la década de 1980, en Estados Unidos, en el movimiento de trabajadores de la industria química y petrolera, a partir de la crisis del petróleo de 1973 (Bertinat et al., 2020; Garrido y Recalde, 2022). En este caso en particular, se la denominó transición justa³. En los últimos años, diversos movimientos sociales trajeron a cuenta la adjetivación “justa” al concepto de transición energética, asociada a la justicia socio-ambiental y no solo al movimiento sindical⁴.

Hasta entrada la primera década de del siglo XXI, las conceptualizaciones de TE derivaban mayoritariamente de movimientos contrahegemónicos ambientalistas, principalmente centradas en el cambio climático de origen antropogénico y en las críticas a los modelos de desarrollo económicos basados en el crecimiento infinito. En simultáneo, y principalmente en los últimos quince años, las narrativas sobre la TE no solo se destacan en movimientos sociales, sino también en discursos de Estados, en corporaciones multinacionales, en la industria del petróleo y el gas, y en las agendas de investigación científica, entre otros (Bertinat et al., 2020, p. 2).

2.2. Consumo de energía y sus desigualdades

En la **Figura 7** se observa, en el período desde la revolución industrial a la actualidad, el crecimiento de la población mundial, el consumo de energía per cápita mundial y el consumo total de energía mundial. Se distingue un claro aumento exponencial en el consumo de energía y el dominio por parte de los combustibles fósiles, casi el 90% de las fuentes de energía utilizadas en la actualidad son no renovables.

³ La idea de una “transición justa” también aparece en el Preámbulo del Acuerdo de París de 2015, que hace referencia a la necesidad de tener “en cuenta los imperativos de una reconversión justa de la fuerza laboral y de la creación de trabajo decente y de empleos de calidad, de conformidad con las prioridades de desarrollo definidas a nivel nacional”(2015).

⁴ La investigadora Melissa Moreano aporta críticas desde los movimientos populares al concepto de transición justa, surgida de la contracumbre (cumbre de los pueblos) a la COP26 realizada en 2021. Moreano da cuenta de que en pos de la continuidad de los empleos derivados de la industria fósil se pierde el debate de que el trabajo hoy es racializado, feminizado, ilegalizado por inmigrantes, inestable o temporal (Moreano Venegas, 2021).

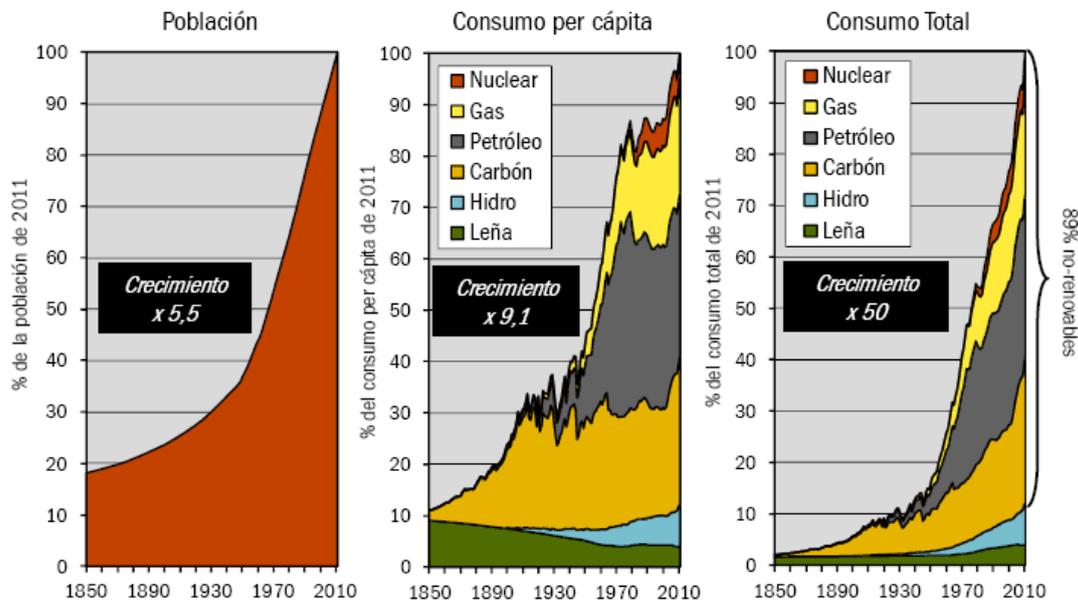


Figura 7: Consumo de energía mundial. Fuente: (Hughes, 2013).

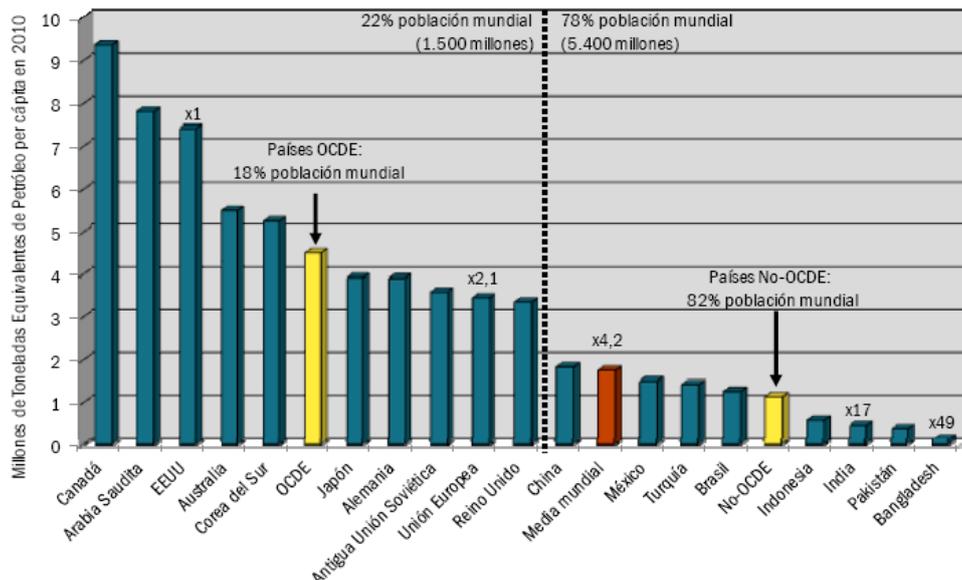


Figura 8: Consumo de energía mundial. Fuente: (Hughes, 2013).

Entre las distintas explicaciones al aumento del consumo de energía se encuentra la malthusiana, asociado al crecimiento de la población. En este sentido, es importante denotar un elemento relacionado a la equidad en el consumo de energía. De hecho, como se deduce de la **Figura 8**, si la población actual fuera una tercera parte, pero el consumo fuese el de un estadounidense promedio, la demanda de energía sería incluso mayor a la vigente. Así, la situación del consumo de energía no debería reducirse a la cantidad de personas en el mundo, además debería considerarse la notable brecha de consumo energético desigual entre países OCDE y no OCDE; entre centros y periferias.

Como da cuenta la **Figura 7** y **Figura 8**, entre 1850 y 2011 la población mundial creció 5,5 veces y el consumo total de energía se multiplicó por 50. En paralelo a este crecimiento exponencial del consumo energético global, se hicieron más desiguales las realidades de acceso y disponibilidad. De manera que, para el año 2011 un ciudadano estadounidense consumía 4,2 veces más energía



que un ciudadano medio mundial y 17 veces más que un habitante de la India (**Figura 8**). Los enormes niveles de desigualdad en el acceso refieren no solo en cantidad-uso de energía por habitante, sino también en las condiciones y posibilidad de disponer de este bien para lograr una vida digna (Hughes, 2013, p. 6).

Es importante resaltar que la matriz energética de América Latina y el Caribe (ALyC) es de las más renovables en términos porcentuales debido a la hidroelectricidad. OLADE en sus últimos informes (2023) da cuenta de una dependencia fósil (gas y petróleo) del 64% en su matriz primaria. Respecto a la demanda, es el sector transporte el que mayor energía consume con el 39%, seguido por la industria y el sector residencial con 28% y 16%, respectivamente.

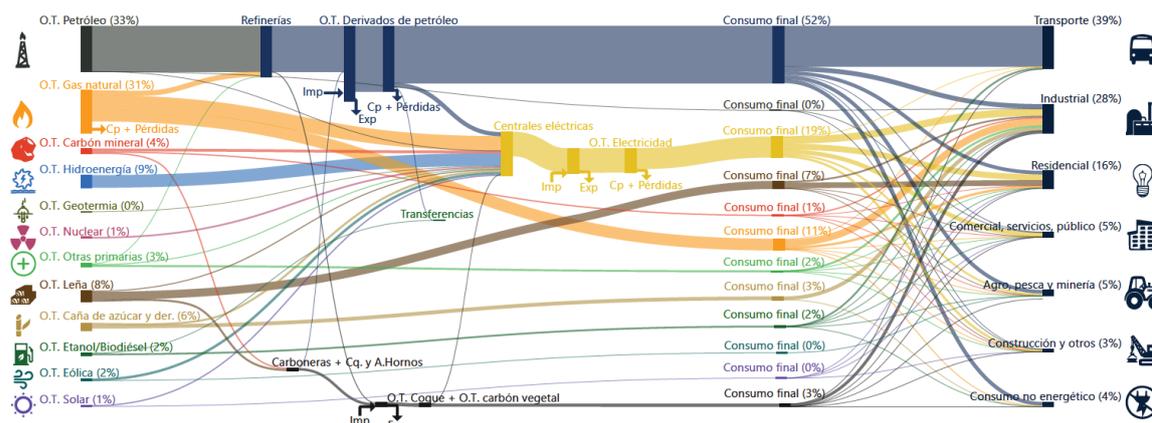


Figura 9: Matriz energética de ALyC (2022).

De este modo, pensar en la transición energética de ALyC implica pensar las dinámicas del transporte como eje central, ello lleva a reflexionar no solo sobre qué tipo de vehículo, sino que producimos, dónde, cómo y para qué transportamos y del mismo modo qué y cómo consumimos, así es necesario pensar sobre las lógicas de producción-consumo local.

2.3. Transición energética y sus narrativas

Aquí se desarrolla parte del trabajo realizado por los investigadores Bertinat y Chemes (2020; 2022) a partir del análisis de discurso de diferentes actores a cerca de las percepciones de transición energética. De este trabajo se sistematizaron dos narrativas, la de transición energética corporativa y popular.

El trabajo realizado por dichos investigadores generó un vínculo dialógico y diálogo de saberes con movimientos sociales que luchan por la justicia socio-ambiental que acuñaron los términos (Ricaldi Arévalo, 2020; Pacto Ecosocial del Sur, 2023), como también con sectores académicos (Svampa & Bertinat, 2022).

2.3.1. Transición energética corporativa

Las narrativas de la TE corporativa se motorizan a partir de concebir una crisis ambiental debido al cambio climático con una mirada de sustentabilidad débil (Gudynas, 2004). En este marco, estas narrativas fundan un nuevo ciclo de acumulación capitalista, lo que los investigadores Argento y Kazimierski (2021; 2022) denominan “acumulación por conservación y desfosilización”⁵.

⁵ Argento y Kazimierski para conceptualizar la acumulación por desfosilización toman la idea de acumulación por desposesión de Harvey (2004) donde la finitud territorial puso un freno a la expansión primitiva del mercado capitalista, la desposesión es la lógica por la cual se crearon nuevos mercados, cuya transición fue de una lógica extensiva a una intensiva. También articulan con la idea de acumulación por

La TE corporativa no es sólo empresarial. Esta narrativa la pueden impulsar distintos actores, como empresas multinacionales, Estados (países, provincias, regiones, municipios), instituciones y organizaciones que ven en este camino el único posible o, el más rápido, para responder a la urgencia de la crisis climática a partir de la descarbonización (Bertinat et al., 2020).

Desde la ecología política y según la clasificación de Martínez Allier (2011), estas narrativas se enmarcan en el universo del ecologismo de los ricos, particularmente en el culto a la ecoeficiencia o, según Svampa (2018), en la narrativa capitalista-tecnocrática. A partir de un discurso de urgencia inmediata ante el colapso ambiental, las narrativas de la TE corporativa responsabilizan a toda la humanidad por el cambio climático y no distingue responsabilidades ni grados de impacto en cuanto a las acciones a implementar para mitigarlo.

La TE corporativa coloca a la energía en la esfera del mercado y concibe sólo una dimensión física y mecanicista de ella, busca transformar solo la matriz energética (reemplazar fuentes fósiles por renovables), persigue maximizar la productividad económica (sin tener en cuenta otras dimensiones) de los proyectos de energías renovables e instalar grandes centrales de generación de energía en sitios geográficos donde el recurso es más abundante. Siendo la dinámica de subastas el modelo que domina las prácticas de proyectos de energías renovables en América Latina. De ello da cuenta el estudio “Subastas de Energía Renovable y Proyectos Ciudadanos Participativos: América Latina y el Caribe” (REN21, 2017), donde Brasil dio inicio a esta lógica en 2006, seguido por otros países. De los 42 países que componen la región, 12 usan actualmente subastas: Argentina, Belice, Brasil, Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Perú y Uruguay. El trabajo de REN21 explicita que América Latina está a la vanguardia de este tipo de dinámicas y que las mismas benefician a grandes corporaciones (REN21, 2017, p. 42).

Así, la TE corporativa apunta a dotar de energía a un modelo de desarrollo de crecimiento ilimitado, ya que su objetivo no es modificar las lógicas de consumo, sino sustituir fuentes de energía para seguir consumiendo y continuar con el movimiento de la maquinaria de concentración de riqueza y poder, con un marcado determinismo tecnológico.

Los proyectos y los escenarios de transición energética, locales, regionales y mundiales traen aparejado una compleja red de articulación de poder para acceder a recursos naturales necesarios para las tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía. En este marco, juegan un rol central la propiedad y el control de acceso a las fuentes energéticas, los materiales y las tecnologías necesarias.

Este acceso a materiales o fuentes energéticas se está desarrollando en el Sur Global con una marcada relación neocolonial por parte del Norte Global (Kucharz, 2021). Solo algunas de estas prácticas son la incipiente producción de hidrógeno verde en África o América Latina para su exportación a Europa (Proaño, 2021) (*Figura 10*), o el extractivismo de la madera balsa en Ecuador para la industria eólica (Bravo et al., 2021)

conservación de Büscher y Fletcher (2015), que en el marco de una crisis y limitaciones ambientales, se construyen estrategias con las que el capitalismo busca monetizar los recursos naturales aún no mercantilizados para su preservación. Con estos marcos y ante los límites biofísicos que plantea el cambio climático, “la acumulación por desfosilización se perfila como el mecanismo mediante el cual el capitalismo busca monetizar el desmantelamiento de su núcleo productivo fósil hacia otro totalmente renovado” (Argento & Kazimierski, 2022, p. 11).

(Figura 11), el triángulo del litio (Argento & Slipak, 2021), entre otras prácticas, donde la situación bélica entre Ucrania y Rusia aceleró estas prácticas neocolonialistas. Los trabajos publicados en el número 5 de la revista Energía y Equidad: Guerra, crisis y resistencias, documentan estas dinámicas.

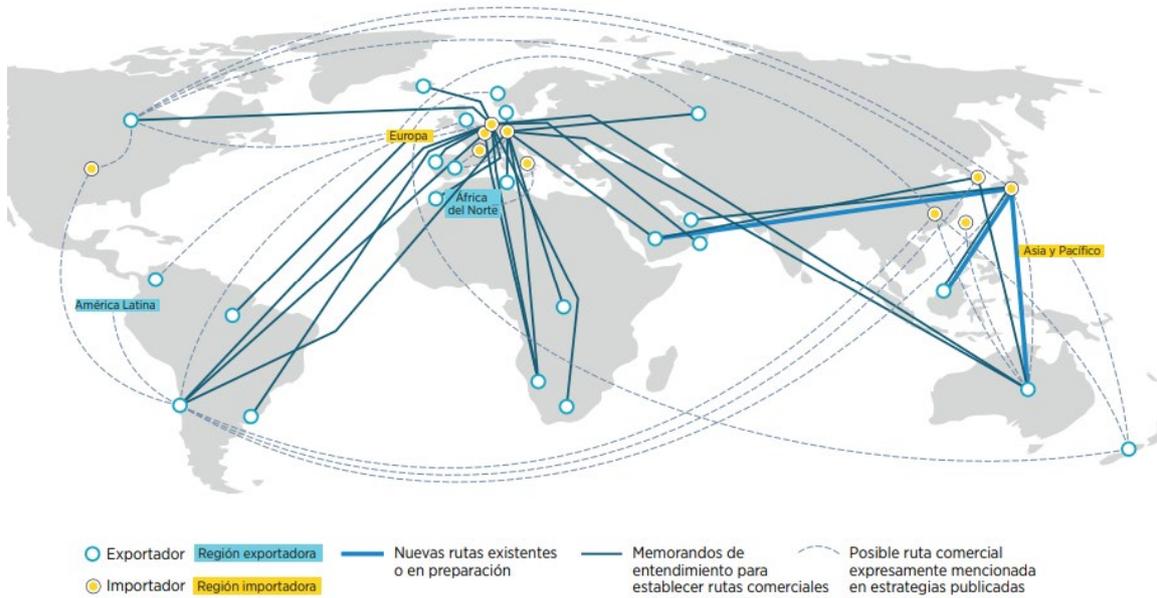


Figura 10: Flujos de exportación importación de H2v. Fuente: (IRENA, 2022a)



Figura 11. Flujo de madera balsa para aspas de aerogeneradores. Fuente: (Bravo, 2021)

Estas prácticas se encuentran en distintas manifestaciones, por ejemplo, el hombre más rico del mundo según Forbes (2024), Elon Musk, emite un tweet en 2020, posterior al golpe de estado en Bolivia de 2019, “¡Golpearemos a quien queramos! Asímelo” (“We will coup whoever we want! Deal with it”).

Por su parte la jefa del Comando Sur de Estados Unidos, Laura Richardson, mencionó en julio de 2022, la necesidad de “cuidar” los recursos estratégicos de la región, amenazados por China y Rusia. Además, en una entrevista del Atlantic Council (2023), el 19 de enero de 2023, sostuvo:

“(…) tuvimos una reunión por Zoom con los embajadores de la Argentina y Chile, y luego, también el vicepresidente de operaciones globales de Albemarle [empresa que opera en Argentina y Chile] para hablar sobre el litio (...) y cómo podemos ayudar, a quién más podemos traer a la mesa para ayudarnos a resolver este problema y eliminar a nuestros adversarios al formar equipo entre nosotros y con otros”.

Así, la transición energética corporativa se asienta en la idea del “desarrollo sustentable”, en continuar en el camino del crecimiento sin límites, intercambiando recursos fósiles por renovables y alta tecnología, sin modificar las lógicas de producción y consumo, ni cuestionar la distribución o el acceso a la energía de las poblaciones, o la participación ciudadana en los procesos de toma de decisión (Bertinat & Chemes, 2022, p. 136).

El fin último de los actores que impulsan esta visión de la transición energética es liderarla. Así lo expresa un representante de la empresa de energía danesa DONG Energy (Sykes, 2017):

“Nuestra ambición es impulsar la transición del sistema energético y liderar la transformación ecológica. Y eso no es solo un reto tecnológico, también es un reto humano (...) ¿Cómo conseguimos que el público para el que construimos nuestros parques eólicos o los que viven cerca de donde se instalarán acepten este cambio en su paisaje? (...) Necesitaremos que la gente adopte comportamientos o productos que son buenos para la sociedad y buenos para el medio ambiente, pero que no necesariamente tienen un beneficio directo y visible para los individuos cuyo comportamiento estamos pidiendo cambiar”.

Desde esta visión, no se cuestionan los conflictos socioambientales que se generan, sino que se busca cómo permear los valores culturales de las comunidades, imponiendo la perspectiva de las empresas para la transición energética.

2.3.2. Transición energética popular

La narrativa popular de la TE da cuenta de una crisis, pero en este caso no solo ambiental. Plantea una crisis civilizatoria o policrisis, enmarcada en el concepto de antropoceno y capitaloceno (Lander, 2011; Moore, 2016; Aráoz & César, 2016; Acosta, 2018; Svampa, 2019; Leff, 2021), donde el componente ambiental es uno más entre otros, una conjunción sinérgica de las fallas de la racionalidad de la modernidad: crisis económica y financiera; de seguridad y justicia; ecológica, ambiental, climática y epidemiológica; ontológica, moral y existencial. Así, el planteo de cambio requiere de una transición socioecológica (Svampa, 2022), donde la TE sea un elemento, un subsistema de un todo más complejo.

Desde la ecología política, la narrativa de TE popular se asienta sobre la idea de ecologismo de los pobres o ecologismo popular (Martínez Alier, 2021) con una mirada de sustentabilidad fuerte y superfuerte (Gudynas, 2004), y sobre la narrativa de transición socioecológica anticapitalista (Svampa, 2018). En este marco, existe la narrativa del colapso ambiental, de la necesidad de cambiar de forma urgente, pero también existe una diferencia en la relativización del tiempo o del modo de la transición energética para los pueblos del Sur global, fundado en las mayores responsabilidades de los países del Norte global en cuanto al aporte de gases de efecto invernadero: la denominada deuda climática.

Con ello, no fundamenta la necesidad de seguir consumiendo combustibles fósiles, sino que promueve la idea de que la velocidad de la transición debe propender a generar

condiciones de equidad socio-ambiental, con inclusión social y con proyectos de menor escala, para fomentar el desarrollo endógeno de proyectos con dinámicas de participación y democratización ciudadana de la energía, que no prioricen únicamente maximizar los rendimientos económicos.

Así, proyectos de menor escala de potencia, próximos a los centros de consumo son implementados por hogares, pymes, cooperativas y/o estados provinciales o municipales. Muestra de alguna de estas iniciativas las releva la revista energía y equidad en su número titulado “Comunidades energéticas. Energías comunitarias” (2023) o el trabajo realizado por Juan Pablo Soler en Colombia (2023).

Esta narrativa plantea una agenda de decrecimiento del consumo de energía a nivel global con justicia socioambiental ⁶, entiende que no es factible una economía de crecimiento ilimitado, siendo que existen estudios que dan cuenta de la finitud de los recursos naturales para la fabricación de tecnología de energías renovables (Valero, 2019; IEA, 2021; Turiel, 2021), los denominados minerales críticos. Según Alicia Valero (2019) los artefactos de energías renovables requieren de los materiales que se observan en la **Figura 12** y la demanda para lograr emisiones neutras se encuentra sobrepasada respecto a las reservas según se muestra en la **Figura 13**.

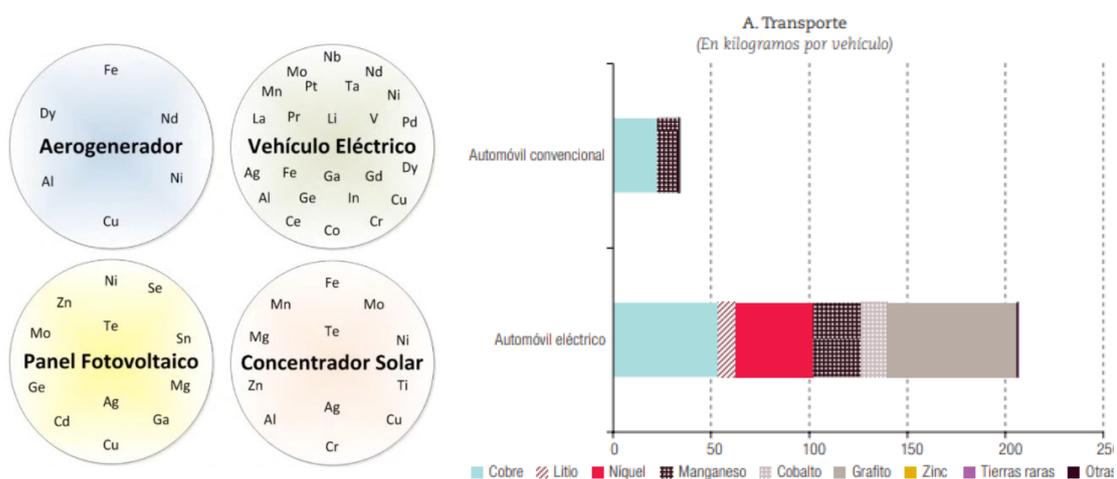


Figura 12: *Minerales necesarios para energías renovables y vehículos eléctricos.*
Fuente: (Valero, 2019).

⁶ Decrecimiento diferenciado para distintas regiones y contextos, habiendo sociedades que tengan que aumentar su consumo de energía.

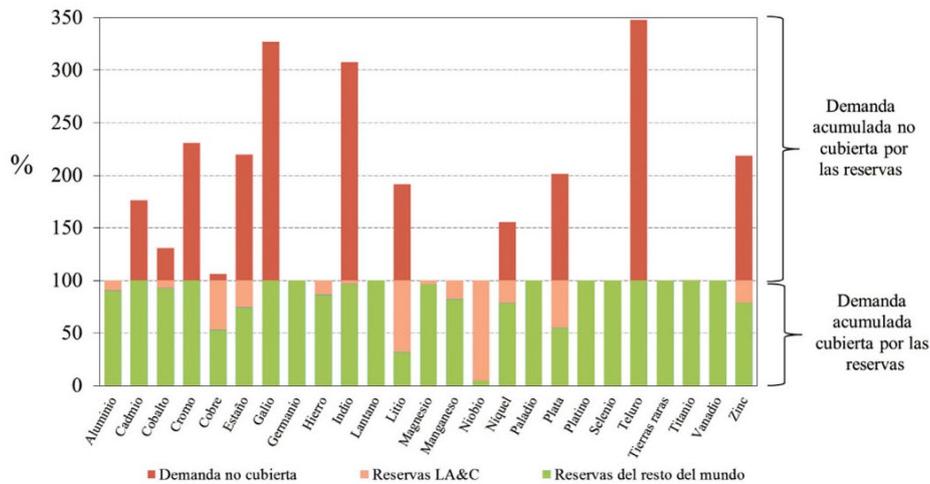


Figura 13: Cuello de botella de los minerales para la transición energética. Fuente: (Valero et al., 2018).

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) arroja cifras considerables de extracción de minerales para lograr emisiones cero a 2050, en este sentido plantea que es necesario multiplicar 42 veces la extracción de litio, 25 la de grafito, 21 la de cobalto, 19 la de níquel y 7 veces las tierras raras (IEA, 2021, p. 11).

Además, se destaca que en el Sur global solamente se realiza la extracción de materias primas y el Norte global es donde se procesan y consumen estos minerales.

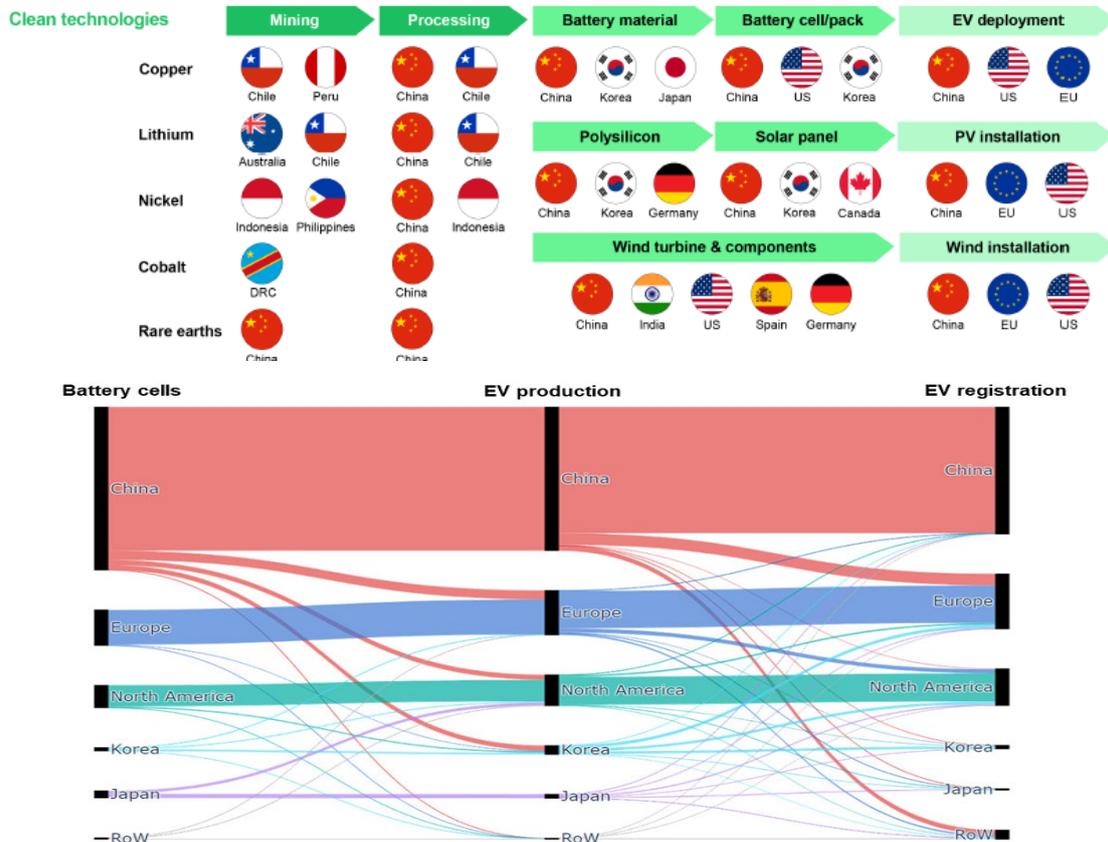


Figura 14: Extracción de minerales, producción y consumo de tecnologías para la TE.

Más allá de los límites físicos, si hipotéticamente hubiera minerales infinitos, según el investigador Simon Michaux (2021) no alcanzan los tiempos para construir las centrales de energías renovables para lograr reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que mantendrían las condiciones de vida en el planeta, hacen falta 221.594 nuevas plantas eléctricas para un mundo como el actual 100% sin fósiles. Para tomar dimensión de esta cantidad, en 2018 había 46.423 plantas en todo el planeta. Planificar una transición energética contemplando nuevas lógicas de producción y consumo que logren condiciones de vida digna debe ser, para la TE popular, parte de los ejes de discusión.

La TE popular entiende la energía como satisfactor de necesidades básicas y, con ello, la coloca en la esfera de los derechos y como herramienta de distribución de la riqueza, dado que las pobrezas energéticas son una variable que afecta a gran parte de los habitantes del Sur global. Por lo que habrá países que deberán decrecer drásticamente y otros crecer en su consumo de energía, y esto se repite al interior de cada país.

En este contexto, la transición popular no es solo física (de fuentes de energía, de matriz energética), sino del sistema energético (Bertinat et al., 2014), entendido como un sistema complejo, heterogéneo y conformado por múltiples elementos, además de los físico-artefactuales, y teniendo en cuenta la existencia de subsistemas económicos, sociales, ambientales, demográficos, infraestructurales, culturales, ontológicos, etc. Esta concepción holística de transición del sistema energético sienta la base para pensar la energía de un modo complejo, dejando en claro la fragilidad de la fragmentación disciplinar para pensar desde el Sur las transiciones energéticas (Chemes, 2023).

De este modo, “La transición energética popular se configura como un proceso de democratización, desprivatización, descentralización, desconcentración, desfosilización, despatriarcalización y descolonización del pensamiento para la construcción de nuevas relaciones sociales, congruentes con los derechos humanos y con los derechos de la naturaleza” (Bertinat & Chemes, 2022, p. 138).

Una síntesis de las características de cada una de las narrativas expuestas se aprecia en la siguiente tabla:

	TE corporativa	TE popular
CRISIS	Ambiental	Civilizatoria
ENERGÍA CÓMO	Mercancía capitalista	Derecho
ECOLOGÍA POLÍTICA	Ecologismo de los ricos	Ecologismo de los pobres
	Narrativa Tecnocrática capitalista	Narrativa Transición socio-ecológica, anticapitalista
SUSTENTABILIDAD	Débil	Fuerte / súper fuerte
DESARROLLO	Crecimiento infinito	Decrecimiento con justicia socio-ambiental
POTENCIAR	Acumulación de capital	Distribución de la riqueza
TRANSFORMACIÓN	Matriz energética	Sistema energético heterogéneo
CAMBIO	Individual y liderazgo	Colectivo y con justicia socio-ambiental
TIEMPO	Urgente sin importar cómo	Urgente, pero con los tiempos del sur para el sur

Tabla 1: Características de las narrativas de transición energética.

3. Movilidad Eléctrica

Este capítulo se divide en seis partes y el objeto principal del mismo es comprender la complejidad socio-técnica de la movilidad eléctrica. Para ello en una primera instancia se describirá el funcionamiento y los distintos rendimientos de la diversidad de vehículos eléctricos disponibles en el mercado. Seguidamente se abordará la situación en Argentina respecto a la cadena de valor de la movilidad eléctrica y la reglamentación y planes vigentes. Del mismo modo se realizará un breve análisis de la situación regional de América Latina. Dado que el informe persigue comprender las diferentes formas de tratamiento para extensión de vida útil y disposición final de las baterías de litio, previo a indagar en ese apartado, se realizará una descripción del principio de funcionamiento y composición de los acumuladores eléctricos con el objeto de diferenciar y distinguir las prestaciones y composición físico-químicas de las baterías.

3.1. Vehículos eléctricos

Como se observa en la **Figura 15** existen diversas configuraciones de movilidad eléctrica, con lo cual hay que diferenciarlas dependiendo del nivel de electrificación que tengan. En la actualidad podemos distinguir los siguientes tipos de vehículos eléctricos⁷:

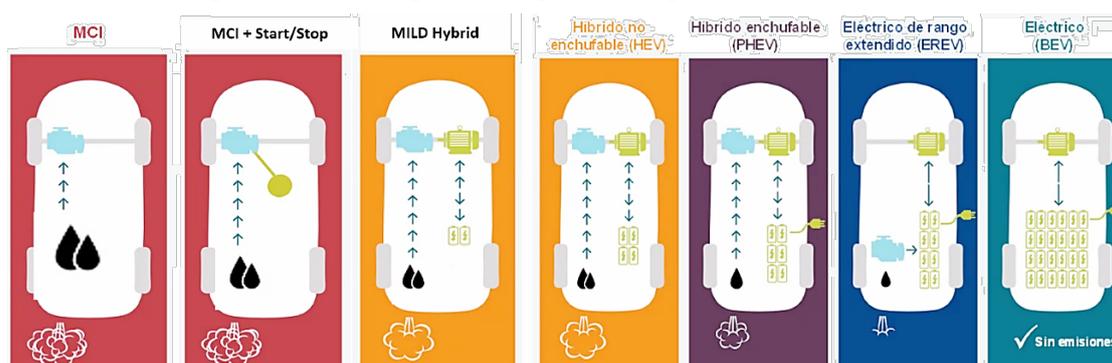


Figura 15: Grado de electrificación de vehículos eléctricos.

En orden de grado de electrificación, de menor a mayor se describe cada uno de los modos de integración tecnológica para tracción automotriz, a saber:

- MCI: Motor de Combustión Interna, dependencia total de combustible líquido o gaseoso, sin electrificación.
- MCI + Start/Stop: se complementa el motor principal con un “burro de arranque” mayor y en cada parada del vehículo el MCI se apaga, permaneciendo apagado cuando el vehículo se encuentra detenido. Diseño basado en 12 o 24 V de corriente continua.
- MILD Hybrid: Hibridación Suave. Es similar al caso anterior pero además la máquina eléctrica que hace a la vez de “burro de arranque” y alternador (motor/generador) ayuda a arrancar el MCI e iniciar el movimiento del vehículo en el instante inicial. Suelen presentarse diseños con bus de corriente continua en 48 V.
- HEV: Híbrido no Enchufable o simplemente “Híbrido”, es la hibridación más difundida por empresas japonesas como Toyota en su modelo insignia Prius. Se

⁷ <https://gesthispania.com/los-tipos-de-vehiculos-electricos-toda-la-informacion/>

emplea una batería de mayor voltaje (entre 100 y 400 V) pero de pequeña capacidad (entre 1 y 3 kWh) y en este caso, es capaz de regenerar (recuperar) la energía durante el frenado y emplearla en los arranques o cuando el MCI requiera torque adicional.

- PHEV: Híbrido Enchufable, Similar al caso anterior pero con la peculiaridad de poseer una batería de mayores dimensiones y motor eléctrico de mayor potencia, lo que le permite recorrer distancias intermedias en modo totalmente eléctrico (usualmente entre 20 y 80 km) y recargar la batería también desde un tomacorriente domiciliario. Es el primero de los mencionados en esta lista que podría funcionar todo el tiempo de modo eléctrico.
- EREV: Eléctrico de Rango Extendido, es un vehículo eléctrico con batería de mediana o gran capacidad que funciona la mayor parte del tiempo en modo eléctrico puro y presenta la posibilidad de iniciar un generador eléctrico de combustión interna a bordo que produce energía para recargar la batería y sumar mayor rango recorrido. El movimiento de las ruedas se realiza exclusivamente a través del/de motor/es eléctrico/s.
- BEV: Eléctrico a Batería, presenta una batería de mediana a gran capacidad y su funcionamiento es exclusivamente eléctrico (es el único del listado que no presenta ninguna relación con MCI), se recarga desde un tomacorriente domiciliario o cargador público/privado.

En la determinación de la eficiencia de la movilidad eléctrica, influye de manera importante el origen de las fuentes de las que se obtenga la electricidad dentro del parque generador de una región.

A continuación, en la **Figura 16** se muestra una comparativa de la eficiencia equivalente “del tanque a las ruedas” del vehículo eléctrico con respecto a otras tecnologías. La movilidad eléctrica presenta eficiencias energéticas hasta 3 veces superior al de los motores convencionales de combustión interna (Internal Combustion Engine, ICE), lo que incide posteriormente en el costo relativo de la fuente energética empleada. De esta forma, el ahorro energético se acaba transformando en un ahorro económico para los usuarios.

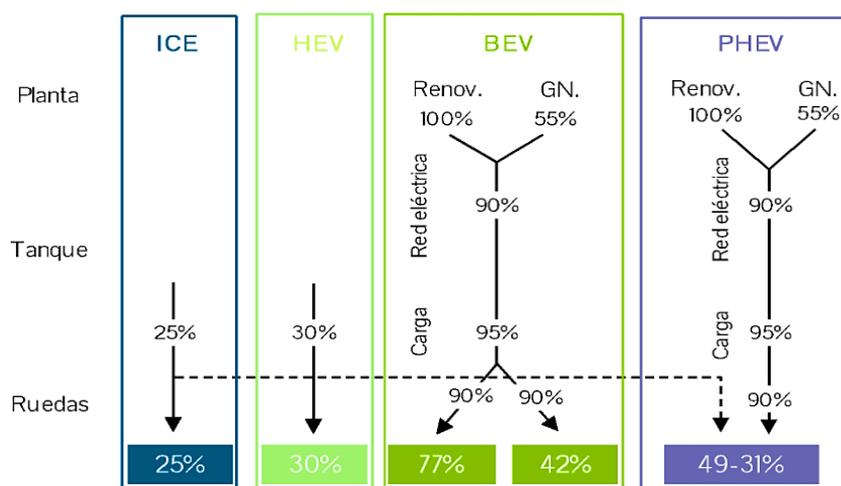


Figura 16: Eficiencia equivalente “del tanque a las ruedas” (ICE, HEV) y “de la planta de generación a las ruedas” (parte eléctrica del PHEV y BEV).

Fuente: Manitoba Hydro y Energiasociedad.es.



3.1.1 Vehículo eléctrico de baterías (o battery electric vehicle BEV)

Este tipo de vehículo (**Figura 17**) es eléctrico puro, puesto que toda la energía dedicada al movimiento procede íntegramente de la electricidad almacenada en sus baterías.



Figura 17: BYD Atto 3 EV.

Suelen llevar un sistema de recuperación de energía mediante frenadas y desaceleraciones, que mediante los sistemas electrónicos puede cargar de energía las baterías del vehículo, aunque la mayoría de las recargas por estos dispositivos suelen ser insuficientes para cargar la batería total o parcialmente. Para hacer una recarga completa de la batería debe enchufarse a un punto de recarga domiciliario, en la vía pública o estaciones de recarga.

3.1.2 Vehículo eléctrico de pila de hidrógeno (o fuel cell electric vehicle FCEV)

Si bien no se ha mencionado anteriormente, existe el vector hidrógeno para producir energía eléctrica, en este caso la fuente primaria de energía es un combustible gaseoso y la tracción de las ruedas es eléctrica. Este vehículo (**Figura 18**) no dispone de una batería recargable, sino una pila de combustible, normalmente de hidrógeno, de donde se obtiene la energía para mover el vehículo. La generación de electricidad se lleva a cabo mediante una reacción química por la que el hidrógeno se oxida perdiendo electrones que son encapsulados para generar la energía eléctrica que posteriormente impulsará el vehículo, dando como resultado agua que será liberada al ambiente.



Figura 18: Nikola Tre FCEV.

La ventaja más importante del hidrógeno es que puede almacenarse por largos periodos de tiempo y transportarse fácilmente sin que pierda las propiedades necesarias para



realizar esta reacción química. A pesar de que no es un vehículo con batería recargable, algunos modelos llegan a integrarla, pero no son tan grandes como las de los BEV, y solo en algunos modelos específicos puede llegar a cargarse mediante la red eléctrica.

3.1.3 Vehículo eléctrico de autonomía extendida (o extender-range electric vehicles EREV)

Este tipo de vehículo (**Figura 19**) dispone de un motor de combustión interna que operará en su punto de mayor eficiencia, normalmente naftero (gasolina) y uno o varios motores eléctricos. La peculiaridad de este vehículo es que el motor de combustión no es utilizado para generar tracción en las ruedas, sino que es utilizado como impulsor de un generador eléctrico para recargar la batería, que, a su vez, es la que se encarga de suministrar energía a los motores eléctricos que generan tracción a las ruedas.



Figura 19: BMW i3 EREV.

En lo que respecta a la autonomía, la disponible antes de que tenga que acudir al motor de combustión, suele ser mayor que la de los vehículos híbridos enchufables, puesto que su batería tiene una mayor capacidad, pero menor que la de los eléctricos puros. La mayoría de este tipo de vehículos pueden recargar su batería mediante los puntos de recarga de la red eléctrica.

3.1.4 Vehículo híbrido enchufable (o plug-in hybrid electric vehicle PHEV)

Este tipo de vehículo (**Figura 20**) cuenta con un motor de combustión interna, en la mayoría de los casos suele ser un motor naftero (gasolina), acompañado de uno o varios motores eléctricos. Se denomina híbrido porque ambos motores son capaces de mover el vehículo por sí mismo, solos o combinados. Al motor eléctrico se le suministra la electricidad por medio de una batería, que normalmente suele ser de poca capacidad, con una autonomía no superior a los 50 kilómetros en la mayoría de los casos. Esta batería puede recargarse también a través de la red eléctrica (además del frenado regenerativo) y permite que el vehículo funcione como uno puramente eléctrico en distancias cortas (convirtiéndose en una excelente opción para recorridos urbanos silenciosos y eficientes).



Figura 20: KIA Sorento PHEV.

Normalmente los conductores pueden seleccionar el modo con el que desean que el vehículo funcione, solamente haciendo uso del motor eléctrico, haciendo uso solo del motor de combustión o con la posibilidad de combinar ambos en modo automático, adaptándose a la vía por la que circule el vehículo. En la mayoría de los modelos híbridos enchufables, se puede hacer uso del motor de combustión para cargar la batería que va a suministrar electricidad al motor eléctrico.

3.1.5 Vehículo híbrido no enchufable (o hybrid electric vehicle HEV)

Este tipo de vehículo (**Figura 21**) presenta un sistema muy parecido al de los híbridos enchufables, con la diferencia de que la batería tiene capacidad reducida para alimentar al motor eléctrico y solo es posible recargarla con los sistemas de frenado regenerativo, desaceleraciones y por supuesto con el uso del motor de combustión interna (que cumple el rol de motor principal).



Figura 21: Toyota Prius HEV.



La autonomía eléctrica, normalmente no suele ser más de unos pocos kilómetros y a bajas velocidades, siendo perfecto para el ahorro de combustible en contextos urbanos.

3.1.6 Vehículo híbrido suave (o mild hybrid MHV)

Los híbridos suaves (**Figura 22**), también llamados sistemas híbridos suaves de 48 voltios, son la versión menos electrificada de los sistemas de propulsión híbrida. Los diseños varían de un modelo a otro, pero el concepto básico y la construcción son similares. Un pequeño motor eléctrico, que puede denominarse generador de arranque integrado (Integrated Starter Generator, ISG), está conectado al motor y funciona en conjunto con la unidad de combustión interna para proporcionar potencia adicional para la aceleración. Los fabricantes de automóviles usan sistemas de 48 V para aumentar el rendimiento, pero también vienen con un beneficio inherente de eficiencia de combustible, ya que comparten la carga del motor en escenarios controlados, ayudando a ahorrar combustible.



Figura 22: Ford Focus MHEV.

Estos sistemas no funcionan como los híbridos tradicionales o los híbridos enchufables, ya que los motores eléctricos por sí solos no son capaces de impulsar el automóvil. En cambio, el sistema de 48 voltios y el ISG actúan como asistencia para el motor de combustión interna a bajas velocidades, lo que incluye acelerar y arrancar el vehículo.

Al igual que los sistemas híbridos e híbridos enchufables, los sistemas híbridos suaves son capaces de reponer sus reservas de energía mediante el frenado regenerativo y otros métodos.

3.1.7 Vehículo híbrido mecánico con tracción eléctrica (HMEV)

Se tratan de vehículos cuya principal y “única fuente de energía” es un motor de combustión interna (a pistones o turbina), contando con un generador eléctrico acoplado a la máquina primaria térmica y transmitiendo la energía hacia él o los ejes motrices mediante conductores eléctricos (**Figura 23**).



Figura 23: Locomotora Diesel-Eléctrica HMEV.

Cada eje cuenta con un motor de tracción (denominado boggie en los trenes) o un motor en cada hélice (en los barcos y submarinos). Se emplea principalmente en trenes y barcos donde deben transmitirse potencias sumamente grandes en configuraciones múltiples o longitudes/ubicaciones complejas, en las cuales los cables eléctricos ofrecen su gran ventaja frente a los acoplamientos puramente mecánicos.

También se emplea esta configuración en los submarinos (diésel o nucleares), los cuales debido a la necesidad de sumergirse no pueden operar bajo el agua con el motor de combustión en marcha, por lo que deben salir a la superficie a recargar las baterías.

Recientemente algunas automotrices han presentado en el mercado versiones de vehículos particulares (**Figura 24**) combinando un motor naftero (de gasolina) con tracción eléctrica.



Figura 24: Nissan X-Trail e-Power.



3.2. Movilidad en Argentina

El país cuenta con una industria automotriz tradicional y con litio, mineral necesario para la fabricación de baterías. Sin embargo, falta un gran camino por recorrer.

De acuerdo con un informe de Fundar⁸, en los últimos años la carrera por el desarrollo de la electromovilidad se focalizó, principalmente, en los países desarrollados (Europa y Estados Unidos) y en las grandes economías emergentes (China e India). Pero se impulsó también en otras regiones como Europa del Este, el Sudeste Asiático y, en menor medida, América Latina.

La transición hacia la producción de vehículos eléctricos es un proceso de mucho riesgo y altos costos para la industria automotriz tradicional ya que requiere un cambio radical en las tecnologías y métodos de producción, generando gran incertidumbre.

Si bien creció en los últimos años, la demanda interna de vehículos electrificados es muy baja en nuestro país, según el Sistema de Información Online del Mercado Automotor de Argentina (SIOMAA), en 2023 se vendieron 9.601 unidades, aumentando 21% respecto a 2022. En esa cantidad la participación de los autos híbridos fue del 85%. La cifra mencionada resulta marginal al considerar la cantidad total de autos patentados el año anterior, que de acuerdo con la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina (ACARA), fue de 449.438 unidades en total.

Por otra parte, en lo que respecta al litio, insumo clave para la producción de celdas de batería de ion-litio, se destaca que Argentina dispone del 10,4% de los recursos mundiales relevados.

3.2.1. Producción de vehículos eléctricos

En Argentina hay capacidades aplicadas a la producción de vehículos pequeños para la micro movilidad del segmento L6 y L7 (vehículos livianos, con un peso en vacío de hasta 350 kg y hasta 550 kg, respectivamente) donde al menos tres empresas ya se encuentran produciendo a baja escala modelos homologados tanto para la movilidad urbana como para vehículos utilitarios.

3.2.2. Capacitación en electromovilidad

No existen actualmente en Argentina carreras de grado, especialización o maestría sobre tecnologías específicas para electromovilidad. Las carreras de ingeniería relacionadas solo tienen alguna materia optativa que refiere a contenidos específicos.

3.2.3. Infraestructura de carga para EVs

La infraestructura pública de carga de vehículos eléctricos en el país es incipiente. En la actualidad hay casi un centenar de puntos de carga públicos, basándose la mayoría en inversiones realizadas por emprendimientos privados, mayormente con fines de visibilidad de marca (marketing verde), de algunas empresas provinciales distribuidoras de energía (como el caso del corredor eléctrico entre Santa Fe y Rosario desarrollado por la Empresa Provincial de Energía (EPESF) o el de los puntos de carga instalados por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) y de empresas dedicadas a la producción y comercialización de combustibles fósiles, como YPF, Shell o Axion, que

⁸ FUNDAR - CIECTI, 2022.

están desarrollando corredores de carga eléctrica en algunas rutas nacionales (corredor Bs. As. – Mar del Plata) utilizando su red de estaciones de servicios.

La infraestructura de carga presenta dos desafíos: aumentar su extensión de modo de viabilizar viajes de mayor distancia y reducir los tiempos de carga (Dulcich, Otero y Canzian, 2019).

3.2.4. Reglamentaciones y disposiciones

En Argentina se destacan dos exigencias:

- La Reglamentación 90.364 (Parte 7, Sección 722) de la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA), establece medidas de seguridad para la instalación de cargadores que tienen que ver con la presencia de la puesta a tierra, de sistemas de protección térmica efectivos y de disyuntores superinmunizados que eviten fugas de corriente hacia la red eléctrica (dada la coexistencia de sistemas de CA y CC en la misma estación), entre otras.
- La Disposición 283/2019 de la Secretaría de Energía, establece la obligatoriedad de acreditar el cumplimiento de determinadas normas registrales y técnicas a aquellas estaciones de servicio que pretendan incorporar sistemas de carga eléctrica cercanos a los surtidores de combustibles (dada la presencia de gases potencialmente explosivos).

3.2.5. Normativas y leyes

Las leyes de promoción de electromovilidad no diferencian claramente los beneficios asociados a los vehículos con algún grado de hibridación (Mild Hibrid-MHEV o Hibrid-HEV) y a los vehículos 100% eléctricos (BEV).

En Argentina, a nivel legislativo, miembros de la Asociación Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos (AAVEA) presentaron un proyecto de Ley en 2017 cuyo objetivo es establecer un marco regulatorio que promueva la producción, comercialización y uso de EVs u otros vehículos alternativos. Los principales instrumentos se basan en incentivos a la oferta (por ejemplo, reducción de impuestos a la importación), a la demanda (como subsidios al financiamiento en las compras de EVs y cargadores eléctricos), a la utilización de EVs (acceso a carriles, zonas, y horarios exclusivos, entre otros), y el apoyo a pioneros y experiencias piloto-demostrativas mediante reducciones impositivas. Existe otro proyecto orientado a difundir los EVs en la Argentina, presentado en noviembre de 2017, que utiliza instrumentos similares.

A nivel subnacional, en 2018 la provincia de Santa Fe sancionó la Ley N° 13.781⁹ que fomenta la producción de EVs y sus componentes en la provincia, con incentivos como exenciones impositivas y tarifas promocionales por diez años, prorrogables por diez años adicionales.

Por otro lado, en 2018 Argentina inició el desarrollo de su Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica con el apoyo de ONU Medio Ambiente (MOVE, 2018), institución que está fomentando iniciativas similares en el resto de la región. Ese mismo año se modificó la Ley de Tránsito mediante el Decreto 32/2018, incorporando las categorías de EVs (incluyendo segmentos de micro movilidad eléctrica) con base en su potencia

⁹ <https://argentinambiental.com/legislacion/santa-fe/ley-13781-fomento-la-industria-vehiculos-electricos-tecnologias-energias-alternativas-la-movilidad-urbana-periurbana/>

máxima (en kW), y los requisitos para su homologación. En 2019, mediante el Decreto 26/2019, el Poder Ejecutivo Nacional modificó las clasificaciones de las licencias de conducir para incluir a los EVs. Paralelamente, la Legislatura de la Ciudad de Buenos Aires aprobó la ley que regula el uso de los monopatinés eléctricos en la ciudad (MOVE, 2019).

La excesiva atomización de la distribución de energía eléctrica a nivel nacional podría generar escollos para unificar el marco regulatorio de dicha actividad. Por ejemplo, en la distribución de energía eléctrica aún persiste una gran cantidad de pequeñas empresas y cooperativas locales en distintas ciudades y pueblos del país, en un sistema eléctrico que se fue centralizando a escala nacional e incluso interconectándose a nivel regional (Carrizo et al., 2014). Esta atomización podría llegar a dificultar la unificación de los atributos técnicos de los cargadores (potencia, protocolo de comunicación entre vehículo y cargador, etc.), así como la creación de un sistema de pago unificado; todas ellas condiciones que favorecen la interoperabilidad y reducen el costo de los usuarios (IEA, 2018). También podría llegar a limitar la posibilidad de implementar a nivel nacional una política de precios diferenciales para la recarga de energía eléctrica por parte de EVs, como la que implementó a nivel local la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) mediante la Resolución N° 44¹⁰ del Ente Regulador de Servicios Públicos.

En 2021, se envió al congreso nacional un proyecto de ley de electromovilidad elaborado en la cartera del entonces ministro de Desarrollo Productivo, “para la Promoción de la Investigación, Desarrollo, Fabricación, Comercialización y Uso de Vehículos Eléctricos y Alternativos”. El proyecto planteaba metas ambiciosas; su artículo 5, sobre parque automotor y de transporte, establecía que los vehículos eléctricos debían ser al menos el 10% de la renovación del parque hacia 2025, proporción que se elevaba a 40% en 2035, a 80% en 2045 y a 100% en 2050.

Según las proyecciones, la ley tenía el potencial de crear más de 12.500 puestos de trabajo en terminales automotrices para 2030, con inversiones estimadas en USD 5.000 millones. También, se buscaban crear 6.000 empleos nuevos en el sector autopartista, con inversiones que rondaban los USD 1.500 millones. Por su parte, los fabricantes de baterías tendrían unos 2.500 puestos nuevos de trabajo, trepando las inversiones a USD 1.800 millones. Asimismo, se estimaban exportaciones por USD 5.000 millones, y un ahorro acumulado de 10,7 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente.

3.3. Movilidad eléctrica en el mundo y en América Latina

3.3.1 América Latina

En Brasil se destaca el avance en la minería de litio: según fuentes como “Agencia Brasil” y “Statista”, Brasil es el quinto productor mundial del mineral¹¹. La calidad del mineral en el “Valle de Jequitinhonha”, en el estado de Minas Gerais, es destacado en diversos informes por su grado de pureza, traducible en baterías de mayor potencia. En este marco la automotriz china Build Your Dreams (BYD) construirá en Brasil su primera planta de vehículos eléctricos fuera de Asia, seguida por su planta en México.

¹⁰ https://boletinoficial.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2019/07/1_Secc_120719.pdf

¹¹ <https://www.infobae.com/economia/2024/01/20/es-brasil-una-potencia-del-litio-que-la-argentina-no-esta-viendo-venir/>

A septiembre de 2022, se habían matriculado en América Latina 110.206 vehículos híbridos y eléctricos, lo que supone un incremento del 33,7% con respecto al mismo periodo de 2021 cuando se registraron 82.403 unidades¹².

Según cálculos de Andemos, con base en los datos suministrados por las asociaciones de distribuidores de vehículos de cada país, del total, 89.960 fueron vehículos híbridos eléctricos (HEV), 11.802, vehículos híbridos enchufables (PHEV) y 8.444 vehículos totalmente eléctricos (BEV).

El segmento de mayor crecimiento fueron los vehículos eléctricos (BEV) con una variación positiva del 188,2%, seguido de los vehículos híbridos enchufables (PHEV) con 161,3% y los vehículos híbridos eléctricos (HEV) 20,0%.

Por países, el listado (**Tabla 2**) donde más vehículos eléctricos e híbridos se matricularon son en primer lugar México (35.012), seguido de Brasil (34.232) y Colombia (21.579).

PAÍS	BEV			PHEV			HEV			TOTAL			FUENTE
	2021	2022	VAR %	2021	2022	VAR %	2021	2022	VAR %	2021	2022	VAR %	
Argentina	35	179	411,4%	2	161	7950,0%	4.480	5.602	25,0%	4.517	5.942	31,5%	ADEFA
Brasil	255	342	34,1%	1.168	5.846	400,5%	22.730	28.044	23,4%	24.153	34.232	41,7%	ANFAVEA
Chile	374	1.147	206,7%	167	356	113,2%	1.740	3.483	100,2%	2.281	4.986	118,6%	ANAC
Colombia	739	2.551	245,2%	1.172	1.991	69,9%	9.282	17.037	83,5%	11.193	21.579	92,8%	ANDEMOS
Costa Rica	800	987	23,4%	ND	ND	ND	ND	ND	ND	800	987	23,4%	MINAE
Ecuador	201	260	29,4%	22	85	286,4%	2.627	5.186	97,4%	2.850	5.531	94,1%	AEADE
México	503	2.890	474,6%	1.948	3.271	67,9%	33.245	28.851	-13,2%	35.696	35.012	-1,9%	INEGI
Perú	23	88	282,6%	38	92	142,1%	852	1.757	106,2%	913	1.937	112,2%	AAP
TOTAL	2.930	8.444	188,2%	4.517	11.802	161,3%	74.956	89.960	20,0%	82.403	110.206	33,7%	

Tabla 2: Matriculaciones de EVs en América Latina por tipo.

Es de esperar que en los países que no tienen una industria automotriz local, la transición hacia la electromovilidad genere menos tensiones internas que en aquellos que cuentan con una industria automotriz tradicional, en la medida que no hay actores locales ya establecidos que generen resistencias a las nuevas tecnologías (Stokes y Breetz, 2018).

Por otra parte, en México y Brasil no está aún definida la legislación correspondiente a los vehículos livianos, a diferencia de Argentina, donde se adoptó el modelo regulatorio y los estándares de la Unión Europea. Aquellos dos países se han propuesto diseñar su propia regulación, lo que tiene efectos sobre el posible plazo de ingreso para las empresas exportadoras.

Autobuses

El crecimiento de la demanda de buses eléctricos se percibe como ineludible para los próximos años; las previsiones disponibles a nivel internacional sugieren que la demanda de electrificación de las flotas de transporte no podrá ser totalmente satisfecha sin recurrir al retrofit¹³ (Baruj et al., 2021). Además, los costos de reacondicionar y electrificar un bus pueden ser hasta un 60% menores que la compra de uno eléctrico.

El modelo de retrofit para la flota de buses circulantes se plantea como una opción interesante en la transición hacia sistemas de movilidad urbana más sustentables y podría traccionar oportunidades para el desarrollo de componentes locales accesorios al motor eléctrico como el inversor, los compresores de aire, la asistencia para la dirección (hidráulica o eléctrica) y el aire acondicionado, entre otros.

¹² Anuario del sector automotor 2022, Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS).

¹³ En este entorno, el "retrofit" es una técnica para modernizar un vehículo usado, generalmente con motor de combustión interna, convirtiéndolo en uno eléctrico.

Es decir que el retrofit podría ser una solución facilitadora de la transición y adecuación del transporte público al paradigma sustentable. Y además, podría verse como un primer paso necesario hacia la fabricación de componentes más complejos, comenzando con una estrategia de ensamblado de tipo CKD (Completely Knock-Down) para ir incorporando paulatinamente mayores niveles de integración local.

A nivel mundial, la región de América Latina se ha destacado por la implementación de autobuses eléctricos en sistemas de transporte público. Actualmente, los autobuses eléctricos representan el 4,5% del total de la flota de autobuses de las ciudades relevadas por C40 Cities y E-Bus Radar (octubre 2023)¹⁴.

América Latina es una potencia del transporte público masivo. El actual sistema de transporte público y compartido comprende el 68% de todos los viajes de pasajeros, uno de los más altos del mundo. Esto favorece el sistema de autobuses públicos y, por tanto, una oportunidad para posicionar el mercado de autobuses eléctricos. En las 32 ciudades estudiadas (**Figura 25**), se espera desplegar una flota de más de 30.000 (aproximadamente 29% de la flota total) autobuses eléctricos para 2030 y más de 60.000 para 2050 (aproximadamente 63% de la flota total) (**Figura 26**).



Figura 25: Ciudades censadas por C40 Cities.

¹⁴ Proyectos de Autobuses Eléctricos en América Latina, Panorama de 32 ciudades, C40 Cities y Clean Transport Finance Academy 2023.

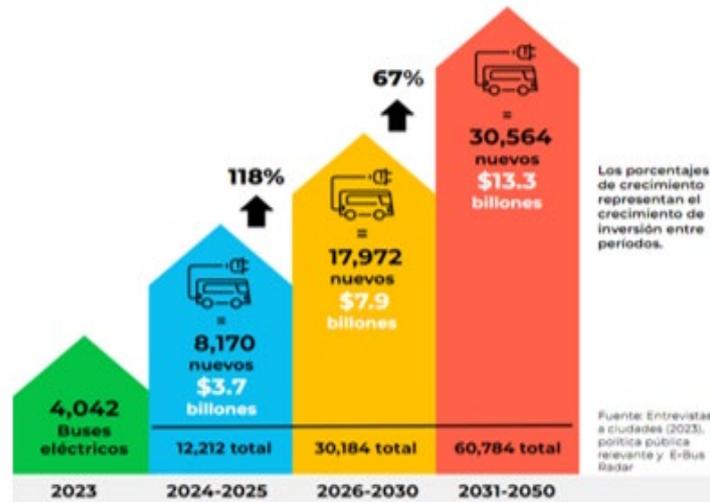


Figura 26: Crecimiento de autobuses eléctricos en las ciudades censadas.
Fuente: c40 Cities y e-Bus Radar.

Los países de la región muestran los vínculos más sólidos con la energía renovable en el transporte a nivel mundial, con casi el 12% de sus acciones de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) asociadas con combustibles alternativos. Esto permite obtener más beneficios ambientales de los autobuses eléctricos, al ser alimentados por fuentes de energías limpias¹⁵.

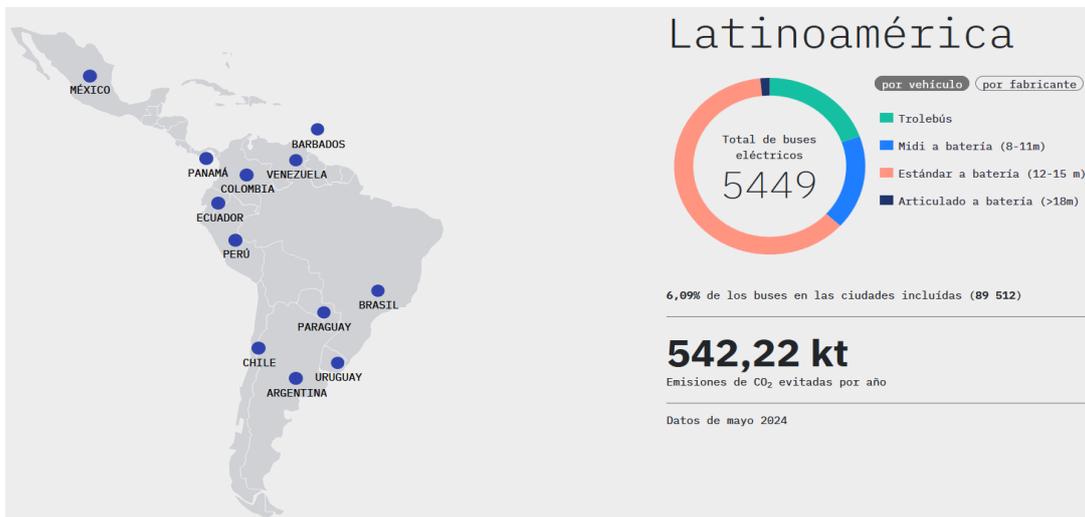


Figura 27: Mapeo de países latinoamericanos con movilidad eléctrica.

¹⁵ SLOCAT, 2023 & World Economic Forum, 2019.

	Minibus (<9m)	Midi-Bus (9-11.5m)	Padrón (11.5-15m)	Articulado	Biarticulado	Autobús de dos pisos	Total de buses
2024-2025	705	1,593	4,465	1,110	271	19	8,163*
2026-2030	983	3,042	11,219	2,028	649	44	17,965*
2031-2050	1,463	6,777	18,324	3,052	933	7	30,556*

Figura 28: Proyección de demanda por tipo de autobús.

Se espera que Brasil, Colombia, Chile y México sean los mercados más importantes para el año 2030 (**Figura 29**). Estos 4 países representan el 83% del mercado hasta el 2030. Sin embargo, otros países muestran señales de posible crecimiento a futuro.

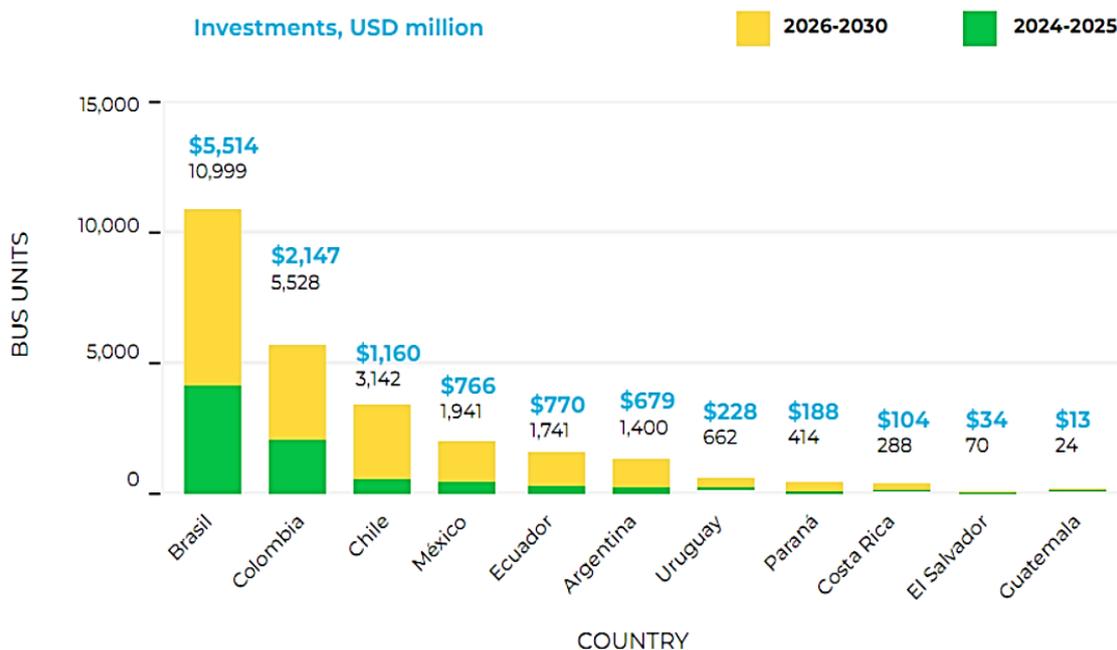


Figura 29: Proyección de autobuses eléctricos por país y tamaño de la inversión, incluyendo la infraestructura de carga.

Modelo de Negocios	Descripción	Ejemplos de ciudades
A Agente integral (público) que concentra la propiedad y la operación	A.1 Inversión y operación privada. Los operadores son propietarios de la flota (responsables de la adquisición, el mantenimiento, la operación y la sustitución).	Montevideo Campinas Salvador Ciudad de México Monterrey
	A.2 Inversión y operación pública. Los autobuses son adquiridos por la ciudad. La operación proviene de una entidad pública.	Panamá Colonia Rosario
B Separar la propiedad de los activos de la operación	B.1 Los autobuses son adquiridos con financiamiento público (entidades locales o nacionales). Los autobuses eléctricos son arrendados (en ciertos casos, con opción de compra) o proporcionados a operadores privados con pagos por operación.	Guatemala San José Valledupar Bucaramanga Barranquilla São José dos Campos Antofagasta Santiago Bogotá
	B.2 Los operadores son responsables de arrendar los autobuses de una entidad privada que ha comprado las unidades.	Monterrey Bogotá Santiago Campinas Salvador Antofagasta Santiago *São Paulo, Curitiba y San Juan.

*Esta lista no es exhaustiva. Otros (sub) modelos se están explorando o ya han sido adoptados.

Fuente: Entrevista a ciudades, (2023)

Figura 30: Modelos de negocio de autobuses eléctricos relevados en América Latina.

3.4. Nociones básicas sobre acumulación eléctrica para movilidad: baterías.

La invención de la batería ha permitido almacenar y utilizar energía eléctrica de manera portátil y eficiente, lo que ha cambiado la forma en que vivimos, trabajamos y nos movilizamos.

En la continua búsqueda de encontrar el mejor tipo de batería, se han desarrollado varias opciones gracias a la utilización de diferentes elementos electroquímicos. Las primeras baterías fueron las de plomo-ácido, luego les siguieron las de níquel-hierro y, en la actualidad, las más utilizadas son las de ion-litio en sus diversas composiciones químicas.

El litio es uno de los elementos más ligeros de la naturaleza y presenta un mayor potencial electroquímico. Esto permite que una batería de litio almacene una gran cantidad de energía en una unidad pequeña y liviana.

La invención de la pila se atribuye al científico italiano Alessandro Volta, quien en 1800 creó la primera pila eléctrica conocida. Volta utilizó discos de cobre y zinc embebidos en una solución salina para crear una corriente eléctrica constante (corriente continua). Esta invención sentó las bases para el desarrollo de dispositivos eléctricos portátiles.

Desde la invención de la pila de Volta, se han realizado numerosos avances. Durante gran parte del siglo XIX, se utilizaron baterías de plomo-ácido para alimentar los primeros vehículos eléctricos.

En la década de 1860, el científico francés Georges Leclanché creó una batería de celda seca que utilizaba una solución de cloruro de amonio y un electrodo de zinc-carbono. Esta batería prosperó en las aplicaciones portátiles durante muchos años.

En la década de 1950, se desarrollaron baterías de níquel-cadmio, que eran más ligeras y duraderas que las baterías de plomo-ácido. Fueron utilizadas en los primeros dispositivos electrónicos portátiles, como radios y calculadoras.

En la década de 1980, se introdujeron las baterías de iones de litio, siendo Sony la primera empresa en comercializar una batería de iones de litio en 1991.

3.4.1. Batería de plomo-ácido (PB-ácido)

Es la más antigua y usada en vehículos convencionales. Suelen tener entre 2, 6 y 12 V, una autonomía de unos 100 km y se emplean fundamentalmente para funciones de arranque del vehículo, iluminación o soporte de elementos auxiliares eléctricos. En la actualidad se están dejando de utilizar para movilidad eléctrica.

- Características: ciclo de vida limitado entre 500 y 1200 ciclos de carga-descarga, densidad energética baja (30-40 Wh/kg) y necesidad de mantenimiento periódico.
- Ventajas: bajo costo y buena respuesta en frío.
- Desventajas: son pesadas, el plomo es tóxico y la capacidad de recarga lenta.

Es el tipo más antiguo de baterías para vehículos eléctricos, son económicas, seguras y confiables; sin embargo, tienen un peso elevado, una energía específica baja, un rendimiento por debajo de la media en presencia de clima frío y un ciclo de vida más corto.

3.4.2. Batería de níquel-cadmio (NiCd)

Han sido bastante utilizadas en los comienzos de la industria del automóvil en las versiones híbridas (HEV) y a batería (BEV), a pesar de su alto costo y su efecto memoria¹⁶, contraproducente para la movilidad eléctrica.

- Características: ciclo de vida entre 1500 y 2000 cargas y descargas, densidad energética de 40-60 Wh/kg y requerimientos para ciertos cuidados específicos.
- Ventajas: gran fiabilidad y técnicas de reciclado total.
- Desventajas: alto costo de adquisición, efecto memoria, contaminante y envejecimiento prematuro con el calor.

3.4.3. Batería de níquel-hierro (NiFe o de Edison)

Son muy robustas y tolerantes a exigencias extremas, (sobrecarga, descarga profunda y cortocircuito). Thomas Edison llegó a probar su diseño de baterías en vehículos Ford T como parte de un proyecto que no consiguió prosperar por razones de mercado.

- Alta durabilidad (>10.000 ciclos).
- Debido a su baja densidad energética (40 Wh/kg), energía específica (30 Wh/L), eficiencia (70%) y alto costo, no son recomendadas para vehículos eléctricos.

3.4.4. Batería de níquel-hidruro metálico (NiMH)

Dentro de los tipos de baterías para vehículos eléctricos, esta es una de las más usadas por los fabricantes de vehículos híbridos (HEV y MHEV).

- Características: ciclos de vida limitados (300 a 500 ciclos de carga y descarga), densidad energética de 30-80 Wh/kg y un elevado mantenimiento.
- Ventajas: reducen del efecto memoria en relación con las baterías de níquel-cadmio, además de eliminar el cadmio (metal tóxico).
- Desventajas: menor fiabilidad, no soportan fuertes descargas, menor resistencia a altas temperaturas y menor resistencia a altas corrientes de carga.

¹⁶ El efecto memoria es la reducción de la capacidad de ciertas tecnologías de baterías con cargas incompletas. Esto se produce cuando cargamos y descargamos una batería parcialmente sin llegar a recuperar el 100% de carga.

Este tipo de batería para EVs ofrece un rendimiento energético y energético específico razonable. También se utiliza en computadoras, controles remotos, cámaras fotográficas y equipos médicos. Son más seguras que las de Plomo-Ácido en la mayoría de las condiciones operativas porque pueden tolerar más exigencia.

Las baterías NiMH se usan con mayor frecuencia en automóviles híbridos (HEV), donde generalmente se cargan desde el motor de combustión interna. Sin embargo, sus inconvenientes incluyen altos costos, alta autodescarga, alta emisión de calor a altas temperaturas, eficiencia baja (del orden del 70%) y emisión de hidrógeno.

Toyota implementó el uso de baterías NiMH en 1997 en su modelo Prius. En 1999 también lo hizo Chevrolet en su modelo EV1 GEN II (antes había utilizado baterías Plomo-ácido en la primera generación).

3.4.5. Baterías de Litio

Los componentes químicos de las baterías de iones de litio varían según varios factores, incluidos los costos, densidades volumétricas y energéticas y el rendimiento esperado. Los tipos más comunes incluyen (según su composición química de cátodo o electrodo positivo):

- Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC)
- Óxido de Cobalto de Litio (LCO)
- Níquel-Cobalto-Aluminio (NCA)
- Fosfato de Hierro y Litio (LFP)
- Litio-Manganeso-Óxido (LMO)
- Titanato de Litio

Las baterías de composición NMC y NCA ofrecen un rendimiento superior pero son más costosas. De ahí que se encuentren en vehículos eléctricos de gama alta o de alto rendimiento (high performance, super-cars, mega-cars).

Las baterías de tecnología LFP, a pesar de la desventaja de ser hasta un 30% más caras que las de plomo-ácido, contribuyen a una mayor seguridad (química más estable, menor riesgo de desencadenamiento térmico e ignición) y un mayor ciclo de vida de la batería. Son alrededor de un 20% menos costosas que aquellas con base en litio-níquel-cobalto-manganeso (NMC), mientras que a cambio su peso es un 4% mayor para una misma capacidad (McKinsey, 2021).

La celda de una batería de litio consta de cinco componentes principales: electrodos (ánodo y cátodo), separadores, terminales, electrolito y una caja o recinto. Para aplicaciones automotrices se utilizan diferentes tipos de celdas: cilíndricas, prismáticas y pouch (**Figura 31**), cada una con características específicas.

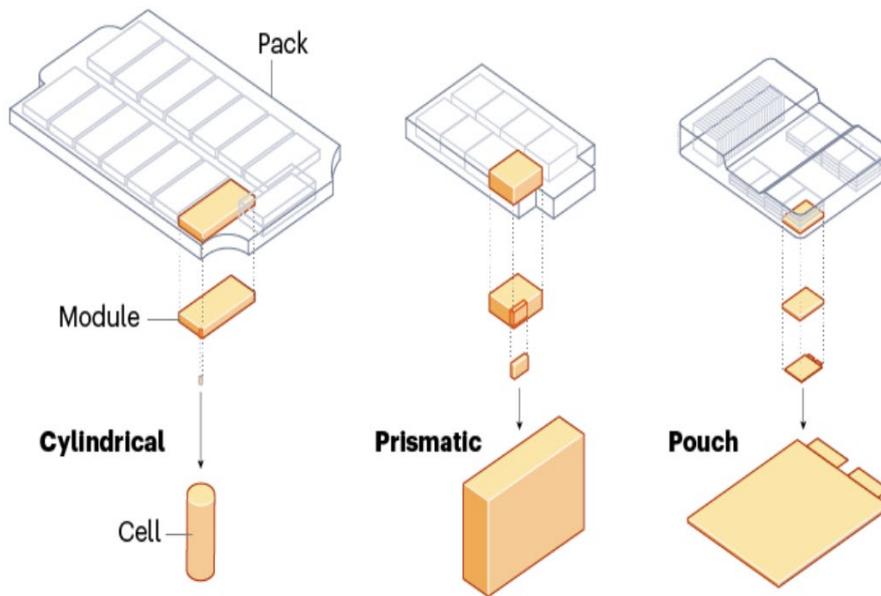


Figura 31: *Diferentes formas constructivas de celdas de iones de litio.*
Fuente: *Everenergy.*

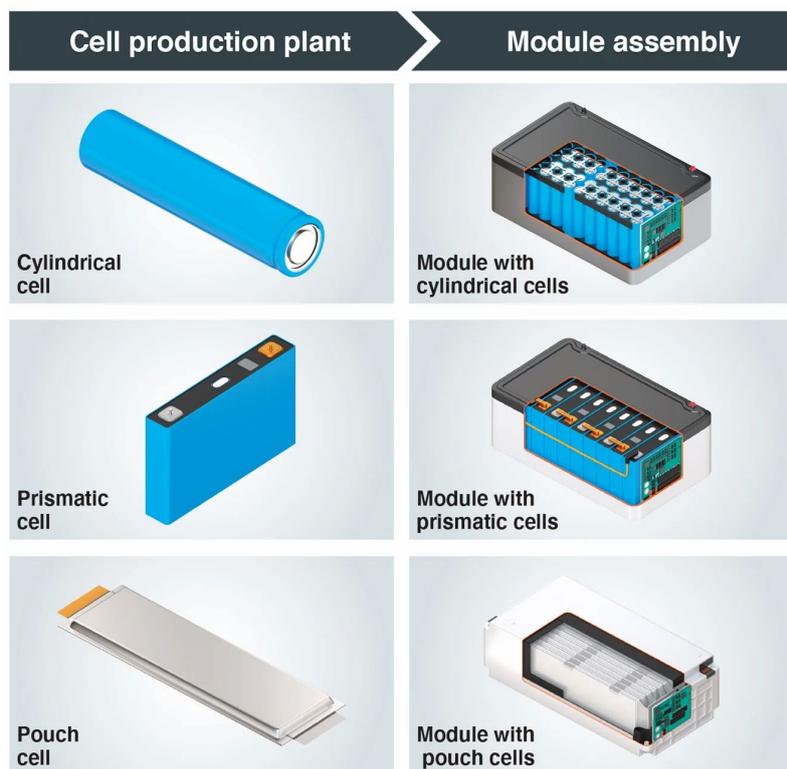


Figura 32: *Modos de integración de celdas en un paquete de baterías.*
Fuente: *bateriasyamperios.com.*

Las celdas individuales se agrupan en una unidad mecánica y eléctrica llamada “módulo” (**Figura 32**). A su vez los módulos están conectados eléctricamente para formar un “paquete de baterías” (o battery-pack) (**Figura 33**). A esta disposición o forma de agrupación se la denomina “cell-to-module-to-pack” (**Figura 34**).





Más recientemente, con la finalidad de optimización de materiales, costos y eficiencias de producción, se ha comenzado a implementar la técnica “cell-to-pack” donde directamente las celdas se agrupan en una única caja o receptáculo final.



*Figura 33: Paquete de baterías con diseño cell-to-pack empleando celdas prismáticas.
Fuente: Henkel.*



*Figura 34: Paquete de baterías con diseño cell-to-pack empleando celdas cilíndricas.
Fuente: Henkel.*

Además, con la utilización del paquete de baterías como elemento estructural para el suelo o base del vehículo surge el concepto de “baterías estructurales”, un claro ejemplo de ello son las últimas versiones de Tesla Model Y (**Figura 35**), Cybertruck, vehículos BYD platform 3.0 (**Figura 36**), entre otros.



Figura 35: Batería estructural conformada por elementos cilíndricos.
Fuente: Tesla.



Figura 36: Batería estructural conformada por elementos prismáticos tipo “blade”.
Fuente BYD.

3.5. Acumulación de energía a escala de red eléctrica

El almacenamiento de energía afecta a toda la cadena de valor de la electricidad en América Latina¹⁷ ya que reemplaza la planificación (predespacho) de suministros de energía en horas pico, altera las futuras inversiones en transmisión y distribución (T&D), reduce la intermitencia de las energías renovables, reestructura los mercados energéticos y ayuda a digitalizar el ecosistema eléctrico.

Para las empresas distribuidoras de electricidad, el almacenamiento en baterías se convertirá en una herramienta integral para gestionar los picos de carga, regular el voltaje y la frecuencia, garantizar la confiabilidad de la generación renovable distribuida y crear un sistema de transmisión y distribución más flexible. Para sus usuarios, el almacenamiento de energía puede ser una herramienta para reducir los costos relacionados con la demanda máxima de energía y mejorar la calidad del servicio recibido.

¹⁷ <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/batteries-will-transform-the-energy-market-in-latin-america-here-s-why/>



Las baterías son el tipo de almacenamiento a escala de red eléctrica más sencillamente escalable¹⁸ y ha experimentado un fuerte crecimiento en los últimos años.

Se prevé que las baterías a escala de red eléctrica representen la mayor parte del crecimiento del almacenamiento en todo el mundo. Las baterías se utilizan normalmente para el equilibrio subhorario, horario y diario. La capacidad total instalada de almacenamiento de baterías a escala de red se situó en cerca de 28 GW a finales de 2022 con el crecimiento interanual mostrado en la **Figura 37**, la mayor parte de la cual se añadió en el transcurso de los seis años anteriores. El almacenamiento en baterías de iones de litio siguió siendo el más utilizado y representó la mayor parte de toda la nueva capacidad instalada.

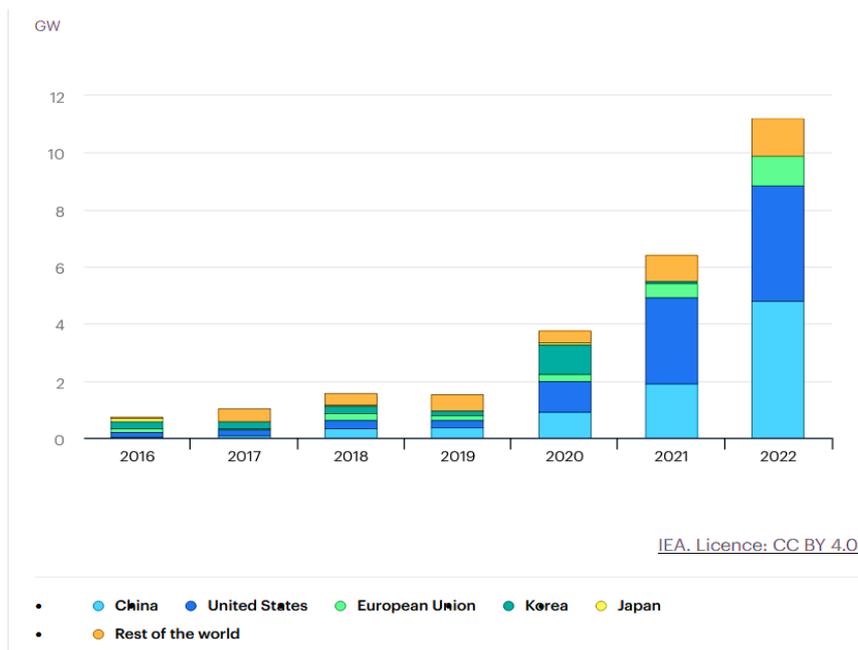


Figura 37: Crecimiento anual de almacenamiento en baterías a escala de red eléctrica 2017-2022. Fuente: IEA.

Según consideraciones de costo y densidad de energía, las baterías de litio-hierro-fosfato (LFP), siguen siendo la opción preferida para el almacenamiento a escala de red. Las combinaciones químicas que proveen más densidad en energía para las baterías de iones de litio, como níquel-cobalto-aluminio (NCA) y níquel-manganeso-cobalto (NMC), son populares para el almacenamiento de energía en el hogar y otras aplicaciones donde el espacio es limitado y se requieren elevadas prestaciones de potencia.

Las empresas más relevantes del mundo en producción de celdas de litio son CATL (China), BYD (China), Panasonic (Japón), Tesla (EE. UU.), LG Chem (Corea del Sur) y Samsung (Corea del Sur). En la actualidad, todas estas firmas están realizando fuertes procesos de inversión.

Además de las baterías de iones de litio, las baterías de flujo (o baterías líquidas) podrían surgir como una tecnología innovadora para el almacenamiento estacionario, ya que no

¹⁸ <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>

muestran una degradación del rendimiento durante 25 a 30 años y pueden dimensionarse según las necesidades de almacenamiento de energía, con una inversión limitada.

Si bien en la última década se han producido reducciones sustanciales en el precio de las baterías de iones de litio, ahora se está volviendo evidente que los costos dependen no sólo de la innovación tecnológica, sino también de la tasa de aumento de los precios de los minerales de las baterías y el rol de estos en la transición energética, asociado también a la escalada de conflictos bélicos relacionados (como pasó y pasa con el petróleo).

La principal fuente de demanda de litio es la industria de las baterías. El litio es la columna vertebral de todo tipo de baterías de iones de litio, incluidas las LFP, NCA y NMC. Por lo tanto, el suministro de litio sigue siendo uno de los elementos más cruciales a la hora de dar forma a la futura descarbonización del transporte ligero de pasajeros y del almacenamiento de energía.

Las baterías que ya no cumplen con los estándares para su uso en un EV generalmente mantienen hasta el 80% de su capacidad utilizable total¹⁹. Dado que el número de vehículos eléctricos aumenta rápidamente, esto equivale a terawatts hora de capacidad de almacenamiento de energía no utilizada. La reutilización de baterías de vehículos eléctricos usadas podría generar un valor significativo y beneficiar al almacenamiento de energía a escala de red.

Ya han comenzado las pruebas iniciales con baterías de segunda vida. Sin embargo, aún quedan una serie de desafíos tecnológicos y regulatorios para que las aplicaciones de segunda vida crezcan a escala. Se estima que dentro de la próxima década estos desafíos serán superados. El principal de ellos es su capacidad para competir en precio, dada la rápida caída del costo de los sistemas nuevos, aunque los recientes aumentos en el costo de los minerales de las baterías podrían mejorar la viabilidad del reciclaje y la reutilización.

Las baterías retiradas deben someterse a costosos procesos de renovación para poder usarse en nuevas aplicaciones, y la falta de estandarización de la medición del estado de las baterías usadas (por ejemplo, condiciones de almacenamiento, capacidad restante) complica aún más la dimensión económica. Se necesitan orientaciones claras sobre el re-embudo, la certificación, la estandarización y la responsabilidad de la garantía de las baterías de vehículos eléctricos de segunda vida para superar estos desafíos.

3.5.1. Estado del almacenamiento en baterías (BESS) en América Latina²⁰

El almacenamiento de energía en baterías (BESS) en América Latina muestra avances diversos dependiendo del país, con enfoques regulatorios y de mercado únicos.

Chile:

- Chile aprobó un proyecto de ley de almacenamiento de energía y electromovilidad a finales de 2022, lo que hace que los proyectos de almacenamiento independientes sean rentables para los operadores. Sin embargo, el mercado todavía está esperando nuevas reglas relativas al pago por capacidad para proyectos de almacenamiento.

¹⁹ Repurposing used EV batteries could generate significant value and benefit the grid-scale energy storage market, <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>

²⁰ <https://americasmi.com/insights/opportunities-battery-storage-bess-latin-america/>

Brasil:

- En 2024, el gobierno brasileño dijo que incluiría baterías en su subasta de reserva de energía (“Leilão de reserva de capacidade”), permitiendo que a las baterías se les pague una tarifa por proporcionar capacidad adicional durante las horas pico.
- El marco regulatorio de Brasil no prohíbe las soluciones de almacenamiento de energía, pero actualmente no existen regulaciones específicas sobre almacenamiento. A finales de 2023, la mayoría de las aplicaciones BESS (Battery Energy Storage System) en Brasil estaban detrás del medidor (del lado del usuario final).
- Existe una propuesta de ley sobre almacenamiento de energía para fomentar BESS delante del medidor (acoplados a la red de potencia), pero el Congreso no ha priorizado su aprobación aún.

Colombia:

- Todavía no existe una regulación clara sobre cómo se compensará a los BESS independientes. Los reguladores están debatiendo si manejar el almacenamiento como un activo de transmisión o de generación, dada su flexibilidad. Hasta el momento, el cargo por confiabilidad de Colombia (Cargo por Confiabilidad) ha impulsado el avance de proyectos híbridos solares + BESS.

México:

- El mercado de BESS de gran escala en México es prácticamente inexistente. Los proyectos de almacenamiento están obligados a registrarse como una central eléctrica activa (“central eléctrica”) y estar representados por un participante del mercado, en este caso, un generador. Por lo tanto, los operadores de almacenamiento tienen que pagar tarifas de transmisión y otros cargos relacionados con la red, lo que hace que los proyectos independientes no sean rentables.

República Dominicana:

- La Comisión Nacional de Energía (CNE) de República Dominicana emitió una resolución en febrero de 2023 que exige que el almacenamiento BESS se combine con grandes plantas solares. Sin embargo, la remuneración aún no está clara y los desarrolladores están preocupados por los retrasos en la interconexión de sus BESS.

Perú:

- Perú no cuenta con regulación BESS vigente y actualmente está evaluando cómo avanzar con proyectos de almacenamiento en baterías.
- De hecho, en enero de 2024, el regulador de inversiones en energía y minería de Perú, Osinergmin, abrió una solicitud de propuesta para un estudio sobre almacenamiento de energía. El trabajo apoyará el desarrollo de reglas para garantizar que las energías renovables no afecten la confiabilidad de la red.

Panamá:

- En enero de 2024, el regulador panameño de servicios públicos, ASEP, inició una consulta para incorporar sistemas de almacenamiento de energía en baterías BESS a la red de transmisión.

Uruguay:

- En septiembre de 2022, Uruguay anunció que planea actualizar el Decreto N° 27/020, que autorizará a los consumidores de baja tensión a reinyectar energía a la red a través de baterías, siempre y cuando el balance anual sea cero. En otras palabras, se debe consumir tanta energía como la inyectada, lo que limita el arbitraje y la rentabilidad de los proyectos BESS independientes.

3.6. Cadena de valor de las baterías

La batería es la parte más costosa de un EV, actualmente representa entre el 35% y el 45% de su costo total (McKinsey, 2019) y resulta rentable a menor escala de producción, lo que convierte a este segmento en un eslabón de la cadena de valor con un potencial interesante²¹.

Según el Science for Policy Report (JRC, 2016), la cadena de valor de la batería de iones de litio está compuesta por 6 eslabones que van desde la extracción de materias primas hasta el reciclaje de las baterías usadas (**Figura 38**). Las industrias minera y química suministran la gran cantidad de materias primas y procesadas utilizadas en la producción de los diversos componentes de la celda, incluidos el ánodo, el cátodo, el electrolito y el separador. Estos componentes se ensamblan en celdas individuales.

Algunos materiales se producen y utilizan exclusivamente en la producción de celdas de iones de litio, mientras que otros se pueden emplear también para otros fines (estructura, carcasa, dieléctricos, adhesivos, etc.). Cuando las baterías alcanzan el final de su vida útil en su primera aplicación, pueden reciclarse o emplearse alternativamente en una segunda aplicación de uso (por ejemplo, para el almacenamiento de energía estacionaria).



Figura 38: Cadena de valor de las baterías de iones de litio para EVs.

Fuente: Fundar y CIECTI, 2022.

3.6.1. Materias primas

En las celdas de la batería de iones de litio se utiliza una amplia gama de elementos que incluyen litio (Li), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), aluminio (Al), cobre (Cu), silicio (Si), estaño (Sn), titanio (Ti) y carbono (C) en una gran variedad de formas. Algunos de estos materiales tienen una gran importancia económica y, al mismo tiempo, tienen un alto riesgo de suministro y, como tales, se los denomina materias primas críticas (Critic Raw Materials, CRM).

²¹ Electromovilidad en la Argentina: oportunidades y barreras para su desarrollo / Gustavo Baruj ... [et al.]. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundar; Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación-CIECTI, 2022.



Materia prima	Principales productores (2014-2015)	Principales fuentes de importación en la UE (2012)	Índice de sustituibilidad	Tasa de insumos de reciclaje al final de la vida útil
Cobalto	República Democrática del Congo: 51 % China: 6 % Rusia: 5 % Canadá: 5 % Australia: 5 %	Rusia: 96% (minerales de cobalto y sus concentrados) Estados Unidos: 3% (minerales de cobalto y sus concentrados)	0,71	16%
Grafito Natural	China: 66 % India: 14 % Brasil: 7 %	China: 57 % Brasil: 15 % Noruega: 9 %	0,72	0%
Metal de silicio	China: 68 % Rusia: 8 % Estados Unidos: 5 % Noruega: 4 %	Noruega: 38 % Brasil: 24 % China: 8 % Rusia: 7 %	0,81	0%
Litio	Australia: 41 % Chile: 36 % Argentina: 12 % China: 7 %		s/d	s/d

Tabla 3: Principales productores, principal fuente de importación en la UE, índice de sustituibilidad y tasa de reciclaje de cobalto, grafito natural, silicio metal y litio.

Fuente: Science for Policy report (JRC, 2016).

Cátodos

El papel de aluminio se utiliza como colector de corriente para cátodos en células de iones de litio. Los líderes del mercado en la producción de papel de aluminio para aplicaciones de baterías son japoneses. Los óxidos y fosfatos de metales de transición complejos son actualmente los principales materiales activos catódicos utilizados en las células de batería de iones de litio. Estos incluyen: óxido de litio cobalto (LCO), óxido de litio níquel manganeso cobalto (NMC), óxido de litio níquel cobalto aluminio (NCA), óxido de litio manganeso (LMO) y fosfato de litio y hierro (LFP).

La producción de materiales activos catódicos está dominada por Asia, con China a la cabeza fabricando un 39% del total (2015), Japón (19%) y Corea del Sur (7%). Mientras que otros fabricantes de la UE en conjunto alcanzaron 13%.

Debido a que la calidad del material del cátodo afecta el rendimiento general de la celda, y que el control de calidad comienza en la etapa de producción de la materia prima, muchos de los principales fabricantes de celdas de batería como Panasonic (Japón), LG Chem (Corea del Sur), BYD (China) y CATL (China) han optado por desarrollar sus propios materiales catódicos.

Ánodos



La lámina de cobre se utiliza como colector de corriente para ánodos en celdas de iones de litio. Los líderes del mercado en la producción de láminas de cobre para aplicaciones de baterías son japoneses.

Aproximadamente el 40% de la demanda global total de los materiales activos del ánodo se utiliza en baterías de iones de litio para HEV, PHEV y BEV. Históricamente, la producción de materiales activos anódicos ha sido dominada por Japón y China. En 2015, tres empresas concentraban el 61% del mercado mundial mercado (Hitachi Chemicals – Japón– 31%, BTR Energy –China– 19% y Nippon Carbon –Japón– 7%). Otros productores de materiales activos anódicos son Mitsubishi Chemical (Japón), LS Mtron Carbonics (Corea del Sur), ShanshanTech (China), Tokai Carbon (Japón).

Electrolitos

Similar a los materiales activos de cátodo y ánodo, la producción de electrolitos para baterías de iones de litio está dominada por los proveedores asiáticos, con China produciendo en 2015 casi el 60% del total, Japón un 18% y Corea del Sur un 14% (2015).

Separadores

Aproximadamente el 30% del volumen del mercado mundial de separadores se destina a la producción de celdas de baterías de iones de litio para automóviles. En cuanto a los materiales y electrolitos activos de cátodos y ánodos, el mercado de separadores para baterías de iones de litio está dominado por Asia, con una cuota de mercado total de Japón del 48%, China con el 17% y Corea del Sur con un 10% (2015).

3.6.2. Ensamblaje de celdas

Las empresas asiáticas, especialmente Samsung SDI (Corea del Sur), LG Chem (Corea del Sur), Sanyo-Panasonic (Japón), Sony (Japón), CATL (China) y BYD (China), entre otras, dominan la fabricación de celdas de baterías de iones de litio. Los fabricantes de celdas específicamente para aplicaciones automotrices incluyen a Panasonic (Japón), Samsung SDI (Corea del Sur), LG Chem (Corea del Sur), AESC (Japón), GS Yuasa (Japón), Li Energy Japan (Japón), CATL (China), BYD (China), Wanxiang (China), Lishen Tianjin (China) y Toshiba (Japón).

En Estados Unidos se verifica también una importante capacidad de fabricación de celdas automotrices debido a la intervención de Tesla en el mercado.

En la UE no se observa una capacidad de fabricación comparable significativa para celdas de batería de iones de litio; de todos modos, podemos encontrar a Daimler-Mercedes Benz (Alemania) y BMW (Alemania) como exponentes en la región.

4. Reciclado y segunda vida de baterías de litio

La creciente demanda de baterías de iones de litio (LIB: Lithium Ion Battery), asociada al almacenamiento de energía para vehículos eléctricos, electrónica y energías renovables, ha generado preocupación sobre su adecuada eliminación, reciclaje y gestión del final de su vida útil. Actualmente, a nivel mundial, solo la mitad de todas las baterías de litio que llegan al final de su vida útil se reciclan y el resto se elimina en rellenos sanitarios o basurales convencionales. Las baterías de litio se consideran residuos peligrosos por su contenido de sustancias peligrosas, así como de electrolitos inflamables.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) considera las baterías de litio como un residuo peligroso debido a su alta densidad energética y el contenido de elementos peligrosos, incluidos níquel, cobalto y otros químicos orgánicos como electrolitos tóxicos e inflamables, por lo cual las baterías representan un peligro químico y eléctrico (Xu et al., 2008; Departamento de Transporte de EE. UU., 2022).

4.1. Situación a nivel mundial

El uso de baterías de iones de litio ha crecido de manera constante durante la última década, impulsado por el reciente crecimiento exponencial del sector de los vehículos eléctricos, con previsiones mundiales de 140 millones de vehículos eléctricos para 2030 y aproximadamente 11 millones de toneladas métricas de baterías de iones de litio para 2030 (Jacoby, 2019; AIE, 2023). Además, las baterías de litio desempeñan un papel clave en las narrativas de transición energética corporativa: se espera que la demanda global de litio crezca 42 veces entre 2020 y 2040 en un escenario climático que cumpla con el Acuerdo de París, y aún más en un escenario en el que el consumo neto alcanzara cero emisiones para 2050 (Blakemore et al., 2022). Esta situación ha generado preocupación global respecto a la correcta gestión del final de vida (fin de vida: End Of Life) de estas baterías.

Las baterías de vehículos eléctricos comúnmente se consideran inadecuadas cuando su capacidad disminuye al 80% o 70%, dependiendo de la batería y la calidad del vehículo, entre otros factores (Allred, 2021). Tienen una vida útil estimada entre 5 y 10 años (Zhu et al., 2021), por lo que el mercado de su final de vida está desfasado en esa cantidad de años respecto al propio mercado de los vehículos eléctricos.

La capacidad de las baterías de iones de litio se degrada con el tiempo, lo que comúnmente conduce a situaciones en las que las baterías viejas se consideran inadecuadas para una determinada aplicación, pero siguen siendo apropiadas para otras. Esto suele aplicarse a las baterías utilizadas en el sector de la movilidad, donde la capacidad de la batería se correlaciona con el kilometraje de un vehículo.

En este momento, cuando se reemplazan las baterías de los vehículos eléctricos o se desmantela todo el vehículo, la batería se puede probar y utilizar para otros fines (almacenamiento estacionario) (Tankou et al., 2023). Esta denominada 'reutilización' permite extender la vida útil de las baterías durante varios años más y puede tener múltiples efectos secundarios positivos, como el suministro de soluciones asequibles de almacenamiento de energía y la generación de oportunidades comerciales en pruebas y reutilización locales (Angliviel et al., 2021).

4.2. Situación en América Latina y el Caribe

La demanda de baterías de iones de litio está creciendo en América Latina y el Caribe (ALyC) debido al aumento de la generación de energía renovable y la adopción de vehículos eléctricos. La región tiene objetivos ambiciosos para la mitigación del cambio climático y la generación de energía renovable, y se espera que la generación de energía solar aumente en un 550% para 2030 (con respecto a los niveles de 2015) (BID, 2024).

La región conocida como “el triángulo del litio” comprendido por Chile, Bolivia y Argentina, en conjunto con México y Perú poseen el 67% de las reservas mundiales de litio (USGS, 2021). Si bien la minería es un factor económico importante en algunas zonas de la región, también tiene impactos en el ambiente y las comunidades locales. El alcance de los impactos sociales y ambientales de la minería depende en gran medida del contexto local y del mineral extraído.

En ALyC, la demanda de baterías de litio ha estado en constante crecimiento, con varios países de la región buscando aumentar su producción de energía renovable y promover la adopción de vehículos eléctricos (López Soto et al., 2022).

Actualmente, los procesos de reciclaje de baterías de iones de litio en ALyC se limitan al pretratamiento mecánico y la separación de diferentes fracciones.

En la mayoría de los países, la gestión del fin de vida de las baterías todavía está cubierta por regímenes más amplios de gestión de residuos sólidos. Esto no es particularmente alentador en una región donde solo el 55% de los residuos sólidos se gestionan adecuadamente (Obaya y Céspedes, 2021).

En este complejo contexto, los procesos de reciclaje y/o reutilización presentan una opción viable para reintroducir los componentes de las baterías de iones de litio en el ciclo económico, reduciendo así la necesidad de materias primas primarias (Velázquez-Martínez et al., 2019).

Además, hay pocos actores activos en el mercado local de reciclaje y reutilización, algunos de ellos son nuevos actores del mercado y otros aún se encuentran en una etapa piloto. Como consecuencia, las baterías usadas deben transportarse a largas distancias, y los costos de transporte adicionales aumentan los costos generales de reciclaje y reutilización, o exportarse para su procesamiento en otros países.

Los países de la región cuentan con una infraestructura limitada para la reutilización y el reciclaje de baterías de litio (BID, 2024).

La recolección de baterías sigue siendo un desafío para la región debido a varias razones, incluida la falta de cumplimiento de las tasas de recolección obligatorias y, en otros casos, la ausencia de tasas de recolección (en el caso de baterías a gran escala, como las baterías para electromovilidad, se están introduciendo objetivos de recuperación).

4.3. Responsabilidad Extendida del Productor

La Responsabilidad Extendida del Productor (REP) extiende la responsabilidad del productor a la fase post-consumo del ciclo de vida de un producto (**Figura 39**). Esta responsabilidad puede ser económica y/o física y puede recaer total o parcialmente en el productor (OECD, 2022). “La responsabilidad física se refiere a garantizar el tratamiento de los productos de desecho, incluida la recolección, el transporte, la clasificación, la reutilización, el reciclaje y la eliminación [...]. La responsabilidad financiera se refiere a la financiación de las actividades antes mencionadas y permite a los productores internalizar los costos del tratamiento de residuos e incorporarlos a sus precios” (Neumann et al., 2022).

Uno de los antecedentes de un cuerpo normativo que aplicó el principio de responsabilidad extendida del productor respecto a la gestión de pilas usadas, fue el caso de Suiza finalizando la década de 1980.

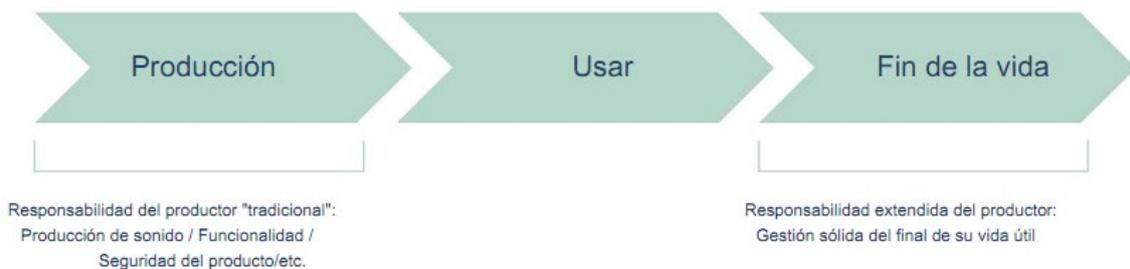


Figura 39: El concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Fuente: Instituto Oeko.

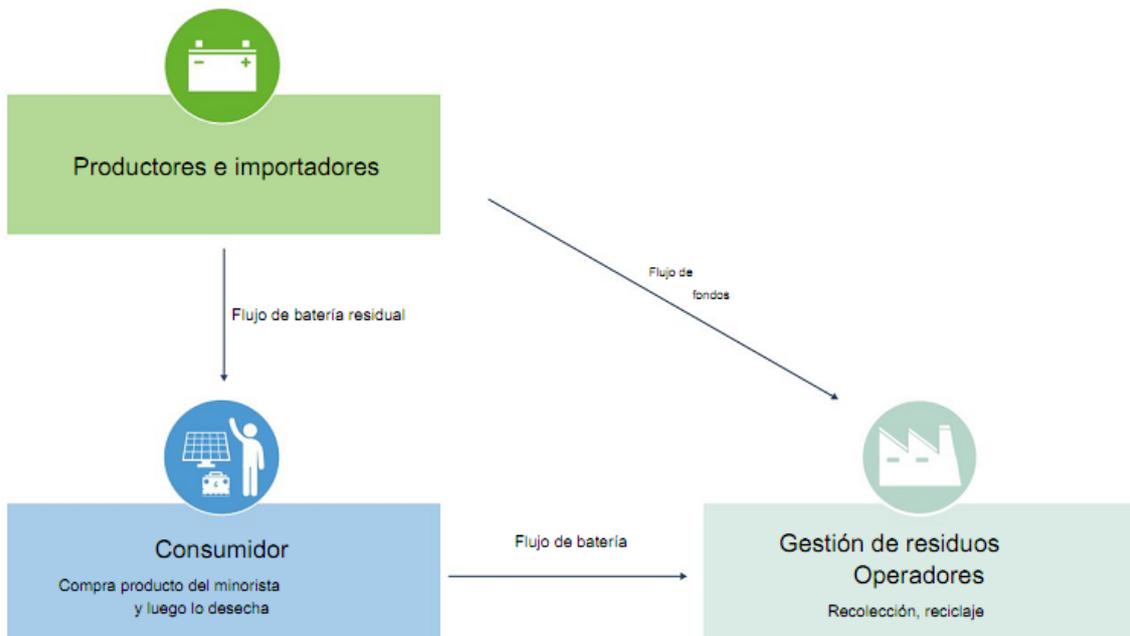


Figura 40: Cumplimiento individual de la responsabilidad física por baterías usadas. Fuente: Adaptación de (PREVENT Waste Alliance 2020).

Alternativamente, la responsabilidad puede cumplirse colectivamente (**Figura 41**). En este último caso, varios productores asignan una Organización de Responsabilidad del Productor (PRO) para realizar la tarea de recolección y gestión del final de vida en su nombre.

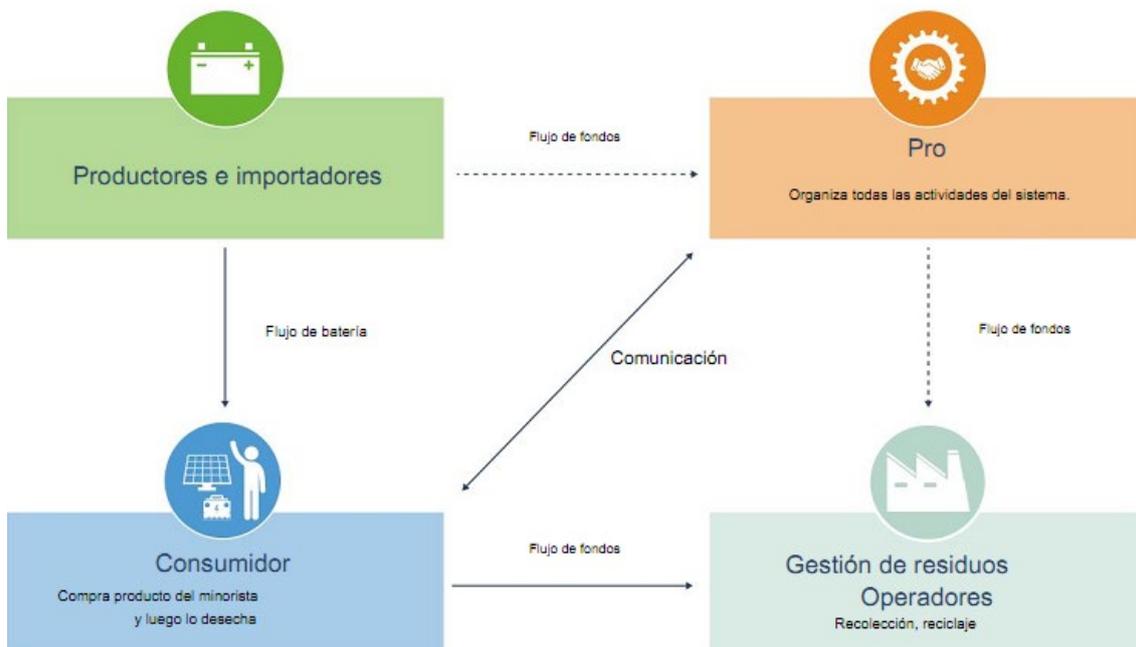


Figura 41: Cumplimiento colectivo de la responsabilidad física por baterías de desecho involucrando a una Organización de Responsabilidad del Productor. Fuente: Adaptación de (PREVENT Waste Alliance 2020).

4.4. Actualidad del reciclado y reutilización

La recuperación de los elementos y materiales componentes de una batería de un vehículo eléctrico reduce el impacto ambiental (energía, emisiones de CO₂) de su ciclo de vida, al producir un menor impacto que la minería original de las materias primas (Stewart y Mann, 2019; Pagliaro y Meneguzzo, 2019).

Los procesos de reciclaje deben buscar la eficiencia energética y en lo posible no producir más impactos ambientales como lixiviados o efluentes gaseosos, que no sean tratables en forma viable (Zagrodny, 2023).

En general, muchos tipos de baterías de litio al final de su vida útil no tienen suficiente valor material para ser atractivos para los comerciantes de chatarra y los recicladores locales. Si bien se pueden generar algunos ingresos a partir de la recuperación de materiales, a menudo no cubren los costos totales de la logística inversa y las operaciones de reciclaje (Angliviell, et al.2021; Manhart et al., 2022). Por lo tanto, la recogida depende en gran medida de sistemas y normas obligatorios que deleguen la obligación de una recogida, un transporte y un tratamiento responsable (que abarque la reutilización/reutilización y el reciclaje) en agentes claramente identificables.

Las baterías de litio al final de su vida útil conllevan algunos riesgos de incendio y explosión (en caso de generación y acumulación de gases en sus gabinetes estancos), que

se originan por su contenido en sustancias inflamables, así como de una posible carga eléctrica residual.

4.5. Economía circular

En la economía circular (**Figura 42**) se propone minimizar el consumo de nuevos materiales (de minería primaria), reemplazándolos por materiales recuperados (de minería secundaria o urbana), y reducir así el consumo de energía y las emisiones, respecto a los procesos de extracción primarios, lo que reduce la presión ambiental que se asocia al ciclo de vida de los productos, desde la extracción de los recursos, pasando por la producción y el uso, hasta el final de la vida útil (Clerc et al., 2021). Con este enfoque los residuos no son vistos como desecho sino como recursos, lo que es importante si se considera que, para alcanzar un desarrollo económico sostenible y parejo en todo el mundo hacia 2050, es necesario reducir un 90% (un factor 10, conocido como el postulado del “Factor X”) el uso de materiales en los países industrializados (Lehmann, 2018). Una adecuada gestión de los residuos implica priorizar la prevención, la reutilización, el reciclado y la recuperación de energía por sobre la disposición final (Lansink, 2018).

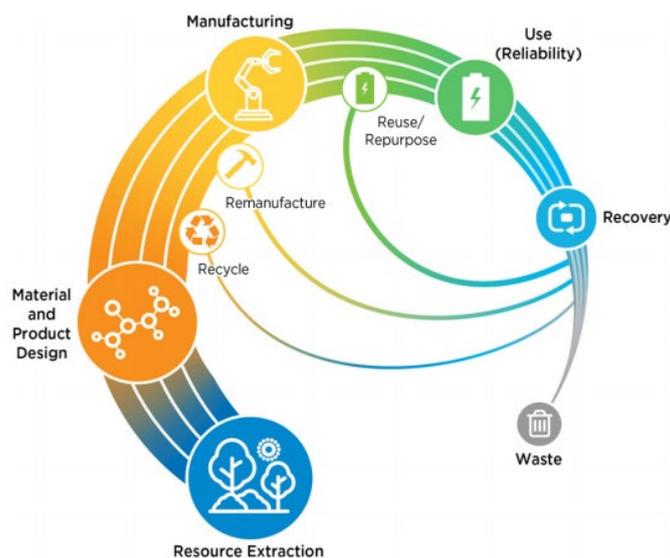
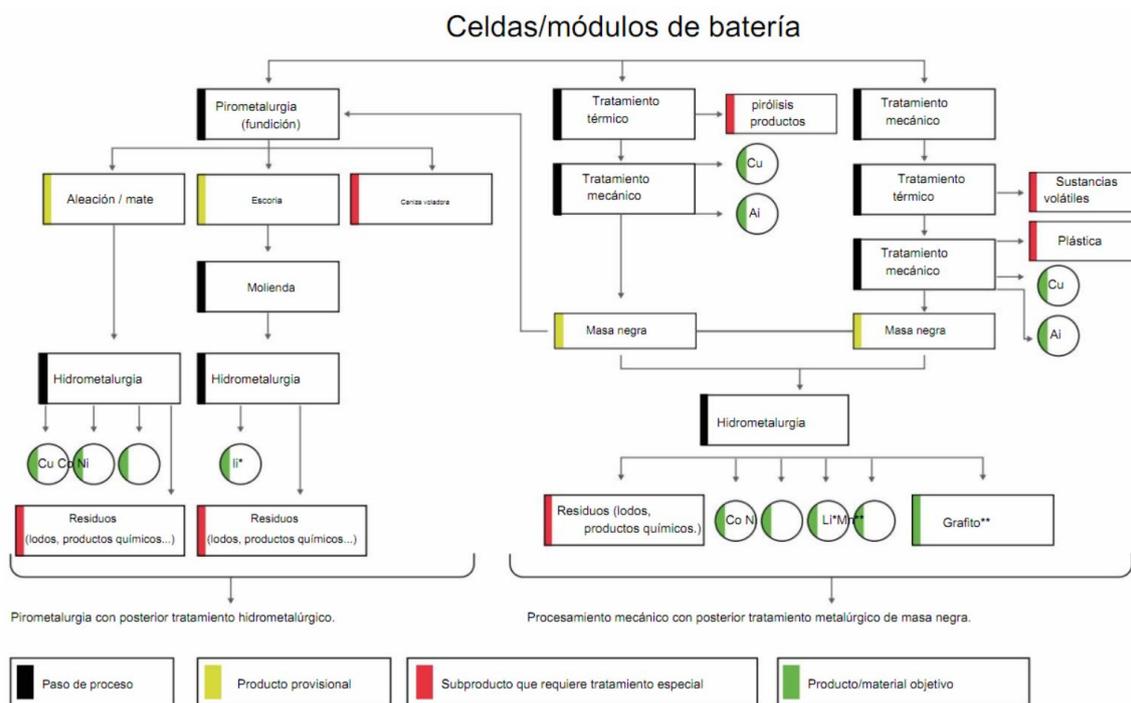


Figura 42: Diagrama de economía circular en baterías de litio. Fuente: CTI TOOL.

4.6. Reciclado y reutilización

Los procesos de reciclado y recuperación de materias primas (**Figura 43**) se pueden clasificar en algunos tipos principales:

- Pirometalurgia con posterior tratamiento hidrometalúrgico posterior.
- Procesamiento mecánico con posterior tratamiento metalúrgico de masa negra.
- Reciclaje directo.



* Recuperación desafiante (técnica y/o económicamente)
 **Aún no recuperado a escala industrial

Figura 43: Diagrama de flujo general de las principales vías de reciclaje de baterías de litio. Fuente: Adaptado de (Brückner et al., 2020).

4.6.1. Pirometalurgia con tratamiento hidrometalúrgico posterior

En este tipo de procesos las baterías se introducen directamente en un horno de fundición. Las altas temperaturas y los agentes reductores derriten y reducen los metales incrustados, que forman una aleación que contiene el cobre, el níquel y el cobalto de las baterías. El aluminio, el hierro, las impurezas y algunos oligoelementos, incluido el litio, forman una escoria. Los principales desafíos para el tratamiento pirometalúrgico están relacionados con el contenido de flúor y litio de las baterías, que pueden atacar el revestimiento refractario del horno y otras partes del sistema (Brückner et al., 2020). Los contenidos orgánicos (plásticos, electrolitos, grafito) aportan una gran cantidad de energía, que debe considerarse en el proceso de fundición. Posteriormente dicha aleación fundida se procesa con métodos hidrometalúrgicos y extracción por electrólisis para recuperar los metales (Cu, Co, Ni) en forma pura.

La concentración de óxido de litio (LiO_2) en las escorias de la fundición ronda 8 a 10 %, que es similar a la de los concentrados de litio de la minería de espodumena (como en las minas de Australia). En un paso posterior, el carbonato de litio (Li_2CO_3) se puede recuperar de dichas escorias mediante molienda, lixiviación ácida, filtración y precipitación (Brückner et al., 2020).

4.6.2. Procesamiento mecánico con posterior tratamiento metalúrgico de masa negra.

Para evitar la complejidad del tratamiento térmico, algunos métodos inician el proceso de reciclaje con una trituración mecánica de las baterías, seguida de la eliminación de sustancias volátiles y una clasificación automática.

El procesamiento mecánico de baterías de litio tiene como fin separar los distintos materiales (cobre, aluminio, masa negra) en flujos de salida definidos. Mientras que el cobre y aluminio, así como la fracción de metales ferrosos, se destinan al respectivo procesamiento de metales básicos. El polvo separado, denominado "masa negra" (grafito, litio, cobalto, níquel y manganeso) se entrega a un tratamiento especializado para recuperación de metales.

Para evitar riesgos de incendio y explosión en la trituración, suele aplicarse una doble estrategia donde las baterías se descargan previamente y luego la trituración se realiza en condiciones inertes (por ejemplo, trituración en cámara de nitrógeno).

La salida de la trituradora todavía contiene sustancias volátiles que deben eliminarse antes de continuar con el procesamiento. Esto se hace mediante calentamiento y/o destilación al vacío donde se capturan los compuestos evaporados.

Estos procesos generan gases altamente corrosivos y peligrosos, que deben capturarse y tratarse (Sojka et al., 2020).

La mezcla resultante de metales y masa negra se separa en una secuencia de pasos mecánicos.

4.6.3. Reciclaje directo

Tiene como objetivo recuperar material de cátodo y ánodo (y potencialmente también electrolito) en una forma que pueda volver a aplicarse directamente en la producción de baterías de iones de litio. En principio, los óxidos de metal mixto del cátodo se pueden reincorporar en un nuevo cátodo con cambios mínimos en la morfología del cristal del material activo. Se han probado con éxito pruebas a escala de laboratorio y se espera que dichos métodos puedan ahorrar energía y emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las vías de reciclaje más convencionales descritas con anterioridad (Zachary J. Baum et al., 2022).

Este método requiere el procesamiento de baterías con una química de celda idéntica y diseños de batería idealmente uniformes y requieren el desmantelamiento de las celdas hasta sus componentes de cátodo, ánodo y separador para su tratamiento por separado (Pagliaro y Meneguzzo, 2019).

Las baterías usadas tienen una amplia variedad de formas y productos químicos y, por lo general, llegan como una mezcla a los recicladores. Lo que presenta un desafío para el reciclado directo.

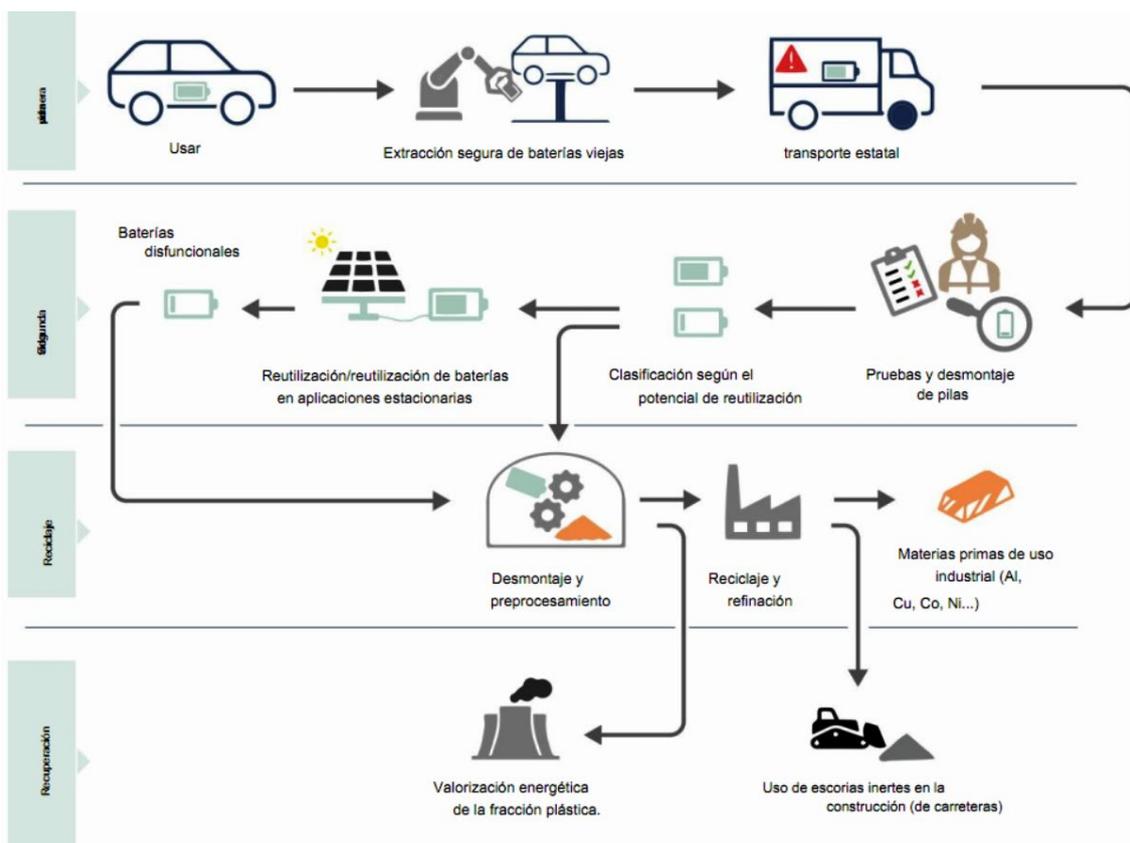


Figura 44: Cadena de suministro inversa optimizada para baterías de vehículos eléctricos. Fuente: Instituto Oeko.

4.7. Marcos normativos

A continuación, se presentan las normativas y regulaciones sobre la gestión de baterías retiradas de vehículos eléctricos, tanto en América Latina como en otras regiones del mundo.

4.7.1. América Latina

Las normativas sobre la gestión de baterías retiradas de la movilidad eléctrica son muy recientes y/o están en preparación en muchos países del mundo, la región de Latinoamérica no es una excepción.

Además, existe en algunos países de la región un movimiento hacia las conversiones de autos de combustión usados a autos eléctricos, “retrofit”. En Latinoamérica existen ya en discusión algunos reglamentos sobre conversiones de vehículos usados en eléctricos, y en 2021 se formuló una propuesta desde la CEPAL conteniendo elementos para un marco regulatorio que acelere la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles.

Chile

En Chile se presenta la ley 20.920 promulgada en 2016 que establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje²².

También ha sido elaborado un estudio particular para la gestión de pilas y baterías secundarias que se puede encontrar en WSP Ambiental y RIGK Chile (2020).

Por otra parte, el Ministerio del Medio Ambiente, está preparando una norma específica para la reutilización y reciclaje de baterías de la electromovilidad (Taborelli, 2022), de acuerdo con su Estrategia Nacional de Electromovilidad y los principios de economía circular.

Uruguay

En este país se encuentra vigente la ley N° 19.829 de gestión integral de residuos²³, la cual incluye dentro de los residuos especiales a los residuos de baterías y pilas. El artículo 5 también establece la necesidad de que exista reglamentación específica para este tipo de residuos. En el artículo 41 se establece la responsabilidad extendida del fabricante e importador en la gestión de los residuos especiales.

El decreto 373/003 relacionado con la acumulación, regula el manejo y disposición de baterías plomo-ácido usadas o a ser desechadas²⁴. A principios de 2022, se estaba trabajando en una propuesta de modificación de ese decreto para incorporar las baterías de vehículos eléctricos, y que se encontraba a revisión en la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA) del Ministerio de Medio Ambiente (MOVÉS, 2022).

Colombia

Si bien Colombia no presenta legislación específica sobre las baterías de los vehículos eléctricos, estas se enmarcan en la normativa general de residuos y en 2021 ya se había comenzado a trabajar en la generación de un documento específico para vehículos eléctricos (Portaluppi, 2021).

4.7.2. El Mundo

Estados Unidos

En este país existe la ley de baterías recargables y que contienen mercurio (Mercury-Containing and Rechargeable Battery Act, 1996).

La ley federal requiere con ciertas excepciones, que las baterías usadas de níquel-cadmio (Ni-Cd) y plomo (Pb) se manejen como desechos universales, prohíbe a los manipuladores y/o contratistas deshacerse de dichas baterías e indica que las mismas deben enviarse para su reciclaje. Aunque no menciona a las baterías de litio y tampoco

²² Véase <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>

²³ Véase <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/19829-2019>

²⁴ Véase <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/373-2003>

existe una ley más actualizada a nivel nacional sobre el tema, sí existen disposiciones en los estados que componen el país.

Las baterías de litio están reguladas como sustancias peligrosas en el Código de Regulaciones Federales, título 49, párrafos 173.185 y 175.10, que establecen una gran cantidad de requisitos para su tratamiento y transporte²⁵. Adhiere a las definiciones de la sección 38.3 del Manual de Pruebas y Criterios de UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). En esa sección especifica los procedimientos que han de seguirse para la clasificación de las pilas y baterías de litio metálico y de iones de litio (ONU, 2019).

En las secciones 40207 de procesamiento y fabricación de baterías, y 40208 del programa de reciclaje y aplicaciones de segunda vida para baterías de vehículos de motor eléctrico se establecen una gran cantidad de definiciones sobre los términos relacionados, a los materiales para baterías, minerales críticos, segunda vida y reciclaje de baterías, entre muchos otros.

En el estado de California, desde 2006 se prohíbe la eliminación de desechos sólidos de las baterías recargables, incluyendo NiCd, Ni-MH, LIB, y Pb-ácido selladas, debido al contenido de materiales peligrosos.

En Nueva York, se sancionó en 2010 la Ley de Baterías Recargables, la que incluye la prohibición de desechar baterías recargables (incluyendo Ni-Cd, Ni-MH, LIB, Pb-ácido, y cualquier otra batería o paquete de baterías recargable de menos de 11 kg). La ley requiere que los fabricantes de baterías recargables cubiertas que comercializan en el Estado de Nueva York recolecten y reciclen las baterías recargables a través de un programa financiado por el fabricante sin costo para los consumidores (DEC, web).

Por otro lado, la Asociación de Baterías Recargables Portátiles (PRBA por sus siglas en inglés), que representa a la industria de las baterías portátiles, y desde los años 90 trabaja en programas de reciclaje y estandarización. Entre otras acciones, en 2010 y 2011 esta Asociación²⁶ organizó una coalición de fabricantes de baterías de consumo y productos que funcionan con baterías, aerolíneas y otros intereses comerciales, e intervino en una normativa del Departamento de Transporte sobre baterías de litio.

²⁵ Véase <https://www.prba.org/areas-of-focus/regulations-and-standards/federal/>

²⁶ Véase <https://www.prba.org/>

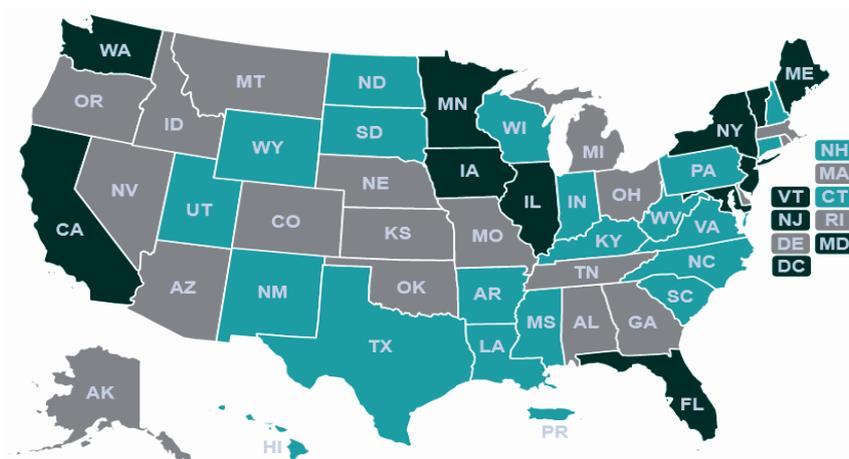


Figura 45: Normativas sobre reciclado por estado en EUA (Celeste: Requerimientos existentes para reciclado de baterías. Negro: Productores obligados a ofrecer o guiar el reciclaje de baterías. Gris: Sin requerimientos específicos). Fuente: call2recycle.org²⁷

Unión Europea

En la Unión Europea, la Directiva 2006/66/CE define que las baterías de los vehículos eléctricos, incluyendo los livianos, son consideradas baterías industriales. Esa directiva clasifica las pilas, acumuladores y baterías, en tres categorías:

- Baterías de automoción.
- Baterías industriales: esta categoría incluye a los acumuladores empleados en relación con aplicaciones de energía renovable y los utilizados en vehículos eléctricos.
- Pilas y acumuladores portátiles.

La evolución normativa de pilas y acumuladores en el espacio de la Unión Europea²⁸ comenzó en 1991 con la directiva 91/157/CEE, la cual tuvo por objeto consensuar las legislaciones de los estados miembros sobre la valorización y eliminación controlada de productos que contengan pilas y sustancias peligrosas.

Posteriormente algunos países individuales fueron creando legislaciones como en Alemania, en 1998 GRS Batterien; en España, en 2000 Ecopilas; en Bélgica en 1995, BEBAT y comenzaron con la implementación de sus sistemas de tratamiento.

Recién en 2006 entra en vigor la directiva 2006/66/EC sobre acumuladores y/o baterías a nivel general de la Unión Europea (WSP Ambiental y RIGK Chile, 2020).

En la actualidad hay varias directivas del Parlamento Europeo y del Consejo sobre residuos que conciernen directa o indirectamente a la gestión de baterías de vehículos eléctricos, y que orientan su cometido hacia las metas del Plan de Acción de Economía

²⁷ Véase <https://www.call2recycle.org/recycling-laws-by-state/>

²⁸ Véase https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators_en

Circular, en el marco del Pacto Verde Europeo: Baterías sostenibles para una economía circular y climáticamente neutra²⁹.

Del Pacto Verde Europeo³⁰ se puede extraer el siguiente texto: “La Comisión Europea propone hoy modernizar la legislación de la Unión Europea sobre baterías, y presenta su primera iniciativa de las acciones anunciadas dentro del Plan de Acción para la Economía Circular. Unas baterías que sean más sostenibles a lo largo de todo su ciclo de vida resultan clave para los objetivos del Pacto Verde Europeo”. También se menciona: “A partir del 1 de julio de 2024, sólo podrán comercializarse las baterías de vehículos eléctricos e industriales recargables que cuenten con una declaración de huella de carbono”.

El Reglamento propuesto establece un marco que facilitará la reutilización de las baterías de los vehículos eléctricos para que puedan tener una segunda vida en sistemas de almacenamiento de energía u otros usos.

La más reciente directiva (UE)2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, modifica la directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil y consolida el principio de jerarquía de residuos establecido en la directiva 2008/98/CE sobre los residuos, instando a la adopción de las medidas necesarias que permitan garantizar la aplicación práctica del orden de prioridades de la jerarquía de residuos.

El reglamento UE 2019/1020³¹, puesto en vigencia en 16/07/2021, es un reglamento que introduce restricciones relativas a la vigilancia del mercado y la conformidad de los productos, fortaleciendo la estructura regulatoria de aceptación de productos dentro del espacio de la UE, definiendo “productos sustentables”, afectando también a las baterías que se comercializan en la Unión Europea. A su vez, intenta modificar la directiva 2006/66/CE para asegurar que el marco legal de baterías de la Unión Europea regula efectivamente todo el ciclo de vida de las baterías, desde el origen hasta su reciclaje, en respuesta al Plan de Economía Circular, y como parte del “Plan Estratégico de Acción de Baterías”, publicado en mayo de 2018; promueve un uso más eficiente de los recursos elevando las tasas de recolección y reciclaje de baterías portátiles, enfocados en recuperar cobalto, litio, níquel y plomo de todas las baterías recicladas y, el proceso seguirá una metodología armonizada (UOL, 14/12/2021).

La Comisión de Medio Ambiente adoptó el 10/02/2022 una nueva posición sobre las normas propuestas para regular todo el ciclo de vida de las baterías, desde su diseño hasta el final de su vida útil.

China

El mayor mercado de producción y reciclado de baterías de litio se encuentra en la República Popular China.

Ciertas normativas de gestión de residuos atañen a otros países como la “Nota sobre asuntos relacionados a la prohibición total de importaciones de residuos sólidos” (Notice

²⁹ Véase https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2312

³⁰ Véase https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

³¹ Véase <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/LSU/?uri=CELEX%3A32019R1020>

on Matters Related to the Total Ban on Solid Waste Import³²), sancionada en 2017, limitó la importación de ciertas clases específicas de residuos; luego, en 2020 la prohibición se extendió a todos los tipos de residuos de otros países. Esto implica que el reciclaje de baterías de litio en los demás países debe ser transferido de China a otras naciones con similares costos laborales, o bien, que los países se ven obligados a desarrollar sus capacidades de reciclaje locales.

El término "segunda vida" en China es conocido como utilización en "escalera" y se refiere a la política china de "primero el uso más urgente". Esta segunda vida se emplea en numerosas aplicaciones estacionarias de almacenamiento de energía, vehículos con menores requerimientos de velocidad, entre muchos otros.

En 2018 comenzó la primera tanda de regulaciones de reciclaje de baterías de vehículos de nueva energía (NEV - New Energy Vehicles, como se los llama en China). Ese año el gobierno chino enumeró una lista inicial de cinco empresas de reciclaje reconocidas oficialmente para esa tarea, también hizo responsable a los fabricantes de automóviles (siguiendo el principio de responsabilidad extendida al productor) por el reciclaje de las baterías de sus vehículos, y estipula directivas para que los fabricantes de vehículos eléctricos asuman un papel más activo en el reciclaje de baterías. Se puso en funcionamiento una "Plataforma de gestión de la trazabilidad" para ayudar a supervisar y gestionar el proceso.

Además de los proyectos oficiales, en China ha surgido una multitud de negocios de reciclaje más pequeños e informales, los cuales a menudo evitan cumplir con las reglamentaciones vigentes y no necesariamente recuperan todos los recursos valiosos, además de descuidar la correcta disposición de los residuos producidos. El reciclaje informal dificulta la conciencia de los usuarios acerca de la importancia ambiental del correcto tratamiento (Li et al, 2020).

El avance más significativo comenzó a mediados de 2021 cuando el gobierno chino publicó el 14° Plan Quinquenal 2021-2025 del país, centrado principalmente en las industrias de transporte eléctrico en todos los aspectos, desde energía y materias primas, hasta fabricación, reutilización y reciclaje en un plan de desarrollo de economía circular. Éste establece el objetivo de construir un sistema de reciclaje de baterías más completo hasta 2025. Durante los siguientes seis meses hasta las últimas directivas en diciembre de 2021, el gobierno chino ha establecido pautas para la transformación deseada, y reiteró la importancia de la innovación y el desarrollo de modelos comerciales de "internet + reciclaje" (Hampel, 2022). En agosto de 2021, se enfocó la utilización secundaria de baterías de vehículos de nueva energía cuando el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información emitió la directiva denominada "Medidas de gestión para la utilización gradual de baterías de vehículos de nueva energía".

Los aspectos fundamentales de estas medidas sancionadas en 2018 y revisadas en diciembre de 2021 son (Li et al, 2020):

³² http://www.xinhuanet.com/english/2020-11/27/c_139547665.htm

- Los fabricantes de vehículos eléctricos son responsables del desperdicio de baterías de vehículos eléctricos y tratamiento, basado en el concepto de responsabilidad extendida del producto.
- Se alienta a los fabricantes de baterías a diseñar baterías de manera que sean fáciles de desmontar, y también se les exige que proporcionen a los fabricantes de vehículos eléctricos los detalles técnicos necesarios para el tratamiento de la batería al final de su vida útil.
- Se recomienda la aplicación en cascada o escalera de baterías de vehículos eléctricos de desecho.
- El Ministerio de Industria y Tecnología de la Información y otros departamentos relevantes se hacen responsables de seguir avanzando en la estandarización del tratamiento de baterías de desecho y de implementar un sistema de información para regular este proceso.

En diciembre de 2021, junto con otros departamentos relevantes, el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información actualizó el plan de "Medidas Provisionales para la Gestión del Reciclaje y la Reutilización de Baterías de Energía de vehículos de nueva energía". Esto incluyó la implementación de la gestión de trazabilidad del ciclo de vida completo de las baterías e incluye proyectos piloto en Beijing, Tianjin, Hebei y otras 17 regiones, así como la participación de China Tower Company con directivas prioritarias de utilización en cascada para promover la cooperación interregional y la sinergia de la cadena industrial (Hampel, 2022).

Debido a ciertas fallas regulatorias, sumadas a la falta de estandarización general de las baterías, en cuanto a formatos y químicas, los costos del reciclado y una baja rentabilidad de la industria del reciclaje, los fabricantes en China están pidiendo el soporte de las políticas de incentivos para los primeros años de la industria del reciclaje (Global Times, 2021).

4.8. Futuro del reciclado y reutilización

Desarrollo de cadenas de valor asociadas y generación de empleo

Según algunos organismos internacionales de la industria de las baterías, la implementación de la infraestructura necesaria para la gestión del fin de vida de baterías de litio en la región creará empleo directo e indirecto para recolectores de baterías, recicladores y empresas de gestión de residuos y aplicaciones de reciclaje y reutilización de batería de litio. A nivel mundial, se espera que el empleo en la cadena de valor de baterías de litio aumente a un total de 10 millones de puestos de trabajo para 2030, y más de la mitad de estos empleos en países en desarrollo (Global Battery Alliance; WEF, 2019). Además, la cadena de valor asociada a la fase de uso y reciclaje (incluidos los vehículos eléctricos y las aplicaciones estacionarias) de batería de litio tiene un potencial de creación de empleo de 5 a 10 veces mayor que el número de empleos asociados directa o indirectamente a la producción de baterías (materiales, celdas para paquete) (Fraunhofer; EIT Raw Materials, 2021).

Más allá de los beneficios económicos de promover la reutilización y el reciclaje de batería de litio, la adopción de mejores prácticas globales para la gestión de fin de vida brindará beneficios adicionales a la región en términos del desarrollo de cadenas de valor asociadas a batería de litio y la creación de empleo.



La introducción del reciclaje y la reutilización de batería de litio aumentará la demanda de mano de obra calificada en las áreas de conocimientos académicos y técnicos, incluidos economistas, expertos ambientales, personal técnico e ingenieros en áreas de electromovilidad, aplicaciones de almacenamiento estacionario, baterías, sistemas de gestión (BMS), control de baterías e integración de sistemas, pruebas de baterías, aplicación de baterías, manipulación de baterías y seguridad (Ibid).

El número de puestos de trabajo en áreas que no son académicas ni técnicas también está creciendo, estos trabajos incluyen ventas y marketing de aplicaciones y productos finales asociados a baterías de litio. A partir de 2021, la tasa de personal ocupado se divide en 20% académico y 80% técnico a no técnico. Como resultado, a largo plazo probablemente habrá una demanda de profesionales en el campo de las baterías, en Europa se necesitarán entre 100.000 y 200.000 expertos con formación académica y experiencia en el sector de las baterías (Fraunhofer; EIT Raw Materials, 2021).



5. Consideraciones finales

Resulta necesario cuestionarse si realmente se está avanzando en la dirección y velocidad adecuada hacia la descarbonización del sector transporte en Argentina y en particular, si la movilidad eléctrica en vehículos particulares impulsada por Europa y Occidente son la mejor opción en el corto y mediano plazo para Argentina. Para atender a esta cuestión se recurre al trabajo realizado por los investigadores Molinari, Mansur y Chemes de la Universidad Tecnológica Nacional, regionales Córdoba y Rosario.

El Plan Nacional de Transporte Sostenible plantea una reducción de 5,84 millones de toneladas de CO_{2eq} para 2030, apenas el 10% de las emisiones generadas por el sector (Ministerio de transporte, 2022). Además, esboza como uno de sus objetivos iniciales mudar el 10% de los modos de transporte de carga y pasajeros con movilidad eléctrica y gas natural, de la siguiente manera: 10.000 unidades nuevas de transporte público y particular con movilidad eléctrica y 90.000 unidades a gas, sin una definición temporal.

Si hacemos un breve análisis de composición del mercado nacional, el transporte de pasajeros y cargas en Argentina, según el Balance Energético Nacional, representa en 2022 el 31,5% del consumo energético del país (Secretaría de Energía de la Nación, 2023). Además, el Cuarto Informe Bienal de Actualización IBA (MAyDS, 2021), indica que el transporte emite en Argentina 51,05 millones de toneladas de CO_{2eq}, un 27% del total en el sector energético y un 13,49% sobre las emisiones totales del país. Este último valor es superior a la contribución de la generación de energía eléctrica del país que representó el 11,14%. Las emisiones dentro del sector transporte corresponden 90,1% al terrestre, 3,7% a la aviación civil, 2% a la navegación, 1% al sector ferroviario y otros un 3,3%.

En términos de utilización de combustibles para el transporte terrestre, se utiliza el 66% del gasoil consumido en el país (en esta parte del análisis no se contabiliza el uso del gasoil en la actividad agrícola), el 100% de las naftas y el 11,3% del gas natural. Según la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFA), en términos absolutos, durante 2022 se vendieron 9.919 millones de metros cúbicos de naftas y 14.778 millones de metros cúbicos de gasoil de diferentes grados.

Según la Dirección Nacional de Registros de la Propiedad Automotor a fines de 2022, en Argentina existe un parque activo de vehículos en condiciones de circular de 17.356.861, y según ADEFA 4.349.210 de esos vehículos no están identificados, pero se puede tomar como válido que el 75,7% son automóviles, el 18,9% son livianos, 4,9% vehículos de carga, y 0,6% transporte de pasajeros. Del total de vehículos el 63% corresponden a nafteros, el 24,8% a diésel y el 11% son convertidos a GNC.

Por lo tanto, de las cifras anteriores, se puede estimar que a finales de 2022 en Argentina circularon 13.139.143 de automóviles. De ese total 10.934.822 son automóviles nafteros, 1.909.255 son automóviles nafteros convertidos a GNC y 295.066 son automóviles diésel. Para completar el análisis de movilidad privada de usuarios particulares, se debería también considerar las pickups y vehículos comerciales livianos que pueden en algunos casos tener la función de traslado particular de pasajeros, representando esta categoría una parte de ese 18,9% de vehículos livianos, pero quedará afuera del análisis por el momento.

Para el primer punto de este estudio, debe cuestionarse si una reducción de emisiones del 10% en el sector, con semejante peso en las emisiones totales, es realmente un esfuerzo importante; y, sobre todo, si esta medida impulsa realmente la transformación a la velocidad que el sector lo necesita.

Este análisis debe realizarse no solo sobre el concepto del aporte a la mitigación del aumento de la temperatura media del planeta, sino a la posición de la economía argentina en los mercados internacionales. No se trata solo de un esfuerzo a nivel sociedad para reducir emisiones, sino de poner a disposición las facilidades y herramientas que las empresas de Argentina necesitan para acceder a mercados que ya están poniendo barreras anti-filtración de emisiones de origen.

En el país existen muchos casos de empresas multinacionales o nacionales con alto nivel de exportación, que tienen exigencias de sus casas matrices o sus mercados destino en cuanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que no son capaces de cumplirlas porque el mercado no tiene capacidad de brindar esas soluciones, ya sea por el bajo volumen requerido o por impedimento de alguna legislación. Esto podría representar un riesgo para la economía local, ya que, si las empresas no logran adaptarse, de a poco perderán competitividad a nivel internacional. Un claro ejemplo de ello son las demandas de energía renovable por parte de empresas que, por cuestiones particulares como sus escalas, no pueden participar del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) para comprar energía renovable en un Mercado a Término de Energías Renovables (MATER), y por una cuestión física no pueden realizar generación distribuida renovable.

Entonces, volviendo al inicio, establecer como razonable un escenario de conversión de 90.000 vehículos a GNC por año que es lo que ya el mercado mismo viene realizando, pero sin que esto implique aumentar el porcentaje del parque de vehículos a GNC, entendiendo que con esta medida se reducen naturalmente las emisiones al menos a la mitad, parece ser una cuestión a revisar, en un contexto donde se propone avanzar sobre movilidad eléctrica sin definir cuestiones fundamentales como la generación y la infraestructura necesaria para que ello suceda. Sobre todo, en un país donde se cuenta con recursos territoriales como el gas de vaca muerta o los agrocombustibles de la región centro para resolver las emisiones en el transporte de otro modo.

5.1. Movilidad eléctrica, consumo de energía y abastecimiento

Para ahondar en el análisis, se ponen a consideración algunos cálculos y estimaciones para evaluar la factibilidad real del desarrollo de la movilidad particular mediante vehículos eléctricos en Argentina, en el marco de la transición y transformación energética.

Un auto eléctrico consume aproximadamente, 15 kWh de energía por cada 100 kilómetros (Baruj & Dulcich, 2021). Asumiendo que en promedio cada vehículo recorre 15.000 km al año, requeriría unos 2.250 kWh/año. Es decir, que un parque automotor como el argentino (13.139.143 automóviles) demandaría aproximadamente 30 TWh/año.

Esto equivale, según el informe Anual de CAMESA (2023), a más del 21,7% de toda la energía eléctrica demandada por año en Argentina, o el equivalente a casi duplicar el consumo eléctrico para todo el sector industrial nacional.

Para que esta opción sea sostenible como parte de una rigurosa estrategia de transición energética, esa energía debería ser a partir de fuentes renovables o de bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Es decir que equivaldría a la energía que suministrarían 2 nuevas centrales como Yacyretá, o 4 complejos nucleares nuevos como los actuales (Atucha I, Atucha II y Embalse), multiplicar por 4,5 la cantidad de aerogeneradores instalados, o por 30 los parques solares construidos hasta el momento a partir del programa Renovar (Programa de abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.).

Resultan objetivos muy difíciles de lograr en el corto y mediano plazo, a la luz del tiempo que lleva en Argentina desarrollar este tipo de infraestructuras. Para graficar temporalmente esta escalada de generación de energía, a partir de la experiencia argentina, solo en lo que se refiere a la construcción de este tipo de obras, se puede mencionar que las 2 centrales hidroeléctricas, Néstor Kirchner y Capernic (1.310 MW de potencia total) llevan 10 años de ejecución con un bajo nivel de avance. Otro ejemplo puede ser Atucha II, la piedra fundamental de esta central se colocó en 1982 y comenzó a entregar energía a la red en 2014, 32 años después.

Por otro lado, ese 21,7% de energía adicional requeriría una importante inversión en las redes eléctricas de transporte, transformación, subtransmisión, distribución, además del tiempo de ejecución, ya que las mismas se encuentran en límites físicos de transporte de energía.

Con la matriz eléctrica actual, cada vehículo eléctrico que se incorpore al sistema de transporte consumirá energía eléctrica generada en un 67% con combustibles fósiles, que a su vez tienen una eficiencia de conversión en nuestras centrales térmicas del 37%. En síntesis, de manera indirecta seguirá consumiendo combustibles fósiles de manera muy ineficiente.

En términos prácticos, un vehículo que se reconvierte a GNC pasa de emitir 20 kg a 10 kg de CO₂ cada 100 km sin demandar grandes cambios al sistema. Cambiar un vehículo naftero a eléctrico, con nuestra matriz actual, pasará de emitir 20 kg a 7,5 kg de CO₂ cada 100 km, sin contabilizar los pasivos ambientales de los potenciales residuos en la extracción de minerales y el fin de vida útil de las baterías, además del peso económico y emisiones que implicará los cambios en la infraestructura eléctrica que demandaría.

Si se compara con otro vector de transición como pueden ser los agrocombustibles, se haya que la reducción de emisiones en un vehículo funcionando con bioetanol y analizando todo el ciclo de producción y consumo, es aún menor que el de un vehículo eléctrico con la matriz energética actual. El vector energético de los agrocombustibles para su desarrollo implica infraestructura e inversión privada en una cadena productiva con un efecto multiplicador en la economía debido al agregado de valor en cada una de las regiones, la generación de nuevos emprendimientos en torno a la producción y consecuentemente una mayor cantidad de puestos de trabajo asociados. Claro que también trae aparejado una compleja red de impactos socioambientales y de

concentración de poder para un sector, con el agravante de que para abastecer al 100% de la flota de vehículos se requeriría aumentar 2,44 veces la superficie de cultivo de soja (IERMANÓ & Sarandón, 2009; Bertinat et al., 2020).

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se pone a consideración un escenario intermedio. Suponiendo que no se avanza con una visión de electromovilidad total, pero se asume una migración de vehículos particulares a eléctricos del 50% del parque actual hacia 2035, considerando un crecimiento del parque de 1,5% promedio anual con base al 2022, se obtiene al año 2035, 15.945.039 de vehículos particulares circulando con un total de 7.972.519 eléctricos cuyo recorrido promedio será 15.000 km anuales cada uno. Para que sea realmente sostenible, esto implicaría incorporar en la matriz de generación eléctrica nacional unos 17.938 GWh de energía renovable, solo para alimentar este parque de movilidad, además de la energía necesaria para el crecimiento de la demanda natural del resto de las actividades económicas. Esto implica, sosteniendo una proporción renovable similar al actual, incorporar: 3.071 MW eólicos, 1.008 MW de energía solar fotovoltaica, 486 MW de mini hidro, 68 MW de Biomasa y 65 MW de generación a partir de Biogás. A costos actuales de tecnología esto se traduce en una inversión de 6.436 millones de USD.

Además, se deben contemplar los costos de transporte necesarios para incorporar esta potencia en las redes. Tomando un escenario muy optimista, donde cada vehículo solo necesite un cargador lento de 7 kW y que exista la capacidad de gestionar la red de manera inteligente para permitir solo una simultaneidad de carga del 30% de ellos, se requeriría incorporar al sistema 16,74 GW extras de potencia, a lo necesario para el crecimiento de la demanda. Para estimar los costos de esto último, se toman los datos del Plan Nacional de Expansión del Transporte Eléctrico presentado por el poder ejecutivo en Diciembre de 2022 (Subsecretaría de energía eléctrica, 2022), que en resumen plantea la expansión del sistema para la incorporación y repotenciación de líneas y sistemas de transformación con objeto de aumentar en 10.000 MW la capacidad de abastecimiento con incorporación de 10.600 MW de generación. Para ello, se plantea una inversión de 9.900 millones de USD, que no serían suficientes, porque solo para la simultaneidad planteada, es necesario un 67,4% más.

Por lo tanto, si se hace un análisis lineal, sin considerar que la circulación de vehículos se encuentra concentrada en un 80% entre Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Mendoza, con la complejidad de redes que eso implica, se requeriría al menos 16.572,6 millones de USD en redes de transmisión. En el ámbito de la distribución eléctrica, serían necesarios 2.546 millones de dólares. Resumidamente, solamente en infraestructura de generación, transporte y distribución, Argentina necesitaría inversiones por 25.284 millones de USD para soportar la mudanza del 50% de vehículos particulares a movilidad eléctrica.

Por otro lado, se debe considerar el costo de inversión que significa para los usuarios impulsar esta migración. El vehículo eléctrico de referencia tomado es el Nissan Leaf cuyo costo sugerido es de USD 75.641 contra USD 31.544 de la versión convencional de Nissan Versa más completa, pero de la misma marca. Es decir que existe una diferencia de USD 44.097 entre la versión de combustión interna y la eléctrica para un vehículo similar de la misma marca. Esto representa una suma de 356.347 millones de USD que deberá asumir el mercado para realizar dicho cambio. En total, entre infraestructura y

recambio tecnológico, a la Argentina le costaría 381.631 millones de USD mudar el 50% de sus vehículos particulares hacia movilidad eléctrica.

Es ineludible la pregunta si ¿Argentina está en condiciones para afrontar esa migración en los próximos 10 o 15 años?, y si es la mejor estrategia para la reducción de emisiones de ese sector.

La búsqueda de soluciones territoriales con recursos locales debe ser tenida en cuenta en la estrategia de la transición de la movilidad. El GNC y los agrocombustibles (sin expandir las actuales fronteras de cultivo y deforestación y con una migración hacia la producción agroecológica) pueden representar una oportunidad para la reducción de emisiones hacia una transición ecosocial. Esto no significa que no deba planificarse la movilidad eléctrica, porque sin dudas, en términos de eficiencia primaria y a largo plazo, con una matriz eléctrica renovable es por ahora, la más eficiente, pero no es posible pensar en este escenario en los tiempos que los compromisos y el mercado exigen.

El escenario de movilidad eléctrica que se plantea en este análisis, de manera hipotética y simplificada, evitaría emitir a la atmósfera 20,32 millones de tCO_{2eq}, suponiendo que la mudanza se produce solo sobre el parque naftero, con un factor de emisión de 2,38 kgCO₂/litro de nafta y una eficiencia de 14 km/litro, desplazando un consumo de 8.541 millones de litros de nafta.

Es totalmente posible lograr resultados equivalentes sin necesidad de inversiones en recambio tecnológico de motorización e infraestructura de carga y esto se puede lograr promoviendo combustibles bajos en emisiones como el GNC, el biodiésel y el bioetanol. Existen experiencias técnicas de éxito en Argentina y en países limítrofes en incorporación de mayores cortes de estos combustibles, generando valor agregado local a la economía bio productiva y promoviendo una nueva industria.

Si del total de vehículos circulantes, se lograra migrar el 50% a GNC, se partiría de un escenario de reducción de 10,16 millones de tCO_{2eq}. Y si además del 50% restante se desplaza de esa matriz un 20% de naftas con bioetanol y un 20% de gasoil con biodiesel, se reducirían 4,06 millones de tCO_{2eq} correspondientes a naftas y 4,45 millones de tCO_{2eq} correspondientes al diésel. En total se evitarían 18,67 millones de tCO_{2eq}, respecto del escenario establecido inicialmente con electromovilidad. Un impacto muy similar.

Para lograr este resultado en el ámbito de los agrocombustibles, son necesarias inversiones del sector privado para ampliación de capacidad de producción de aproximadamente 3.000 millones de USD, sosteniendo la infraestructura de distribución y carga existente.

Este último escenario, no solo aprovecha infraestructura existente, sino que, potencia recursos territoriales en donde Argentina tiene mucho potencial y también el agregado de valor a cadenas productivas como la del maíz, caña de azúcar y soja, que actualmente solo procesan entre el 10% y el 15% de la producción siendo uno de los principales productores mundiales en estos cultivos, con el restante 85% que tienen como principal destino la exportación sin agregado de valor.



Lo anterior demuestra que se necesita comenzar a diseñar estrategias nacionales sólidas a largo plazo, ambiciosas pero realizables, adaptadas a la realidad local, y pensando en soluciones territoriales donde se maximice la eficiencia de los recursos, donde se descentralice la producción y las decisiones, se generen puestos de empleo de arraigo, se reduzcan las emisiones con la celeridad que se necesitan, y fundamentalmente se promueva la inteligencia colectiva para pensar en soluciones locales.

También, en el marco de una transición energética justa y popular (Bertinat & Chemes, 2022) es necesario repensar las lógicas de producción y consumo. No solamente hay que pensar en reemplazar fuentes, sino en disminuir el consumo de energía en la medida que sea posible y con justicia socioambiental. En este sentido, disminuir el uso energético en el transporte requiere redimensionarlo totalmente y asociarlo a un nuevo modelo productivo. Entre las tareas urgentes, aparecen cambios hacia sistemas más eficientes de transporte de carga y de personas, como el ferrocarril o las barcazas, frente al transporte de carga por camiones o, en el caso del transporte de personas, priorizar el transporte colectivo por encima del individual.

En segundo lugar, es necesario cuestionar la necesidad de transportar cosas, en muchos casos, mercancías. La circulación de bienes se asocia a lógicas mercantiles que garantizan el sostenimiento de sistemas concentrados y centralizados de producción, distribución y consumo. En consecuencia, desarticular las cadenas largas en kilómetros de producción (**Figura 46**) y reemplazarlas por producción local, en pequeña escala y descentralizada, es un paso indispensable.

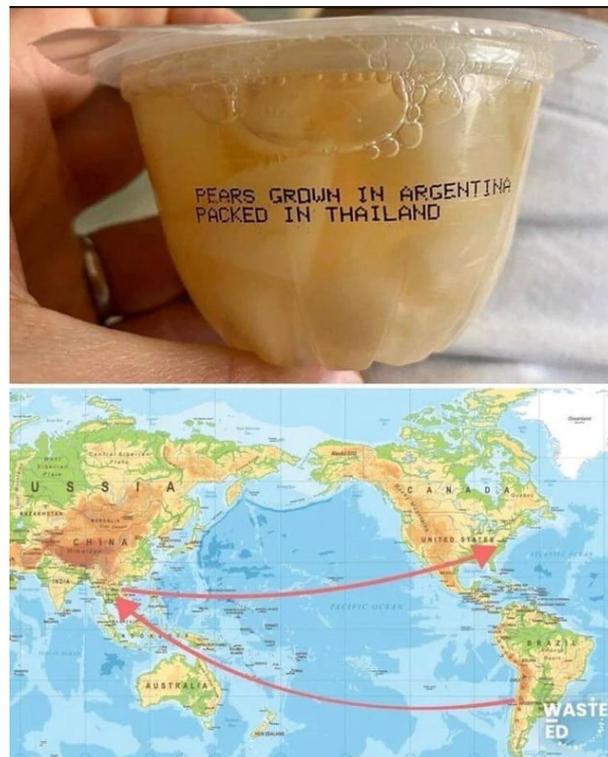


Figura 46: Peras producidas en Argentina, empackadas en Tailandia, consumidas en EE. UU. Fuente: (Birmingham food council, 2022).



Asimismo, se requerirán inversiones diferentes en infraestructura y achicar determinados sectores industriales, sobre todo los asociados a los vehículos de combustión interna y los automóviles particulares. Esto se debe hacer sin detrimento de las condiciones de vida de las y los trabajadores de esos sectores, garantizando alternativas concretas de trabajo y capacitación, desde la base del respeto de sus derechos.

Pensar que ese número de vehículos se pueda reemplazar con vehículos eléctricos es un espejismo que intenta mantener las mismas estructuras de producción y consumo, pero que es imposible de construir sin incrementar la extracción y explotación de recursos y territorios. La Agencia Internacional de la Energía (IEA) arroja cifras considerables de extracción de minerales para lograr emisiones cero a 2050, en este sentido plantea que es necesario multiplicar 42 veces la extracción de litio, por 25 el grafito, por 21 el cobalto, por 19 el níquel y por 7 las tierras raras (IEA, 2021, p. 11). Ello implica más minería en sectores con alto estrés hídrico donde se encuentran asentadas comunidades originarias.

Finalmente, en la siguiente infografía (**Figura 47**) se resumen parte de los resultados obtenidos a partir del análisis cuantitativo.

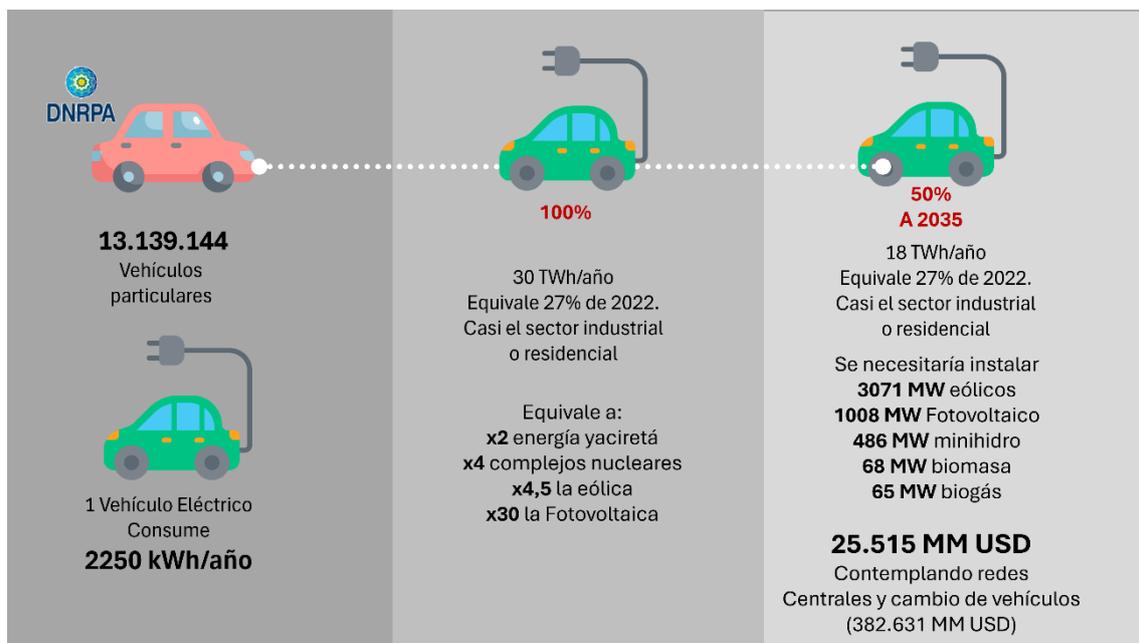


Figura 47: Infografía de resumen de algunos resultados obtenidos..

Bibliografía

- Acosta, A. (2018). Antropoceno, capitaloceno, faloceno y más – Rebelion. <https://rebellion.org/antropoceno-capitaloceno-faloceno-y-mas/>
- Allred, S. (2021): Electric Vehicle Battery Reuse and Recycling. Disponible en <https://www.advancedenergy.org/2021/11/16/electric-vehicle-battery-reuse-and-recycling/>
- Angliviél, S.; Betz, J.; Manhart, A.; Sahni, A.; Soomro, S. (2021): Closing the Loop on Energy Access in Africa. World Economic Forum and Global Battery Alliance (ed.). Disponible en https://www3.weforum.org/docs/WEF_Closing_Loop_Energy_Access_2021.pdf
- Aráoz, M., & César, H. A. (2016). Sobre la Naturaleza realmente existente: La entidad «América» y los orígenes del Capitaloceno. Dilemas y desafíos de especie. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/92283>
- Araújo, K. (2014). The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. *Energy Research & Social Science, Complete(1)*, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.002>
- Argento, M., & Kazimierski, M. A. (2022). Acumulación por conservación y desfosilización: El consenso ecotecnológico corporativo del cambio climático. *Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales*, 29, Article 29. <http://revistas.ungs.edu.ar/index.php/po/article/view/202>
- Argento, M., & Slipak, A. (2021). Litio en Sudamérica, más extractivismo en la acumulación por desfosilización. *Energía y Equidad*, 3: *Energía Mundo*, 70-75.
- Atlantic Council. (2023, enero 19). A conversation with General Laura J. Richardson on security across the Americas. Atlantic Council. <https://www.atlanticcouncil.org/event/a-conversation-with-general-laura-j-richardson-on-security-across-the-americas/>
- Baruj, G; Dulcich, F; Porta, F; Ubogui, M. (2021). La transición hacia la electromovilidad: panorama general y perspectivas para la industria argentina. Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- Bertinat, P., & Chemes, J. (2022). Transición energética y disputa de sentidos. En Informe Ambiental 2022. Abordar una transición socioecológica integral: El desafío de nuestro tiempo. (p. 10). FARN.
- Bertinat, P., Chemes, J., & Arelovich, L. (2014). Aportes para pensar el cambio del sistema energético ¿Cambio de matriz o cambio de sistema? *Ecuador debate*, 92, 85-102.
- Bertinat, P., Chemes, J., & Forero, L. (2020). Transición Energética. Aportes para la reflexión colectiva. <https://transicion-energetica-popular.com/wp-content/uploads/2020/10/TransicionEnergetica-Reporte.pdf>
- Betz, J.; Amera, T.; Atiemo, T.; Omido, P.; Adogame, L. (2022): Donating used Lithium-ion batteries to Africa? Clear rules urgently needed. Online available at

<https://www.oeko.de/en/press/archive-press-releases/press-detail/2022/donating-used-lithium-ion-batteries-to-africa-clear-rules-urgently-needed>

- BID, Banco Interamericano de Desarrollo (febrero 2024): Recycling and Reuse of Lithium Batteries in Latin America and the Caribbean, Analytical Review of Global and Regional Practices. Disponible en <https://publications.iadb.org/en/recycling-and-reuse-lithium-batteries-latin-america-and-caribbean-analytical-review-global-and>
- Birmingham food council. (2022). Part I: Pears grown in Argentina, packed in Thailand – Birmingham Food Council. <https://www.birminghamfoodcouncil.org/2022/01/16/part-i-pears-grown-in-argentina-packed-in-thailand/>
- Blakemore, R.; Ryan, P.; Tobin, W. (2022): Alternative Battery Chemistries and Diversifying Clean Energy Supply Chains (Issue Brief). Atlantic Council - Global Energy Center (ed.). Disponible en <https://www.atlanticcouncil.org/wpcontent/uploads/2022/09/Alternative-Battery-Chemistries-and-Diversifying-Clean-Energy-Supply-Chains.pdf>
- Bravo, E. (2021). ENERGÍAS RENOVABLES, SELVAS VACIADAS Expansión de la energía eólica en China y la tala de balsa en el Ecuador. Acción ecológica.
- Bravo, E., Yañez, I., & Bonilla, F. (2021). La extracción de balsa en el Ecuador: Nuevas geografías y naturalezas. Sobre los bosques del Ecuador, zona de sacrificio de la industria eólica china. *Energía y Equidad*, 3, 39-53.
- Brückner, L.; Frank, J.; Elwert, T. (2020): Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries— A Critical Review of Metallurgical Process Routes. In: *Metals* 10 (8), p. 1107. DOI: 10.3390/met10081107
- Brüggemeier, F. J. (2017). Sol, agua, viento: La evolución de la transición energética en Alemania. Friedrich Ebert Stiftung.
- Büscher, B., & Fletcher, R. (2015). Accumulation by Conservation. *New Political Economy*, 20(2), 273-298. <https://doi.org/10.1080/13563467.2014.923824>
- Chemes, J. (2023). Narrativas de transición energética. Un análisis desde la epistemología del Sur. *Ecología Política, Transiciones energéticas*(65), 66-71. <https://doi.org/doi.org/10.53368/EP65TE>
- Clerc J., Pereira A.M., Alfaro C. y Yunis, C. (2021) “Economía circular y valorización de metales: residuos de aparatos eléctricos y electrónicos”, serie Medio Ambiente y Desarrollo, N° 171 (LC/TS.2021/151), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) Disponible en <https://cepal.org/es/publicaciones/47429-economia-circular-valorizacion-metales-residuos-aparatos-electricos-electronicos>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio & Climático. (2015). Acuerdo de París.
- DEC (Department of Environmental Conservation, NY State). Disponible en <https://www.dec.ny.gov/chemical/72065.html>

- Dulcich, F; Otero, D; y Canzian, A. (2019). Evolución Reciente y Situación Actual de la Producción y Difusión de Vehículos Eléctricos a Nivel Global y en Latinoamérica. *Asian Journal of Latin American Studies* 32(4), pp. 21-51.
- eCE Consultants (2020): Micro-mobility Market Report 2019 – 2020 Winter / Spring. eCycleElectric Consultants
- Energía y Equidad. (2023). Comunidades Energéticas. Energías Comunitarias. (Vol. 6).
- Fernández Durán, R., & González Reyes, L. (2014). En la espiral de la energía. Historia de la humanidad desde el papel de la energía (pero no solo) (Vol. 1).
- Fornillo, B. M. (2017). Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/74210>
- Fraunhofer; EIT Raw Materials (2021): Future expert needs in the battery sector.
- Garrido, S., & Recalde, M. (2022). Transición energética justa: Una mirada desde América del Sur. En *Transición energética en Sudamérica: Discusión conceptual, políticas públicas y experiencias locales* (pp. 15-64). Lenguaje Claro Editora.
- Global Battery Alliance (2021), “A Framework for the Safe and Efficient Global Movement of Batteries”. Disponible en <https://www.globalbattery.org/media/action-partnerships/energy-access/downloads/wef-battery-alliance-opportunity-statement-2021.pdf>
- Global Times (2021), “China's EV battery recycles to peak in 2025, requiring policy support”. Disponible en <https://www.globaltimes.cn/page/202106/1226776.shtml>
- Gudynas, E. (2004). *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*. Coscoroba ediciones.
- Hampel, C. (2022) “Battery reuse & recycling expands to scale in China”, Electrive. Disponible en <https://www.electrive.com/2022/01/29/battery-reuse-recycling-expands-to-scale-in-china/>
- Harvey, D. (2004). *El nuevo imperialismo*.
- Hughes, D. (2013). *Perfora Chico Perfora*. Post Carbon Institute. <http://archive.org/details/PerforaChicoPerfora>
- IEA (International Energy Agency) (2018), *Global EV Outlook 2018*, Disponible en <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2018>
- IEA (International Energy Agency) (2021), *Global EV Outlook 2021*, Disponible en <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- IEA. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* (p. 287). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/24d5dfbb-a77a-4647-abcc-667867207f74/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>
- IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*. International Renewable Energy Agency.
- IRENA. (2022a). *Geopolítica de la Transformación Energética: El Factor Hidrógeno*. <https://www.irena.org/Publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen-ES>

- IRENA. (2022b). World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway. 352.
- ITDP (Institute for Transportation and Development Policy) (2019) “The Electric Assist: Leveraging E-Bikes and E-Scooters for More Livable Cities” Disponible en <https://www.itdp.org/publication/electric-assist/>
- Jacoby, M. (2019): It’s time to get serious about recycling lithium-ion batteries, Chemical & Engineering News. Disponible en <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>
- Juan Pablo Zagorodny (2023): Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular. Serie 173, Medio Ambiente y Desarrollo, CEPAL. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48838-gestion-integral-baterias-fuera-uso-vehiculos-electricos-marco-estrategia>
- Kazimierski, M., & Argento, M. (2021). Más allá del petróleo: Relaciones Internacionales, 30(61), Article 61. <https://doi.org/10.24215/23142766e142>
- Kucharz, T. (2021). El colonialismo energético-mineral de la Unión Europea. Energía y Equidad, 3, 8-26.
- Lander, E. (2011). LOS LÍMITES DEL PLANETA Y LA CRISIS CIVILIZATORIA. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales, 17, 141-166. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17731135009>
- Lansink, A. (2018), “Challenging changes: connecting waste hierarchy and circular economy”, Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, vol. 36, N° 10, Thousand Oaks, SAGE Publications. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0734242X18795600>
- Leff, E. (2021). El Manifiesto por la Vida ante la Crisis Civilizatoria y la transición hacia un mundo sustentable. En Senti-pensarnos Tierra: Crisis civilizatoria-pactos y/o transiciones desde el ecologismo popular, (pp. 28-47).
- Lehmann, Harry (editor) (2018), “Factor X. Challenges, Implementation Strategies and Examples for a Sustainable Use of Natural Resources”, Springer. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50079-9>
- Li, W., Yang, M., Long R., Mamaril K., and Chi, Y. (2020), "Treatment of Electric Vehicle Battery Waste in China: a review of existing policies", Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. Disponible en <https://doi.org/10.3846/jeelm.2021.14220>
- López Soto, D.; Mejdalani, A.; Chueca Monteruga, E.; Hallack, M. (2022): La Ruta Energética de América Latina y El Caribe. Inter-American Development Bank (IDB). Disponible en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-ruta-energetica-de-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Manhart, A.; Betz, J.; Schleicher, T.; Hilbert, I.; Smit, R.; Jung, H.; Adogame, L.; Olagunju, I.; Clews, A.; Adegun, O. (2022): Management of End-of-life Li-ion Batteries through E-waste Compensation in Nigeria. Disponible en <https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/05/Management-of-End-of->

life-Li-ion-Batteries-through-E-waste-Compensation-in-Nigeria_Feasibility-Study_ECoN.pdf

- Martinez Alier, J. (2021). El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración (6ta ed.). Icaria.
- Martínez Allier, J. (2011). El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración. (4ta ed.). Icaria.
- MAyDS. (2021). Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- McKinsey (2019). Micromobility's 15,000-Mile Checkup. McKinsey Center for Future Mobility.
- Ministerio de transporte. (2022, septiembre 26). Resolución 635/2022. Plan nacional de transporte sostenible.
<https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/272624>
- Moore, J. (2016). Anthropocene or Capitalocene? Nature, History, and the Crisis of Capitalism (pp. 1-11).
- Moreano Venegas, M. (2021, diciembre 27). Para que sea justa, la transición energética debe ser internacionalista. Jacobin América Latina.
<https://jacobinlat.com/2021/12/27/para-que-sea-justa-la-transicion-energetica-debe-ser-internacionalista/>
- MOVE (2018), Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe y oportunidades para la colaboración regional 2018. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe.
- MOVE (2019). Movilidad eléctrica: avances en América Latina y el Caribe 2019. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe, Disponible en <https://movelatam.org/la-sociedad-civil-latinoamericana-define-hoja-de-ruta-para-acelerar-la-movilidad-sostenible-en-la-region/>
- MOVÉS (2022) Disponible en <https://moves.gub.uy/iniciativa/reglamentacion-de-baterias/>
- Neumann, J.; Petranikova, M.; Meeus, M.; Gamarra, J. D.; Younesi, R.; Winter, M.; Nowak, S. (2022): Recycling of Lithium-Ion Batteries—Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling. In: Advance Energy Materials 12 (2102917)
- Obaya, M. y Céspedes, M. (2021) “Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/58), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46943/S2100250_es.pdf
- OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (2022): Extended producer responsibility. Organisation for Economic Cooperation and Development (ed.). Disponible en <https://www.oecd.org/env/tools-evaluation/extendedproducerresponsibility.htm>

- ONU (Organización de las Naciones Unidas), (2019) Manual de Pruebas y Criterios (Manual of Tests and Criteria), publicado por UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). Disponible en <https://unece.org/about-manual-tests-and-criteria>
- Pacto Ecosocial del Sur. (2023, febrero 9). Manifiesto de los Pueblos del Sur—Por una Transición Energética Justa y Popular. Pacto Ecosocial e Intercultural del Sur. <https://pactoecosocialdelsur.com/manifiesto-de-los-pueblos-del-sur-por-una-transicion-energetica-justa-y-popular-2/>
- Pagliari M. y Meneguzzo F. (2019) "Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight" Heliyon. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>
- Portaluppi, A. (2021) “Caso testigo”: Altero recicla las primeras baterías de movilidad eléctrica en Colombia” Portal Movilidad. Disponible en <https://portalmovilidad.com/caso-testigo-altero-recicla-las-primeras-baterias-de-movilidad-electrica-en-colombia/>
- Proaño, M. (2021). Hidrógeno verde. ¿Una oportunidad para la transición energética justa, democrática y popular en Latinoamérica? *Energía y Equidad*, 3, 76-82.
- REN21. (2017). Subastas de Energía Renovable y proyectos ciudadanos participativos. América Latina y el Caribe. https://www.wearefactor.com/docs/LAC_REN21.pdf
- Ricaldi Arévalo, T. (2020). Sociedad y Energía. Construyendo la transición energética desde y para los pueblos.
- Schot, J. (2016). Confronting the Second Deep Transition through the Historical Imagination. *Technology and Culture*, 57, 445-456. <https://doi.org/10.1353/tech.2016.0044>
- Secretaría de Energía de la Nación, D. M. C. (2023). Balance Energético Nacional. Serie histórica – Indicadores Actualizado al año 2021.
- Smil, V. (2006). *Transforming the twentieth century: Technical innovations and their consequences*. Oxford University Press.
- Smil, V. (2010). *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Praeger.
- Smil, V. (2021). *Grand Transitions: How the Modern World Was Made*. Oxford University Press.
- Sojka, R.; Pan, Q.; Billmann, L. (2020): Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes. ACCUREC Recycling GmbH (ed.). Online available at <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>
- Soler Villamizar, J. P., Rodríguez Jimenez, L., Avendaño Fino, C. D., & Giraldo Sierra, D. M. (2023). Promoción y fortalecimiento de las Energías Comunitarias en Colombia. Propuestas para el Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026, Ruta de la Transición Energética Justa y Planes Departamentales y Municipales de Desarrollo. https://www.academia.edu/98065678/Promoci%C3%B3n_y_fortalecimiento_de_las_Energ%C3%ADas_Comunitarias_en_Colombia

- Steward, D., Mayyas, A. & Mann, M., (2019), “Economics and challenges of Li-ion battery recycling from end-of-life vehicles”, *Procedia Manufacturing*, 33, 272–279. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.033>
- Stokes, A. (2019) “A Little Battery, A Lot of Harm” contenido en San Mateo County (2019).
- Svampa, M. (2018, noviembre 26). Imágenes del fin Narrativas de la crisis socioecológica en el Antropoceno | Nueva Sociedad. Nueva Sociedad | Democracia y política en América Latina. <https://nuso.org/articulo/svampa-tesis-ecologica-antropoceno-calentamiento-global/>
- Svampa, M. (2019). Antropoceno. Lecturas globales desde el Sur. Colección Costureras de La Sofía cartonera. <http://maristellavampa.net/wp-content/uploads/2019/12/Antropoceno.pdf>
- Svampa, M. (2022). Crisis socioecológica, léxico crítico y debates sobre las transiciones. En *Transición energética en Argentina. Una hoja de ruta para entender los proyectos en pugna y las falsas soluciones*. Siglo XXI.
- Svampa, M., & Bertinat, P. (2022). *La transición energética en la Argentina*. Siglo XXI.
- Sykes, B. (2017, octubre 23). La transición energética necesita antropólogos. (V. Reyero) [Antropología 2.0 Blog]. <https://blog.antropologia2-0.com/es/transicion-energetica-necesita-antropologos/>
- Taborelli, M. (2021.a) "Chile presentó su estrategia nacional de movilidad sostenible", *Energía Estratégica*, <https://portalmovilidad.com/chile-presento-su-estrategia-nacional-de-movilidad-sostenible/>
- Tankou, A.; Bieker; Georg; Hall, D. (2023): Scaling up reuse and recycling of electric vehicle batteries: Assessing challenges and policy approaches (White Paper). International Council on Clean Transportation (ed.). Disponible en <https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/02/recycling-electric-vehicle-batteries-feb-23.pdf>
- Turiel, A. (2021, diciembre 4). Un canto desesperado contra el pensamiento mágico en la ciencia: El caso de la transición/colapso de los sistemas energéticos. *The Oil Crash*. <https://crashoil.blogspot.com/2021/12/un-canto-desesperado-contrael.html>
- USGS (2021): Mineral commodity summaries 2021 (Mineral Commodity Summaries). U.S. Geological Survey. Reston, VA. Disponible en <http://pubs.er.usgs.gov/publication/mcs2021>
- v, S. P. (2021). Assessment of the Extra Capacity Required of Alternative Energy Electrical Power Systems to Completely Replace Fossil Fuels. Geological Survey of Finland Circular Economy Solutions KTR Unit Espoo, 8.
- Valero, A. (2019). Límites minerales de la transición energética. 36, 66-70.
- Valero, A., Valero, A., Calvo, G., & Ortego, A. (2018). Material bottlenecks in the future development of green technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 178-200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.041>



- Velázquez-Martínez, O.; Valio, J.; Santasalo-Aarnio, A.; Reuter, M.; Serna-Guerrero, R. (2019): A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. In: Batteries 5 (68). DOI: 10.3390/batteries5040068.
- WSP Ambiental y RIGK Chile (2020), "Asesoría para la implementación de la Responsabilidad Extendida del Productor en Chile Producto Prioritario Pilas, Informe Final", Ministerio del Medio Ambiente, Chile. Disponible en <https://rechile.mma.gob.cl/expedientes-para-pilas/> (Estudio 7.)
- Zachary J. Baum; Robert E. Bird; Xiang Yu; and Jia Ma (2022): Lithium-Ion Battery Recycling Overview of Techniques and Trends. In: ACS Energy Letters (7), pp. 712-719. DOI: 10.1021/acsenergylett.1c02602.

