

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

Circularidad y manejo de desechos para el sector del transporte público en América Latina

Irina Reyes Donoso



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Circularidad y manejo de desechos para el sector del transporte público en América Latina

Irina Reyes Donoso



Este documento fue preparado por Irina Reyes Donoso, Consultora de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la coordinación técnica y supervisión de Luiz Krieger, Oficial de Asuntos Económicos de la mencionada División. El trabajo se desarrolló en el marco del proyecto "Ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe", ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. El proyecto forma parte del programa de cooperación CEPAL/BMZ-GIZ.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de la autora y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2022/197
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2022
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.22-00599

Esta publicación debe citarse como: I. Reyes Donoso, "Circularidad y manejo de desechos para el sector del transporte público en América Latina", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/197), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Introducción	7
I. Avances de la electromovilidad	9
A. Barreras y oportunidades para el avance de la electromovilidad en la región	10
1. Barreras	10
2. Oportunidades	12
B. Estado de la electromovilidad en las ciudades estudiadas.....	12
1. Buenos Aires, Argentina.....	12
2. São Paulo, Brasil	14
3. Bogotá, Colombia.....	15
4. Santiago, Chile	16
5. Ciudad de México, México	17
II. Principales avances relacionados con la conversión de buses diésel a eléctricos	19
III. Análisis del ciclo de vida de un vehículo de transporte público	23
A. Salidas del sistema/producto: principales desechos/materiales en la prestación de servicios de transporte público	25
B. Salidas del sistema/producto: desechos/materiales asociados a la conversión de buses diésel a eléctricos	26
IV. Modelos de negocios asociados a los desechos/materiales que se generarán	29
V. Métricas para medir la circularidad	35
A. Métricas para medir la circularidad aplicables a la electromovilidad	36
1. Tasa de Uso de Materiales Circulares (CMU)	38
2. Indicadores planteados por la Fundación Ellen MacArthur	39
3. Indicadores propuestos con información de línea base.....	40
VI. Conclusiones	43
Bibliografía	45
Anexo	47

Cuadros

Cuadro 1	Desecho y potencial.....	25
Cuadro 2	Desechos y estrategias de EC.....	30
Cuadro 3	Distribución de las 55 baterías de indicadores circulares en las principales categorías propuestas por este estudio taxonómico	38
Cuadro 4	Matriz de indicadores propuestos con información de Línea Base.....	40
Cuadro 5	Indicadores de Transición propuestos para considerar en el desarrollo de una hoja de ruta detallada de economía circular (CTCN, 2018).....	41
Cuadro A1	Lista de publicaciones en línea para revisión bibliográfica	48
Cuadro A2	Lista de potenciales entrevistados	49
Cuadro A3	Preguntas guía entrevistas.....	50
Cuadro A4	Normas ISO de electromovilidad	50

Gráfico

Gráfico 1	Caracterización de los sistemas de medición de la Economía Circular	37
-----------	---	----

Diagramas

Diagrama 1	Avances en la región	10
Diagrama 2	Partes de un bus	20
Diagrama 3	Beneficios de buses eléctricos.....	21
Diagrama 4	Pasos para definir un ACV	24
Diagrama 5	Fuentes de emisiones a lo largo del ciclo de vida	24
Diagrama 6	Procesos de reúso y reciclaje de baterías.....	25
Diagrama 7	Desagregación de un bus eléctrico.....	26
Diagrama 8	Las R de la Economía Circular	30
Diagrama 9	Modelos de negocios circulares (I).....	31
Diagrama 10	Modelos de negocios circulares (II).....	31
Diagrama 11	Modelos de negocios circulares III	32
Diagrama 12	Modelos de negocios circulares IV.....	32
Diagrama 13	Modelos de negocios circulares V.....	33
Diagrama 14	Categorización de las baterías de indicadores circulares definida para el estudio taxonómico.....	37

Acrónimos

ACV:	Análisis de ciclo de vida
CAF:	Banco de Desarrollo de América Latina
CC:	Cambio Climático
CORFO:	Corporación de Fomento de la Producción
DDSAH:	División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL
DMC:	Consumo Interno de Materiales (por sus siglas en inglés)
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
EC:	Economía Circular
ERNC:	Energías Renovables no Convencionales
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FIC:	Fondo de Innovación para la Competitividad
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
GIS:	Gran Impulso para la Sostenibilidad
KPIs:	Key Performance Indicator (Indicador de desempeño clave)
LCA:	Life cycle assessment
NDC:	Nationally Determined Contributions (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional)
NDE:	Entidad Nacional Designada (por sus siglas en inglés)
RME:	Extracción Equivalente de Material (por sus siglas en inglés)
RRNN:	Recursos Naturales
REP:	Responsabilidad Extendida del Productor
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMC:	Organización Mundial del Comercio
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
RSU:	Residuo Sólido Urbano (RSU) o residuo urbano

Introducción

El cambio climático se ha convertido en un gigantesco reto para la economía mundial, así como alcanzar la sostenibilidad del modelo energético sustituyendo energías fósiles por energías renovables. En ese contexto, la electromovilidad se ha convertido en una de las principales opciones de transporte para reducir el impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En una región tan urbanizada como América Latina, con el 80% de la población viviendo en ciudades y con la mayor tasa de utilización de buses per cápita en el mundo, la transición hacia la electromovilidad en el transporte público se convierte en un elemento clave para alcanzar la carbono neutralidad al 2050, tomando en consideración que el sector transporte representa el 34% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero relacionadas con energía, contrastando con los países de la OCDE que emiten el 28% (Pérez, Gutiérrez & Mix Vidal, 2019). Además, la electromovilidad no solo es una oportunidad de mejorar la calidad del aire y la contaminación acústica, es la oportunidad de dar una experiencia diaria de vida más grata y amable a la población que se traslada todos los días a su trabajo.

Para desarrollar la movilidad eléctrica, es necesario que instituciones públicas y privadas tomen esta oportunidad de innovación para construir metas de largo plazo, considerando el desarrollo tecnológico y las políticas públicas y del mercado presentes en la región. En esta transición confluyen muchos actores y muchas políticas públicas de transporte, de energía, de planificación urbana, en niveles nacional, regional y municipal. Es un ecosistema complejo y en el cual, por lo tanto, se requiere un enfoque muy integrado para generar un entorno habilitado para la transición.

Por otra parte, la economía circular representa una oportunidad de desarrollo clave para crear nuevas actividades económicas, transformar las actividades ya existentes, y así aumentar su eficiencia material y reducir su impacto medioambiental.

El presente reporte incluye información para identificar el avance de la circularidad en el transporte público de buses con foco en cinco ciudades de Latinoamérica: Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, São Paulo y Santiago de Chile.

Los objetivos de esta consultoría son:

- Identificar los principales desechos en la prestación de servicios de transporte público por buses en las ciudades identificadas, y sus distintos niveles de manejo, reúsos y reciclaje de materiales;

- Identificar los desechos asociados a la conversión de buses diésel hacia eléctricos, que han sido estudiados en la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (DDSAH) de la CEPAL;
- Proponer políticas y evaluaciones de circularidad aplicables a la prestación de transportes públicos por buses en los países especificados.

Mediante la revisión bibliográfica y las entrevistas, se llevó a cabo un diagnóstico del estado del arte de la electromovilidad y de los avances a nivel ciudad, país o dentro de la región ALC. Esto implica una sistematización/categorización de la información disponible y un análisis crítico de ésta. Además, se identificaron los principales desechos en la prestación de servicios de transporte público por buses en las cinco ciudades identificadas y sus distintos niveles de manejo, reúsos y reciclaje de materiales.

El segundo elemento de la consultoría es la identificación de los desechos asociados a la conversión de buses diésel hacia eléctricos. Este elemento también se trabajará mediante el análisis de la revisión bibliográfica y de las entrevistas a representantes de los cinco países considerados en este estudio.

Con esta información se analizaron potenciales oportunidades de mejora y de desarrollo de políticas y, finalmente, se levantan métricas de circularidad que podrían ser aplicables a la prestación de transporte público por buses en los países especificados.

I. Avances de la electromovilidad

En América Latina el 68% del total de viajes se realiza mediante transporte público (Estupiñán, 2018) y en los últimos años una gama de vehículos y tecnologías limpias ha ganado un atractivo cada vez mayor en las ciudades, debido a los múltiples beneficios derivados de la conversión eficiente a las energías limpias y una mayor compatibilidad con matrices de energía renovable, así como menores emisiones y un ciclo de vida mayor en comparación con los autobuses convencionales.

En este sentido muchos países de la región impulsan esta tecnología bien sea a través de programas piloto, prueba de operación o adopción masiva en el transporte público, y se espera que el 2025 entren anualmente más de 5000 autobuses eléctricos a las ciudades latinoamericanas.

En general las flotas de buses eléctricos introducidos entre el año 2000 y 2022 en América Latina y el Caribe en su mayoría son de batería con punto de carga en patio, e importaciones de unidades armadas con poco o nulo valor agregado en la región.

Por otra parte, la incorporación de la tecnología ha llevado a importantes desarrollos en políticas públicas y marcos legales, entendiendo que la electromovilidad ayuda al aprovechamiento de la mayor disponibilidad de recursos naturales solares o hídricos, genera empleos de mejor calidad y crecientes oportunidades para nuevos modelos de negocio.

La movilidad eléctrica en los países estudiados se ha integrado tanto en los objetivos nacionales de mitigación y en las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC), declarados en el marco de los compromisos internacionales en la lucha contra el cambio climático. Por otra parte, los países poseen estrategias nacionales de movilidad eléctrica, normas y leyes ambientales y de transporte, así como ordenanzas y disposiciones a nivel de estados. En el diagrama 1, se muestra como los países incluidos en este estudio han incorporado en sus NDCs la electromovilidad y el transporte público como un factor relevante para su carbono neutralidad.

Diagrama 1
Avances en la región



Fuente: Lima et al. (2022).

A. Barreras y oportunidades para el avance de la electromovilidad en la región

1. Barreras

A continuación, se presentan los principales factores que afectan el ritmo de adopción de las tecnologías limpias en el transporte urbano en las 5 ciudades estudiadas.

- **Elevados costos de inversión inicial** de los buses eléctricos comparados con la tecnología híbrida diésel-eléctrica y con la tecnología diésel. Los procesos de adquisición tienden a centrarse en reducir los costos iniciales en lugar de minimizar los costos del largo plazo.
- **Falta de datos sobre costos y rendimiento de los autobuses de bajas emisiones**, que representan aproximadamente solo el 1% de los autobuses en las ciudades estudiadas. Si bien algunas tecnologías se han puesto a prueba en las ciudades, los operadores expresan preocupaciones generales sobre los costos, el rendimiento de las operaciones y el mantenimiento de tecnologías desconocidas. La falta de datos sobre los costos locales reales y el rendimiento energético ambiental y operativo es una barrera para las comparaciones tecnológicas integrales. Los autobuses eléctricos a baterías tienen unos alcances limitados. La distancia recorrida sin repostar es menor que en la tecnología híbrida y que en la tecnología diésel. Para tratar de superar esta barrera, los fabricantes están mejorando la tecnología eléctrica, logrando baterías más capaces y con mayor alcance. Cabe destacar que los trolebuses tienen un alcance ilimitado, pues el suministro de energía eléctrica es continuo, por eso ciudades como Bogotá y Ciudad de México, han apostado por este tipo de transporte.
- **Redes de distribución de electricidad.** La gran mayoría del uso de energía de transporte en las ciudades estudiadas se basa en petróleo, sin embargo, la mayoría de los gobiernos nacionales han fijado objetivos para aumentar la producción eléctrica a partir de fuentes renovables. Se necesitan nuevas inversiones en redes locales de distribución y electricidad para apoyar una alta penetración de los buses eléctricos.

- **Inversión en infraestructuras de recarga eléctrica** adicionales a las instalaciones de suministro de diésel. Los operadores, para un determinado tamaño de flota, suelen disponer de infraestructuras de abastecimiento de combustible propio, principalmente diésel. Introducir la tecnología eléctrica supone la necesidad de ampliar el espacio para surtidores en sus bases de operación.
- **Ausencia de tarifas eléctricas específicas para el transporte.** En general, las tarifas eléctricas suelen distribuirse en grupos de consumo; por ejemplo, diferenciando entre pequeño, mediano y gran consumidor. Dependiendo del tamaño de la flota, un operador de autobuses podría ser un mediano o gran consumidor. Para fomentar la electromovilidad y superar esta barrera, las compañías eléctricas suelen involucrarse mediante la creación de tarifas especiales aplicadas al transporte.
- **Subsidios a los combustibles fósiles.** En algunos países, el diésel está subsidiado y controlado por el Estado por motivos sociales, fundamentalmente para asegurar que sea accesible para la mayor parte de la población, y para que la producción de determinados alimentos en los sectores de agricultura y pesca sea rentable y no se abandone.
- **Falta de competencia en el mercado.** La alta concentración de la prestación de servicios de transporte público por parte de pocas empresas con un fuerte poder de mercado puede conducir a bajos niveles de servicio, eficiencia y altas tarifas. La competencia limitada en el mercado presenta una barrera significativa en las mayorías de las ciudades y los operadores de autobuses actuales se resisten a cambiar prácticas y tecnologías más operativas.
- **Capital humano para la industria.** Existe una necesidad de formación de conductores y mecánicos especializados. Para que el manejo de las unidades eléctricas sea eficiente, es necesario formar a los conductores. Igualmente, es preciso capacitar a mecánicos de motores eléctricos y baterías.
- **Dependencia del fabricante y necesidad de repuestos.** La poca variedad de mercado que todavía existe en los autobuses eléctricos hace que exista una dependencia del fabricante para conseguir repuestos. Si a esto se añade que el fabricante no está implantado en la región, es posible que el tiempo de adquisición de los repuestos sea elevado y su coste también. La implantación del fabricante en la región ayudaría a superar esta barrera.
- **Necesidad de homologación vehicular.** Por lo general, las normas técnicas vehiculares, tanto de homologación como de inspección, están orientadas a los motores diésel y puede existir un vacío legal a la hora de realizar esas tareas en vehículos eléctricos. La adaptación de los vehículos, en dimensiones y pesos, a la normativa técnica del país puede suponer una barrera. Un ejemplo claro es la pérdida de capacidad de pasajeros de un bus eléctrico respecto a un bus diésel de iguales dimensiones, ya que, por lo general, son más pesados (debido a las baterías) y deben cumplir con un peso máximo autorizado. Para superar esta barrera, sería conveniente la actualización de la normativa técnica; por ejemplo, mediante la mejora de los estándares de construcción de calzadas para permitir un mayor peso por eje.
- **Comprensión y gestión de los nuevos marcos institucionales.** La necesidad de una coordinación institucional compleja y las limitaciones a la competencia están surgiendo como barreras clave para el desarrollo del mercado de tecnologías de autobuses más limpias. Las próximas licitaciones de concesiones en Santiago y Sao Paulo presentan oportunidades potenciales para introducir autobuses más limpios, y los proveedores de electricidad pueden servir como socios estratégicos en el despliegue de la electromovilidad. Además, existen oportunidades para expandir las capacidades de fabricación de autobuses limpios y nuevos modelos de negocio.
- **El sector financiero** aún no responde a la necesidad de facilitar este cambio. Esto supone una restricción en el financiamiento de las nuevas inversiones. Las ciudades enfrentan desafíos financieros para mejorar la frecuencia y la cobertura de los sistemas de transporte

público, y enfrentan presiones contradictorias para mantener las tarifas bajas y minimizar los subsidios a las tarifas. Además, los mayores costos iniciales de los autobuses limpios pueden aumentar los desafíos de financiamiento o especialmente porque los bancos comerciales y los operadores tienen bajo conocimiento de las tecnologías y los riesgos del mercado.

- **Manejo de residuos incipiente** para tecnologías alternativas. Las ciudades están trabajando en reducir sus gases de efecto invernadero, pero carecen de datos para apoyar y orientar esas políticas. Por ejemplo, en el caso de eliminación de baterías se necesitan herramientas políticas para apoyar la reutilización y el almacenamiento de energía.

2. Oportunidades

A continuación, se presentan las principales oportunidades que representa el desarrollo de la electromovilidad en las ciudades de la región.

- **Disminución del precio de la energía eléctrica.** Supone un claro beneficio en la implantación de autobuses eléctricos. Esta hipótesis depende del porcentaje de energías renovables para la producción de energía eléctrica de cada país. En caso de que la mayor parte se obtenga de energías renovables, pese a implicar un mercado más fluctuante, la infraestructura necesaria para la generación y gestión de la energía ya está desarrollada, por lo tanto, no será necesario invertir en ella y, por consiguiente, no se prevé un aumento del precio de la energía eléctrica. Así, a largo plazo, se podría estimar una disminución del precio de la energía eléctrica debido a una disminución de impuestos.
- **Aumento del precio de combustibles fósiles.** En algunos casos estudiados, como en Chile, es necesario redefinir el alcance de los subsidios, no obstante, si se produjese un aumento del precio del combustible, el modelo mejoraría notablemente al ser mayor la diferencia entre el precio del combustible fósil y el de la energía eléctrica.
- **Mayor competitividad del mercado de autobuses eléctricos.** Se prevé que el mercado de autobuses eléctricos sea más competitivo en unos años, con posibilidad de implantación de fabricantes en América Latina. De esta forma, el costo incremental de adquisición del vehículo eléctrico respecto a los autobuses actuales será menor. A su vez, implica un menor tiempo y costo de adquisición de los repuestos y del periodo de importación del vehículo.
- **Tarifas eléctricas especiales al transporte.** Las compañías eléctricas deberían involucrarse mediante la creación de tarifas específicas aplicadas al transporte para fomentar la electromovilidad. Así, no solo supone una medida de mitigación de los riesgos estudiados previamente, sino que puede considerarse una oportunidad.

B. Estado de la electromovilidad en las ciudades estudiadas

1. Buenos Aires, Argentina

Argentina tiene razones económicas y estratégicas para avanzar en la electromovilidad, ya que la industria automotriz es la mayor fuerza exportadora industrial y también uno de los mayores generadores de empleo industrial en el país. Por esta razón, el mercado de autobuses urbanos es abastecido principalmente por producción nacional. Ha habido excepcionalmente algunas importaciones, ello por el grado de consolidación del sector y del mercado, una serie de incentivos promocionales, la buena calidad de los productos y la trayectoria del sector fabricante.

La producción de buses alcanza las 2.250 unidades anuales. La demanda es principalmente municipal, donde se concentra el 36% de la flota total de autobuses urbanos, conformada por más de 29.000 unidades. El área metropolitana de Buenos Aires concentra un poco más del 60% con 18.000 autobuses.

En relación a los ingresos de los transportistas, éstos provienen principalmente de 3 fuentes: subsidios estatales a la tarifa de transporte, subsidios a los combustibles y la recaudación de pasajes vendidos en el Área metropolitana de Buenos Aires. Estos últimos representan en torno al 10 y 15% del total, es decir, entre el 85-90% de los ingresos del sector proviene de los subsidios. Un boleto cuesta aproximadamente 15 o 20 centavos de dólar, un precio sensiblemente inferior al de otras jurisdicciones nacionales y de la región.

La empresa Argentina Agrale comenzó con la fabricación de un bus eléctrico como piloto en el año 2018, con pruebas en Inglaterra, y desde 2020 están en la ciudad de Buenos Aires con dos unidades. Se espera que la industria se expanda y logre cubrir las demandas de la región.

La demanda de estos buses se apalanca en la exigencia de renovación de la flota en torno a 10 años, según los contratos. Por la pandemia se ha extendido ese plazo a 13 años, aun así, la flota de autobuses urbanos está en torno a los 5,8 años, la renovación podría ser por buses eléctricos, en la medida que se apoye la disminución de barreras productivas, técnico operativas, financieras y político institucional.

Actualmente las brechas para el avance de la electromovilidad se concentran en:

- Los costos de adquisición y la falta de financiamiento para que se pueda hacer la renovación, ya que un bus eléctrico puede oscilar entre tres y cuatro veces el valor de un bus diésel;
- Por otra parte, la infraestructura tanto de carga como la matriz energética que acompañe a la demanda de los buses eléctricos;
- Y en los mecanismos de disposición de las baterías.

En cuanto a las oportunidades:

- La industria Argentina está sólidamente consolidada. Por lo tanto, hay una factibilidad técnica y operativa, además de un sistema educativo y tecnológico integrado con convenios tanto con el sector público como con el sector privado;
- Experiencia en la conversión de vehículos;
- Incentivos del gobierno de las distintas agencias estatales.

Para afrontar estos desafíos Argentina está preparando un proyecto de Ley de promoción de la movilidad sustentable, dónde se establecen una serie de objetivos y un cronograma para el reemplazo de la flota, apuntando a la prohibición de la comercialización de buses que utilizan combustibles fósiles en el año 2041. Otorga incentivos a la demanda y a la oferta, contempla la conformación de un fondo de desarrollo a la movilidad sustentable y también la creación de una Agencia Nacional de movilidad sustentable. Dicho proyecto es un trabajo en conjunto de un año y medio, entre diferentes Ministerios como el de Desarrollo Productivo, Transporte, Ciencia y Tecnología, y otros organismos como la Comisión Nacional de Regulación del Transporte.

Una de las principales razones ambientales para impulsar la electromovilidad es que Argentina está comprometida a través de la Ley 27.002 a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y la movilidad representa el 30% de la demanda total de energía, el 15% de las emisiones de gas de efecto invernadero y el 24% de dióxido de carbono emitido año a año.

Por otra parte, en la electromovilidad pasó de solo de usar un 2% energías renovables a un 12% en el 2021 y se estima que va a seguir creciendo, cada vez que utilizan y generan una matriz energética más limpia, avanzan en sus compromisos climáticos.

La visión es que el mundo va a demandar productos con elevados estándares ambientales y transformar la matriz de producción de vehículos a una sustentable, puede generar mayores exportaciones en un mercado que todavía es bastante novedoso y disruptivo, y además invertir y promover este tipo de industria origina externalidades positivas como avances en tecnologías que se apliquen en otros sectores y no solo en la movilidad.

En el marco de la iniciativa LAIF sobre Ciudades y Cambio Climático, financiada por la Unión Europea e implementada por la CAF – Banco de Desarrollo de América Latina y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), se concluyó el estudio sobre la electrificación del sistema de colectivos de la capital argentina. El estudio propone tres fases de implementación. “La primera fase de electrificación consiste en la renovación de 300 buses a 2025, lo que permitiría realizar en la ciudad 50 millones de viajes al año en flota eléctrica y reducir 9 mil toneladas anuales de CO_{2e}”. En la fase 2, se impulsará la renovación de 900 buses colectivos al 2035 y en la fase 3 la renovación de 1800 unidades al 2050, equivalente al 50% y 100% de la flota, respectivamente. Con esto, se evitaría la emisión de 70 mil toneladas de CO₂ equivalentes anuales y se realizarán 300 millones de viajes en vehículos eléctricos” (CAF, 2022), un aporte al compromiso de la carbono neutralidad al 2050 de la ciudad.

2. São Paulo, Brasil

En junio de 2021, se lanzó el Plan Clima SP (Plan de Acción Climática del Municipio de São Paulo) con el fin de adaptar la ciudad a la necesidad de reducir la generación de contaminantes ante el cambio climático en el mundo.

El programa se ha desarrollado en colaboración con la red internacional de ciudades C40 y cuenta con 43 acciones que tienen como objetivo las emisiones cero de GEI (Gases de Efecto Invernadero) para 2050. El plan está en consonancia con el Acuerdo de París, cuyo objetivo es evitar que la temperatura del planeta suba más de 1,5 grados. Entre las estrategias están las acciones para reducir la demanda de servicios de transporte de pasajeros y de carga, reduciendo la necesidad de desplazamientos por la ciudad.

Las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en São Paulo provienen del transporte. En este segmento, el nivel de emisiones creció de 8,36 millones de toneladas en 2010 a 9,57 millones de toneladas en 2017. Si el ritmo de crecimiento continúa, la expansión de las emisiones por el transporte podría llegar a ser de hasta un 120% en 2050, considerando el periodo iniciado en 2017. La meta es que para 2029, los autobuses de la ciudad de São Paulo emitan un 53% menos de dióxido de carbono.

A principios de 2021, la ciudad contaba con 17 autobuses 100% eléctricos y 201 trolebuses y se finalizó con 660 nuevos autobuses con un rendimiento menos contaminante. Por otra parte, según SPTrans (*São Paulo Transporte*), que gestiona los autobuses de la capital paulista, la flota contratada del sistema municipal es de 13.945 colectivos (datos de mayo de 2021), considerando vehículos en funcionamiento y de reserva. Pero de ese total, sólo 218 autobuses tienen tracción eléctrica, 17 con baterías de la empresa Transwolff, que da servicio a la zona Sur, y 201 trolebuses (conectados a la red aérea) de la empresa Ambiental Transportes Urbanos (Consortio Transvida), que operan entre el centro y parte de las zonas Este, Sureste y Oeste.

El 17 de enero de 2018, el entonces alcalde João Doria promulgó la Ley 16.802 que modifica la Ley 14.933 de 2009, llamada Ley de Cambio Climático. La “nueva ley” determinó que la reducción de las emisiones contaminantes de los autobuses de São Paulo debe ser acorde con el tipo de contaminante para 2027 y para 2037. Así, no se exigirá un tipo de autobús, aunque al final del plazo, en la práctica, sólo los modelos eléctricos y los trolebuses de hidrógeno pueden cumplir algunos requisitos.

En São Paulo, sin embargo, los contratos con las empresas de autobuses incluyen objetivos anuales de reducción de emisiones y de sustitución de la flota. En el caso de los autobuses eléctricos, hay dos proveedores actuales en Brasil: BYD, con una planta en Campinas, en el interior de São Paulo; y Eletra Industrial, con sede en São Bernardo do Campo, región del ABC Paulista, en el Gran São Paulo.

Mercedes-Benz, el mayor proveedor de autobuses de la ciudad, no fabrica modelos alternativos al diésel en Brasil, pero viene propagando el HVO —Aceite Vegetal Hidrogenado, un biodiésel hidrogenado, que puede ser utilizado en los modelos actuales. Sin embargo, el HVO aún no se fabrica ni se homologa en Brasil.

3. Bogotá, Colombia

El principal modo de transporte motorizado en las ciudades colombianas es el transporte público. En Bogotá, representan 37% de los 5,9 millones de viajes diarios (2019). Entre 2019 y 2020 se licitaron en Bogotá 1.485 buses eléctricos, que corresponden a los que ya se encuentran circulando y a los que están próximos a llegar. Estas licitaciones fueron adjudicadas a la empresa china BYD Auto Co. En poco menos de tres años, los buses eléctricos que ya están prestando el servicio en las calles de esta ciudad corresponden al 9,9% del total de la flota de su transporte público.

En Bogotá, en el año 2000 se puso en marcha el Transmilenio, un sistema de transporte masivo del tipo Bus de Tránsito Rápido (conocido por sus siglas en inglés BRT) con carriles exclusivos. En 2006, la Secretaría Distrital de Movilidad de la Alcaldía Mayor de Bogotá puso en marcha el Plan Maestro de Movilidad (PMM) mediante el "Decreto 319 de 2006, por el cual se adopta el Plan Maestro de Movilidad para Bogotá Distrito Capital, que incluye el ordenamiento de estacionamientos, y se dictan otras disposiciones". El PMM define que el sistema de movilidad se estructura a partir del sistema de transporte masivo y sus componentes. Por esta razón, uno de los proyectos más importantes del PMM ha sido el diseño y puesta en marcha del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP). En la actualidad, el SITP es organizado y gestionado por Transmilenio S.A., que es la empresa operadora del sistema BRT de Bogotá.

En abril de 2022, Bogotá logró un hito importante en su carrera hacia la movilidad eléctrica, con la entrada en operación de 406 buses nuevos de esa tecnología, completó un total de 1.061 en su Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), y así se convirtió en la ciudad que cuenta con la flota de buses eléctricos de transporte público más grande del mundo fuera de China, posición que ocupaba hasta entonces Santiago de Chile. Según los expertos entrevistados en esta investigación, a mediados de 2023 tendrán más de 1400 buses eléctricos, la mayor flota a nivel latinoamericano. Además, Colombia cuenta con una ley de electromovilidad que genera una cantidad de estímulos, especialmente de tipo tributario para las empresas que decidan invertir en movilidad sustentable. Adicionalmente, en el caso del transporte público, una parte de estos buses son importados y otra son ensamblados en Colombia.

De un total de 16.029 unidades de autobús, 9.717 unidades se integran en el SITP, que supone el 60,6 % de la flota. 6.312 unidades son transporte colectivo tradicional, que supone el 39,4 % de la flota. En 2017, el porcentaje de introducción de la electromovilidad en el sistema de transporte en autobús en Bogotá era de 436 unidades, el 2,72 % del total de la flota.

En términos de transporte eléctrico masivo, la Alcaldía Mayor de Bogotá, a través del sistema TransMilenio, dio inicio a las pruebas de un bus eléctrico de baterías articulado desde junio 2017 (Alcaldía de Bogotá, 2017) y desde el año 2014 inició la operación de buses híbridos en dicho sistema (Transmilenio, 2016). Así mismo, mediante la licitación de junio de 2019 del SITP se contempla la incorporación de cerca de 600 buses de cero emisiones.

Hoy Colombia cuenta con una Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, que entre sus antecedentes tiene la reforma tributaria realizada en el año 2016, que trajo consigo incentivos para el transporte eléctrico, ya que incluyó dentro de los bienes gravados con tarifa del 5% del Impuesto al Valor Agregado (IVA) a vehículos para el transporte de diez o más personas, taxis, transporte de mercancías, motocicletas y bicicletas, cargadores, entre otros. Así mismo, el Estatuto Tributario ha permitido generar otros mecanismos para el acceso a estos incentivos, en desarrollo de los artículos 424 numeral 7 y 428 literal f. Los incentivos tributarios de exclusión de IVA y descuento de renta se han desarrollado a través de los Decretos 1564 de 2017, 2205 de 2017 y 2143 de 2017 y las Resoluciones Minambiente 1988 y 2000 de 2017 y la Resolución Upme 463 de 2018.

Los principales desafíos del mercado de buses de bajas emisiones son:

- El costo de los buses con nuevas tecnologías.
- Los costos logísticos internos.
- Las dificultades financieras de los sistemas de transporte público.
- El esquema impositivo vigente es desfavorable para la industria local.

4. Santiago, Chile

La Red Metropolitana de Movilidad (o RED), llamada Transantiago de 2006 a 2019, es el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago de Chile, que incluye el servicio de buses, metro y tren suburbano. En 2021, el servicio de buses consta de una flota de 7.279 vehículos a cargo de 6 empresas de transporte y cuenta con 382 recorridos diferentes para cubrir la zona urbana de Santiago, con una demanda de pasajeros estimada de 4 millones de usuarios a la semana (DTP, 2021).

Los primeros buses del Transantiago corresponden a buses con motores diésel de combustión interna, pero a partir de noviembre del año 2017, Transantiago puso en funcionamiento los primeros buses eléctricos, cuyo número ha aumentado progresivamente desde entonces. Para agosto del 2020, había 676 buses eléctricos en servicio (Red Metropolitana de Movilidad, 2020), correspondiente al 9,3% de la flota total. A marzo 2022, la Red cuenta con 776 buses eléctricos y 1.444 buses ecológicos, todos con accesibilidad universal, más cómodos y seguros. Según datos de la autoridad de transporte metropolitano, el costo de inversión es 60% mayor que el de un bus diésel, el mantenimiento preventivo es 40% más barato, el consumo de energía es un 76% más barato, la autonomía es de 250 km y el tiempo de carga es de 3 a 4 horas.

Sobre el caso de la implementación de una línea de buses eléctricos en la ciudad de Santiago de Chile, se ha reconocido la clave del éxito: una alianza privada entre la empresa operadora (METBUS), la empresa de generación eléctrica (ENEL) y la empresa fabricante de buses (ByD). Entre los aspectos a destacar de la experiencia de Santiago de Chile se encuentran:

- i) El diseño y las condiciones operacionales del corredor son claves para el éxito de la experiencia. Por ejemplo, la definición de un carril segregado para los buses eléctricos, con una única empresa operadora, distancia óptima de 12,5 km. Es altamente recomendable el pilotaje para determinar condiciones específicas del sitio de operación de los buses, como por ejemplo la carga regenerativa en frenado y condiciones climáticas.
- ii) Otro aspecto clave del diseño es la ubicación de los terminales de carga y las características de los buses para los procesos de carga (rápida o *full*).
- iii) En el caso de la experiencia de METBUS (operador), ésta radica en menores costos de operación (combustible) y menores costos de mantenimiento. Otros aspectos claves de la experiencia de METBUS tienen relación con la implementación de tecnologías para el monitoreo del consumo energético y la preocupación por la capacitación de los conductores en la conducción de buses eléctricos, la cual difiere de la conducción de buses diésel.

Existe una valoración muy positiva de los buses eléctricos por parte de los usuarios en encuestas de satisfacción, notable mejora respecto a encuestas previas sobre buses diésel.

Ahora bien, el país tiene mantiene desafíos ya detectados por la Agencia de Sostenibilidad Energética, en un estudio sobre la electromovilidad en Chile (EBP Chile, 2018):

- Infraestructura de carga rápida escasa y concentrada en el sector oriente de la Región Metropolitana.
- Falta de estandarización para estaciones de recarga. "Los patrones de uso del vehículo en Chile incluyen viajes largos, interregionales, lo que podría causar un desincentivo a la compra de vehículos eléctricos particulares." (EBP Chile, 2018).
- El valor agregado para la minería del Litio, Cobalto y Cobre está limitado por la inexistencia de una industria manufacturera automotriz.
- La electromovilidad contribuye directamente al desarrollo de industria de Litio en Chile.
- Desde el punto de vista de cumplimiento con los compromisos ambientales adquiridos por Chile, es importante resaltar que el país ratificó el Acuerdo de París, el 10 de febrero de 2017, comprometiéndose a una reducción de un 30% en la intensidad de sus emisiones de GEI al año 2030, respecto al año 2007. De obtenerse financiamiento internacional, esta meta podría aumentar hasta un 45% de reducción de emisiones de CO₂ por unidad de PIB.

5. Ciudad de México, México

En el área metropolitana del Valle de México viven 20,4 millones de personas, de ellos solo 8,8 millones viven en la Ciudad de México. Allí se realizan 34,5 millones de viajes metropolitanos al día y 19,5 millones están relacionados a la ciudad, es decir, la mayor parte de los viajes se hacen exclusivamente en la Ciudad de México.

Al analizar el reparto modal del área metropolitana, se encuentra que 2/3 se hacen en transporte público. La ciudad posee una red de metro de 226 km. El problema de la ciudad está en el transporte público terrestre, ya que se poseen alrededor de 5.500 unidades con más de 30 años de antigüedad. La edad promedio de la flota vehicular de la Ciudad de México es de 18 años, estos buses utilizan tecnología muy antigua altamente contaminante, son incómodos e inseguros, además son manejados por pequeños operadores privados con falta de profesionalización. Por otra parte, en los alrededores de la ciudad proliferan servicios informales.

Respecto a las emisiones, en Ciudad de México las fuentes móviles contribuyen con tres cuartas parte de las emisiones de gases de efecto invernadero y a su vez el transporte público y de carga contribuye con el 50% de las emisiones de material particulado, siendo además un importante contribuyente de monóxido de carbono, es decir, es un sector que contribuye bastante a mala calidad del aire.

Desde 2018, la ciudad ha centrado su transporte terrestre en rescatar su flota de trolebuses. Hace 30 años la ciudad tuvo 500 trolebuses y 512.500 km de catenarias que se conservaban, así como también las subestaciones. La apuesta se ha dado también impulsada por la flexibilidad de la tecnología, ya que el trolebús es más flexible y posee una autonomía de 75 km, es decir, puede funcionar por 75 km descolgado. En la práctica funciona como un bus eléctrico, pero aprovechando la infraestructura que la ciudad ya tenía.

Ese rescate se ha unido a un incipiente ingreso de buses eléctricos, al aumento de las líneas de teleférico y también al impulso a la bicicleta. Entre 2019 y 2024 se espera que la ciudad cuente con 600 kilómetros de ciclovía.

II. Principales avances relacionados con la conversión de buses diésel a eléctricos

La conversión o *retrofit* es una forma de llegar a la electromovilidad utilizando como entradas los sistemas que funcionan a combustión y por medio de procesos técnicos se produce un sistema completamente eléctrico.

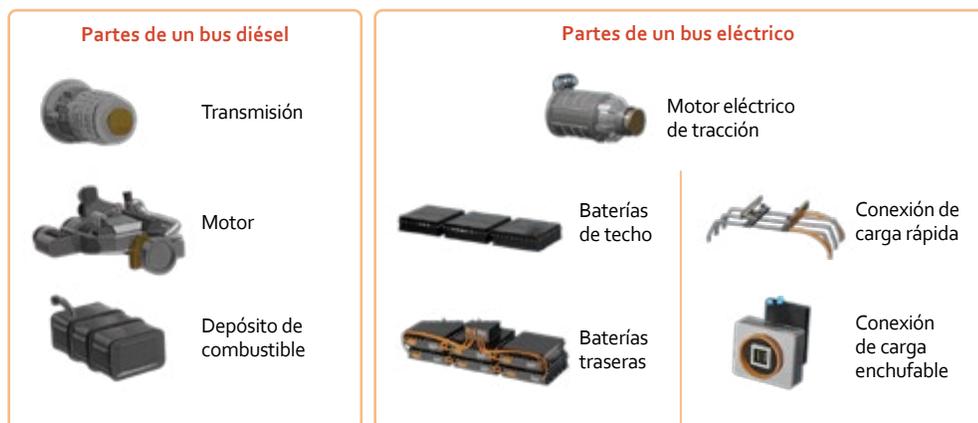
El *retrofit* consiste en reemplazar un motor de combustión interna, por un powertrain eléctrico. El procedimiento consiste en extraer del vehículo el motor térmico, tanque de combustible fósil, escape, bomba de combustible, radiador y todos los periféricos que podría llegar a tener, como tanque de GNC, por ejemplo. Se readecúa el nuevo espacio existente para ubicar el motor eléctrico, Battery Manager System BMS, cargador on board, baterías, y todos los dispositivos que sean necesarios para asegurar la funcionalidad de los sistemas del vehículo, como, por ejemplo, computadora a bordo, dirección hidráulica, calefacción, aire acondicionado, entre otros. “Como regla general ideal, se calcula que el equivalente en kilos de esta sustracción y adición de componentes, no superen la TARA asignada para ese vehículo” (ALAMOS, 2020, pág. 3).

El *retrofit* de buses se está convirtiendo en una industria global, con mercados meta especialmente en países con recursos económicos escasos, una vez que implica reducción del costo de inversión para incorporar buses eléctricos, que es una tecnología más eficiente (rentable), menos contaminante y más segura. El *retrofit* permite convertir los buses convencionales en buses 100% eléctricos a un costo significativamente menor (aproximadamente 40%) que el de un bus eléctrico nuevo. Los indicadores financieros tanto para el operador del bus como para la actividad de *retrofit* son positivos, incluso con precios de diésel subsidiado.

La industria de conversión a vehículos eléctricos es todavía muy incipiente, incluyendo talleres de conversión de vehículos, y fabricantes de kits de recambio y de componentes del vehículo eléctrico, aunque gran parte de las experiencias de conversión a eléctrico se realizan hasta ahora de manera no industrial, como proyectos piloto, prototipos de investigación o innovación.

La siguiente imagen muestra las principales partes de un bus diésel y de un bus eléctrico, que tiene baterías en el techo que se cargan en las paradas. Cada minuto de carga de estas baterías puede agregar hasta 5 kilómetros de recorrido.

Diagrama 2
Partes de un bus



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los avances en la región, CEPAL presentó una propuesta de regulación para acelerar y motivar la conversión de vehículos a combustión a eléctricos, como una manera de acelerar la transición del transporte de pasajeros hacia la movilidad eléctrica, ya que el primer paso es contar con un marco regulatorio que establezca los requisitos necesarios para resguardar la seguridad. En este documento se plantea la posibilidad de una regulación de carácter general para que los países interesados puedan hacer el uso que estimen conveniente de la propuesta.

Dentro de los elementos más relevantes presentados en dicha publicación encontramos:

- “El establecimiento de una regulación que busca cautelar la seguridad de la instalación y el Sistema de Acumulación de Energía Recargable como componente.
- La Implantación de un procedimiento de certificación de vehículos transformados realizado por un *Servicio Técnico*. El mismo deberá ser designado por la autoridad correspondiente bajo un esquema que considera la homologación de un prototipo de la combinación *modelo de vehículo/Kit de Transformación*.
- Existencia de Talleres de Transformación, que deberán cumplir con requisitos específicos y encontrarse autorizados por las personas que realicen la homologación del prototipo de vehículo-kit de transformación.
- Por último, se realizará un control efectuado por un *Tercero Independiente*, como requisito previo para autorizar la circulación del vehículo transformado, de acuerdo con requisitos técnicos establecidos” (CEPAL, 2021, pág. 6).

Además, se presentan los siguientes beneficios:

- Vehículos con características estructurales probadas en las condiciones de las calles y caminos de América Latina.
- Compatibilidad de repuestos en el ecosistema local (más accesible en áreas remotas).
- La economía circular permite disminuir la cantidad de residuos y generación de chatarra.
- Generación de empleo local en la conversión de los buses (5 empleos/bus mes)
- Permite formar capital humano en un área de futuro.
- Es una opción compatible con la importación/fabricación de buses eléctricos.

La siguiente imagen presenta los principales beneficios de los buses eléctricos versus los buses convencionales.

Diagrama 3
Beneficios de buses eléctricos



Fuente: Elaboración propia.

En los países de Latinoamérica, no existe actualmente ningún marco regulatorio específico que trate a las conversiones a nivel de los países de la región. Sin embargo, y según cada país, se adaptan los requisitos técnicos y legales de legislaciones vigentes para poder incluir a las conversiones. En forma previa, debe advertirse que en general el ordenamiento jurídico no autoriza la circulación de vehículos motorizados que hayan sustituido su motor de combustión por uno eléctrico.

En el caso de Chile, a fines de 2021 se llevó a consulta pública un "Reglamento que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica", donde se definió la Transformación como un "Proceso técnico mediante el cual a un vehículo con motor de combustión interna se reemplaza su motorización, por un motor eléctrico, y que considera a lo menos los siguientes dispositivos: motor eléctrico, sistema de almacenamiento de energía (baterías), sistema de acoplamiento de carga eléctrica, dispositivo de monitoreo de aislamiento, aislamiento y protección contra descargas eléctricas, y todo dispositivo necesario para el correcto funcionamiento del vehículo transformado.

En Colombia, no están reglamentados los requisitos legales y técnicos que se deben cumplir para que un vehículo convertido circule en vía pública. Sin embargo, los procedimientos para cambio de motor y revisión técnico-mecánica se deben cumplir sin importar el tipo de motorización del vehículo. Sin embargo, el registro del cambio de motorización se hace porque hay un área gris en la regulación (ALAMOS, 2020).

En Argentina, desde 2019, a través del documento legal (Circular D.T.R. y R. N° 9/19), se fijaron nuevos resguardos para el trámite de cambio de motor de vehículos fabricados para ser usados con combustibles fósiles y se establecen una serie de requisitos técnicos para poder inscribir ese vehículo modificado en el registro de vehículos motorizados, entre los cuales encontramos un listado de componentes críticos, y un informe técnico firmado por un Ingeniero Mecánico o Electromecánico matriculado, con su firma debidamente colegiada, entre otros.

La conversión tiene como base la economía circular, por eso es importante analizar si los componentes de esa conversión pueden/deben ser reutilizados, en especial, componentes críticos como batería o motor. Baterías, aceites y neumáticos han sido abordados por las Leyes de Responsabilidad Extendida del Productor, como parte de los productos prioritarios.

Ahora cada vez es más común plantearse el análisis desde el flujo de materiales y con ello se ha comenzado a estudiar el ciclo de vida de los materiales involucrados en la electromovilidad.

III. Análisis del ciclo de vida de un vehículo de transporte público

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) es una metodología que permite estimar y evaluar los impactos que un producto o servicio puede tener sobre el medio ambiente. El objetivo principal de ACV es identificar y cuantificar el impacto ambiental, en este caso, de un bus de transporte público, en una perspectiva de la cuna a la tumba. El ciclo de vida incluye la producción, el uso y el final de la vida.

La aplicación del ACV a un producto o servicio y la caracterización de los impactos ambientales generados por sus procesos asociados, permite identificar en cuales de los procesos se genera el mayor impacto ambiental, pudiendo priorizar y dirigir los esfuerzos de mejora a esos procesos, para lograr la mayor disminución del impacto ambiental posible. Estos esfuerzos, dependiendo del proceso que se quiere mejorar, puede ser la implementación de una nueva tecnología, el cambio de materias primas o insumos, un mayor control de los procesos para mejorar la eficiencia, etc.

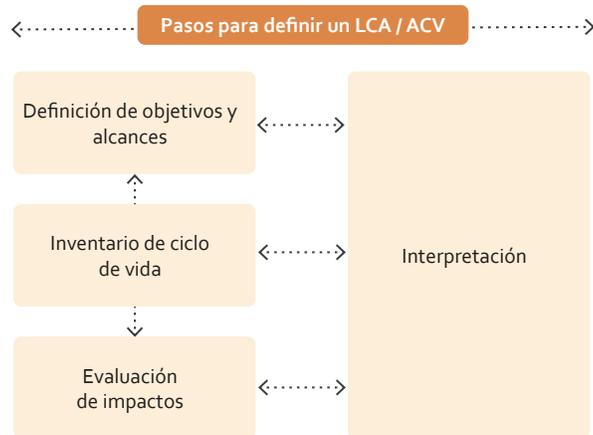
También se considera al ACV como una herramienta importante al momento de emprender una transición a una EC, ya que permite identificar puntos críticos de mejora ambiental, para los cuales se pueden implementar estrategias de EC.

Además de la huella de carbono y la eficiencia energética, el rendimiento ambiental de un bus incluye elementos como la composición de los materiales, el tipo de baterías, los métodos de producción y reciclaje, y otras emisiones y contaminantes.

Cuando se trata de autobuses convencionales, como diésel, la fase de uso representa la mayoría absoluta de los efectos ambientales en un cálculo de LCA. Para los buses eléctricos, el impacto en esta fase está estrechamente relacionado con dónde y cómo se produce la electricidad utilizada para la propulsión.

La huella de carbono durante la operación puede variar enormemente, dependiendo de cómo se produzca la electricidad. Por lo general, los equivalentes de CO₂ emitidos por la producción de energía van desde ≈ 12 g/kWh de la energía eólica moderna hasta ≈ 1.200 g/kWh del uso de carbón (Volvo Buses, 2022). Por lo tanto, la combinación de electricidad utilizada para la carga es el factor más importante en lo que respecta al impacto ambiental de los autobuses eléctricos.

Diagrama 4
Pasos para definir un ACV



Fuente: Elaboración propia con base en la Norma ISO LCA 2006.

Diagrama 5
Fuentes de emisiones a lo largo del ciclo de vida



Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, la fase de producción de los autobuses eléctricos tiene un mayor impacto ambiental en comparación con los autobuses convencionales. La razón principal de esto es la fabricación de baterías que requiere recursos y energía adicionales. Dado que el desarrollo de las baterías avanza rápidamente, el impacto ambiental debe evaluarse continuamente. El uso de materias primas escasas, las condiciones de trabajo en las minas y el potencial para reciclar materiales celulares son parámetros donde se necesita más investigación.

Además, la aplicación de baterías usadas de vehículos en redes energéticas de infraestructura tiene un gran potencial y es un área que seguir desarrollando. Desde la perspectiva del ciclo de vida, el uso de la segunda vida útil de las baterías significa que la fase "en uso" se extiende significativamente, lo que reduce la huella ambiental general.

A. Salidas del sistema/producto: principales desechos/materiales en la prestación de servicios de transporte público

Durante esta investigación se han encontrado diferentes tipos de desechos asociados a la prestación de servicios de transporte público en la región. Estos desechos han sido clasificados en dos principales tipos, los que representan alto potencial de circularidad y los que todavía requieren mayores esfuerzos para poder cerrar sus ciclos, por lo que el potencial es bajo.

Cuadro 1
Desecho y potencial

Tipo de Desecho	Potencial de circularidad
Baterías	Alto
Neumáticos	Alto
Chasis	Alto
Motor	Bajo
Sillas, interior del bus	Bajo

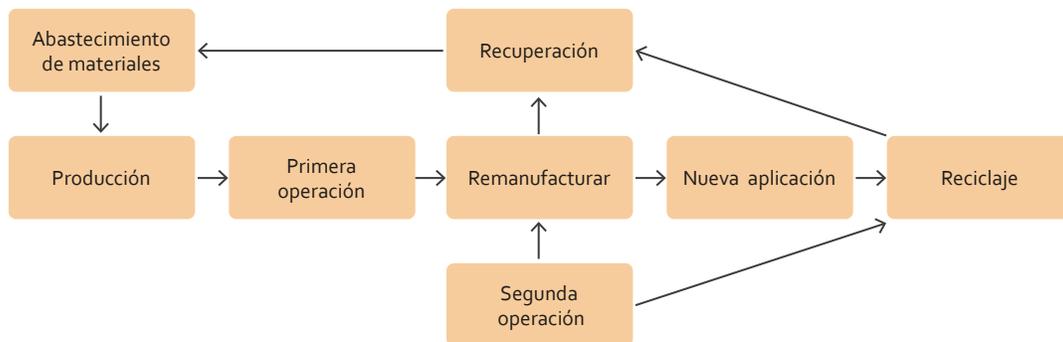
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el tipo de baterías eléctricas más utilizadas en autobuses de transporte público es la Batería de Ion-Litio, debido a su alta densidad de energía y bajo peso. Existen diferentes variaciones de este tipo de batería, de las cuales se destacan: Batería de Litio, Níquel, Manganeso y Cobalto (NMC), cuya principal aplicación es la carga nocturna y la Batería de Fosfato, Litio y Hierro (LFP), que ofrece una carga más rápida.

Uno de los temas más relevantes en la transición hacia la electromovilidad, además de la producción de electricidad, es la producción, el uso y el reciclaje de baterías. Las baterías son productos prioritarios de la Ley REP (Ley N°20.920) en países como Chile, por lo que es fundamental considerar el potencial de circularidad que tienen.

El siguiente diagrama presenta los procesos de reúso y reciclaje de baterías. Fue publicado por Volvo, empresa que refiere a la propuesta de Directiva de Baterías de la Unión Europea para desarrollar sus estrategias circulares.

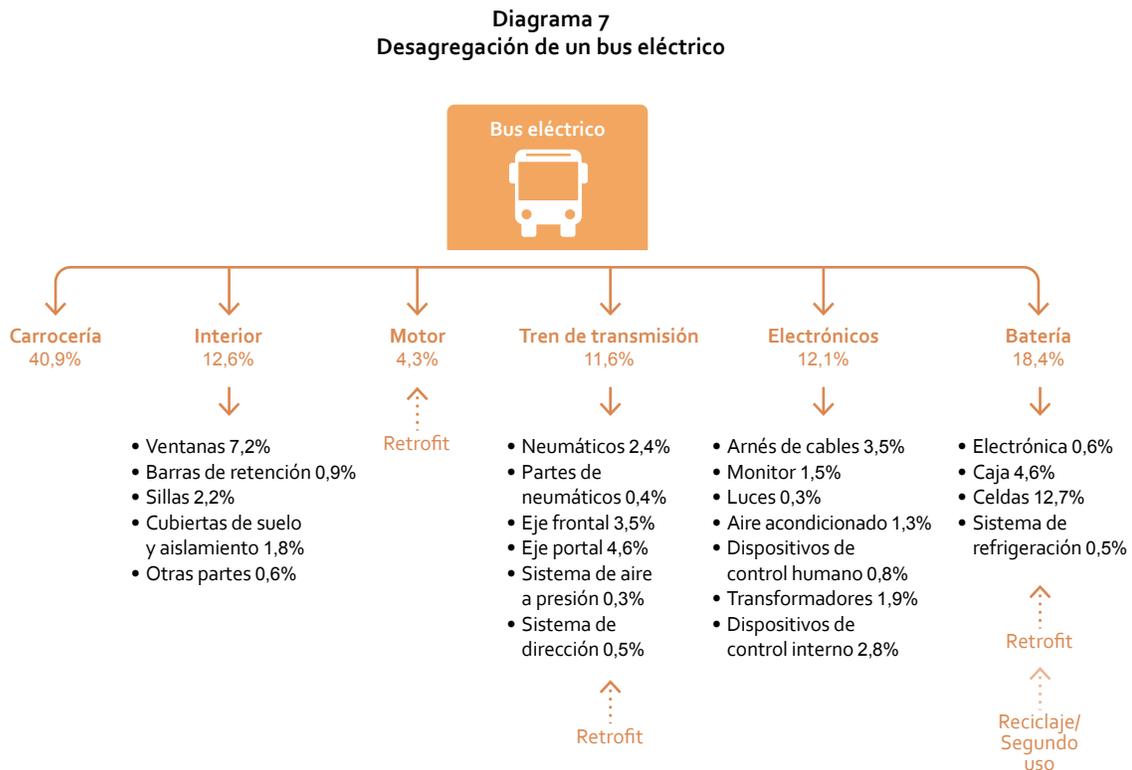
Diagrama 6
Procesos de reúso y reciclaje de baterías



Fuente: Elaboración propia sobre la base de Volvo Buses (2022).

B. Salidas del sistema/producto: desechos/materiales asociados a la conversión de buses diésel a eléctricos

Es importante que las posibilidades de reciclaje, de segundo uso o economía circular asociadas a productos de la electromovilidad, como pueden ser las baterías, tengan en cuenta los pasivos ambientales que pueden ir quedando en el tiempo. En los recientes estudios de la CEPAL, se ha identificado que la carrocería representa el 41% del peso del bus, luego la batería es muy importante en cuanto a sus contaminantes. Actualmente, se está desarrollando una metodología que considere impactos adicionales que se generan al llevar a cabo el proceso de la conversión. El primer paso es identificar las partes de bus eléctrico, como se ve en el siguiente diagrama.



Fuente: Durán (2022).

Los principales desechos que existen al convertir buses de transporte público de diésel a eléctricos son:

- Motores diésel
- Mangueras
- Cables
- Residuos de acero
- Convertidores catalíticos

Los residuos son gestionados manualmente por empresas que convierten estos buses, como Reborn Electric en Chile, y dependiendo del país de la región, la gestión de estos residuos se basa en las normativas locales, como por ejemplo la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (Ley N°20.920).

Como se ha mencionado en el punto anterior, las baterías de los buses eléctricos aún no cuentan con estrategias claras de gestión de desechos. Esto ha sido confirmado durante esta investigación con expertos de Chile y Colombia, y es una preocupación importante ya que los países de la región deben estar preparados cuando las baterías cumplan su vida útil.

Finalmente, para analizar la gestión los convertidores catalíticos se han investigado estrategias circulares, sin embargo, no se han encontrado ejemplos de buenas prácticas en Latinoamérica. Los desechos de este componente del bus diésel son tratados como una fuente de metales nobles: platino, paladio y rodio. Cuando es rentable, estos metales se recuperan mediante procesos hidrometalúrgicos. Estos tratamientos presentan inconvenientes como el uso de agentes altamente agresivos y corrosivos, lo que a la vez puede generar grandes cantidades de residuos.

En el futuro, las autoridades reguladoras deberán poner la atención a la evaluación o análisis **del ciclo de vida de un automóvil**, es decir, evaluar más allá de las emisiones durante el uso, las emisiones que surjan aguas arriba, en la extracción de materias primas o en la producción de vehículos, por lo que los actores de la cadena de valor estarán obligados a mejorar su desempeño ambiental, gestionando los aspectos ambientales de su negocio.

IV. Modelos de negocios asociados a los desechos/materiales que se generarán

Un modelo de negocio se refiere a la forma en como una organización crea, gestiona y captura valor, y ha despertado gran interés sobre todo con la metodología de Lean Startup. La capacidad de avanzar rápida y exitosamente hacia nuevos modelos de negocios es una fuente importante de ventaja competitiva sostenible y un apalancamiento clave para mejorar el desempeño de sostenibilidad de las organizaciones, para así contribuir a la mitigación del cambio climático.

Entre los materiales que actualmente son considerados “basura” a nivel regional, destacamos en este apartado aquellos que tendrían un potencial para cerrar su ciclo. En primer lugar, se presenta un cuadro con los beneficios del cierre de ciclo, luego las estrategias de circularidad y modelos de negocios asociados.

La innovación es uno de los componentes básicos de una Economía Circular para generar cambios profundos en los modelos de negocio y crear una economía que sea restaurativa y regenerativa por diseño e intención. Y junto a la competitividad, aportan a la diversificación regional entregando oportunidades de acceder a las cadenas de valor global al cumplir con los requisitos de circularidad que han comenzado a surgir en los mercados internacionales.

En el caso de los modelos de negocios circulares, generalmente las empresas se someten a los métodos Lean Startup y los procesos planteados por Tim Brown en “Change By Design”, primero desarrollando los conceptos para los modelos de negocio objetivo, buscando socios, diseñando y prototipando para luego probar y pivotar nuevas soluciones, para finalmente escalar rápidamente y seguir creciendo al adoptar múltiples modelos de negocios circulares en sus operaciones y cadena de valor.

Cerrar el ciclo de material en una cadena de valor no siempre conduce a un mejor desempeño ambiental, a menudo se limita a la gestión de residuos y no es sostenible en sí misma, sino que necesita desacoplarse de los combustibles fósiles y avanzar hacia la electromovilidad.

Luego de analizar la literatura y las primeras entrevistas realizadas el cuadro 2 presenta los beneficios de cerrar el ciclo de estos desechos, las estrategias de circularidad y los modelos de negocios asociados a estas estrategias.

Cuadro 2
Desechos y estrategias de EC

Tipo de desecho	Estrategia Circular	Tipo de Uso	Modelo de Negocio
Baterías	Reutilizar, Reciclar	Doméstico	Reventa y uso menos intensivo en energía solar y otros
Neumáticos	Reutilizar	Construcción	Uso del desecho como material para otra industria
Chasis	Reparar, Remanufacturar	Conversión, chatarra	Conversión de buses, chatarra
Motor	Reparar, Reutilizar, Recuperar	Repuestos	Reventa por pieza
Sillas, interior del bus	Reciclar		

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las estrategias de circularidad que vamos a asociar con cada uno de los residuos/materiales podemos encontrar iniciativas no solo desde la gestión de residuos, sino que en las categorías 9R: Repensar, Reutilizar, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reducir, Repropner, Reciclar y Recuperar.

Diagrama 8
Las R de la Economía Circular



Fuente: Elaboración propia con base en Potting et al., (2017, p. 5).

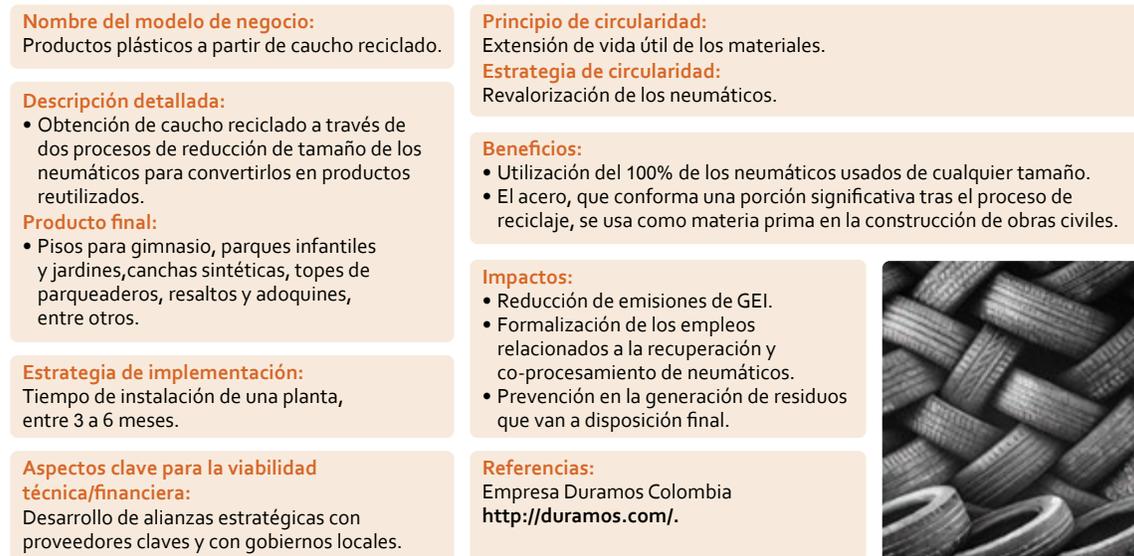
En algunos de los países incluidos en la investigación, la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor, conocidas como Ley REP, por sus siglas, es un importante habilitador para desarrollar las estrategias circulares con el fin de mantener estos componentes en uso.

Las baterías de los buses eléctricos presentan por ahora un bajo potencial de circularidad, sin embargo, el aumento de buses eléctricos en la región incentivará el desarrollo de modelos de negocios circulares para el uso de estos desechos. Se estima que el uso en bus de transporte público es de ocho a diez años, y el uso que se le puede dar a una batería en uso doméstico puede ser de hasta quince años. Desafortunadamente, existe desinformación de los contenidos de las baterías eléctricas por parte de los fabricantes. Esto podría solucionarse con más normativas que exijan información a los importadores y a fabricantes, para facilitar las estrategias circulares que se pueden desarrollar para reducir el impacto de las baterías.

En los próximos años, la movilidad eléctrica de hoy pondrá a prueba la capacidad de reciclaje sostenible. Debido a la presencia de componentes orgánicos (electrolito, separador, carcasas, etc.), las futuras tecnologías de reciclaje combinarán el pretratamiento térmico seguido del procesamiento hidrometalúrgico. A pesar de la aplicación continua de dicho tratamiento, todavía falta información sobre cómo los parámetros aplicados afectan la recuperación posterior del metal.

Los siguientes diagramas muestran ejemplos de modelos de negocios empleados en la región y también en otras geografías para mitigar el impacto de los residuos del transporte público, empleando estrategias circulares.

Diagrama 9
Modelos de negocios circulares (I)



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 10
Modelos de negocios circulares (II)



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 11
Modelos de negocios circulares III

Nombre del modelo de negocio:

Neumáticos en desuso convertidos en materia prima para baterías.

Descripción detallada:

- Obtención de grafito para la fabricación de baterías de litio, a través del carbón black producto del proceso de pirólisis.

Producto final:

- Grafito. De 20 ton de neumáticos se producen aproximadamente 3 ton de grafito.

Estrategia de implementación:

Instalación de una planta de pirólisis para la obtención del carbón black.

Los neumáticos pasan por un proceso de pirólisis, donde se obtiene: carbón black, diesel y acero.

El carbón black debe pasar por un proceso de conversión a grafito.

Aspectos clave para la viabilidad

técnica/financiera:

Desarrollo de alianzas estratégicas con proveedores claves y con gobiernos locales.

Principio de circularidad:

Extensión de vida útil de los materiales.

Estrategia de circularidad:

Revalorización de los neumáticos.

Beneficios:

- Recuperación del 30% de los neumáticos como carbón black para re-comercialización.
- Generación de diesel (pirólisis) como subproducto y/o combustible alternativo.
- Producción de grafito para baterías de litio.

Impactos:

- Reducción de emisiones de GEI.
- Formalización de los empleos relacionados a la recuperación y co-procesamiento de neumáticos.
- Prevención en la generación de residuos que van a disposición final.

Referencias:

Empresa Duramos Colombia
<http://duramos.com/>.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 12
Modelos de negocios circulares IV

Nombre del modelo de negocio:

Reutilización de baterías de iones de litio.

Descripción detallada:

Gestión del reciclaje de baterías de iones de litio, utilizando procesos mecánicos e hidrometalúrgicos, con cero emisiones de CO₂.

Estrategia de implementación:

La primera etapa de este ciclo es el procesamiento, que da como resultado un producto denominado: "Masa Negra".

El segundo paso es el procesamiento de este material por solución hidrometalúrgica, método químico utilizado para obtener Cobalto, Litio, Níquel y Manganeseo.

Aspectos clave para la viabilidad

técnica/financiera:

Desarrollo de alianzas estratégicas con proveedores claves y con gobiernos locales.

Principio de circularidad:

Extensión de vida útil de los materiales.

Estrategia de circularidad:

Revalorización de las baterías.

Beneficios:

- Reinserción de la materia prima en la cadena productiva. Reciclado con una eficiencia media del 85%.
- Proceso libre CO₂.

Impactos:

- Reducción de emisiones.
- Recuperación de materias primas.
- Generación de empleos circulares.

Referencias:

Empresa Energy Source
energysource.com.br.



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 13
Modelos de negocios circulares V

Nombre del modelo de negocio:

Retrofit.

Descripción detallada:

El bus eléctrico refabricado Reborn es tan potente como un bus eléctrico nuevo, pero permite reducir desechos y disminuir el impacto en el medio ambiente a través estrategias circulares.

Estrategia de implementación:

Refabricación de diferentes tipos de bus y maquinaria pesada de diésel a eléctrica. La duración de la batería, los tiempos de recarga y la autonomía requerida también son adaptables.

Aspectos clave para la viabilidad técnica/financiera:

Desarrollo de alianzas estratégicas con el gobierno para establecer nuevas regulaciones que permitan el uso de estos buses.

Principio de circularidad:

Remanufacturar.

Estrategia de circularidad:

Refabricación de buses diésel.

Beneficios:

- Mejor continuidad operacional (torque más alto se traduce en menos interrupciones causadas por el mal clima o problemas en rutas empinadas).
- Mayor versatilidad (100% eléctrico implica menor necesidad de ventilación en minas subterráneas).

Impactos:

- No produce NOx y SOx, y un 72% menos de emisiones de CO2 equivalentes que su contraparte de combustión interna.
- El uso del chasis original permite mantener la compatibilidad de los repuestos con otros equipos.

Referencias:

Empresa Reborn Electric
rebornelectric.cl.



Fuente: Elaboración propia.

V. Métricas para medir la circularidad

A nivel global, el “E-Mobility Index” es un estudio que muestra la situación global de la electromovilidad. El “E-Mobility Index 2021”, por ejemplo, fue desarrollado conjuntamente por Roland Berger y fka GmbH, se basando en tres indicadores: tecnología, industria y mercado. Estos indicadores permiten una visión objetiva del status quo de la movilidad eléctrica en las principales naciones automotrices: China, Alemania, Francia, Italia, Japón, Corea del Sur y Estados Unidos.

En el caso de España, la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (Anfac), ha desarrollado una batería de indicadores globales, que se usan tanto para España y sus Comunidades Autónomas, como para un conjunto de países europeos que tienen relevancia en electrificación. Ese documento contiene los siguientes indicadores:

- Indicador Global del Electromovilidad: es el resultado de la media del Indicador de Penetración de Vehículo Electrificado y el Indicador de Infraestructura de Recarga.
- Indicador de Penetración de Vehículo Electrificado: analiza la situación del mercado del vehículo electrificado, comprendido por el vehículo eléctrico puro y el eléctrico enchufable (BEV, PHEV y E-REV). Está compuesto por tres indicadores que permiten recoger las diferentes dimensiones del mercado del vehículo eléctrico:
 - i) Indicador de Vehículo Electrificado sobre el Mercado Total: mide el nivel respecto al objetivo de cuota del 10% de mercado electrificado.
 - ii) Indicador de Vehículo Electrificado sobre la Población Motorizable: refleja la situación de acuerdo con una cuota de 3,9 vehículos eléctricos por cada 1.000 personas en edad motorizable.
 - iii) Indicador de Vehículo Eléctrico Puro sobre el Mercado Electrificado: analiza la distancia a un objetivo del 70% de penetración de vehículo eléctrico puro respecto al vehículo electrificado.
- Indicador de Infraestructura de Recarga: mide el grado de desarrollo de la infraestructura de recarga pública según el número de puntos de recarga. Está compuesto por dos indicadores:
 - i) Indicador de Infraestructuras de Recarga sobre la Población Motorizable: evalúa el estado actual considerando un objetivo de 3,3 puntos de recarga por cada 1.000 personas en edad motorizable.

- ii) Indicador de Infraestructuras de Recarga Rápida sobre la Población Motorizable: mide la situación actual en referencia a una meta de 1 punto por cada 1.000 personas en edad motorizable.

Ahora bien, estos índices son globales y para el caso de la aplicación de la Economía Circular revisaremos métricas específicas a continuación.

A. Métricas para medir la circularidad aplicables a la electromovilidad

Existe una gran cantidad de estudios sobre la definición de la EC, acá abordaremos el estudio de Saidani et al. (2018). Centrado en el estado del arte de la economía circular, es un estudio taxonómico de una muestra compuesta por 327 artículos académicos en materia de medición y monitoreo de la transición e implementación de la economía circular en diferentes contextos, sectores y escalas. Este estudio fue utilizado también en el informe "Circular Economy Indicator Matrix for Measuring Circular Economy Progress in The Four Countries" del Proyecto "Assessment of the status of the Circular Economy for developing a Roadmap for Brazil, Chile, Mexico and Uruguay" de CTCN.

Existe además un estudio desarrollado por Kirchherr et al. (2017), en el que se revisaron 114 definiciones de economía circular codificadas en 17 dimensiones, donde plantean la definición que utilizaremos, al igual que en el informe de CTCN: "La economía circular se define como un sistema económico en el que se reemplaza el concepto de "fin de la vida útil" de un producto o recurso, a través de mecanismos que por un lado reducen la generación de desechos, y por otro lado facilitan la recuperación, reutilización, reciclaje y reacondicionamiento de flujos de materiales, energía y agua para re-incorporarlos en nuevos ciclos y procesos de producción, distribución y consumo. Este modelo económico opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), a nivel meso (parques eco-industriales) y a nivel macro (ciudad, región, nación y más allá), con el objetivo de lograr un Desarrollo Sustentable que crea simultáneamente valor ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras" (Saidani et al., 2018).

Por su parte, la Fundación Ellen MacArthur (EMF, 2013), propone 3 principios de para la EC, que utilizaremos para clasificar los modelos de negocios y para enmarcar los indicadores: 1) Diseñar evitando generar residuos y contaminación. 2) Mantener los materiales y productos en uso continuo. 3) Regenerar los sistemas naturales. En el caso de los indicadores para la circularidad han proliferado los indicadores y el estudio de Saidani et al. (2018)., esta figura con los avances hasta 2019.

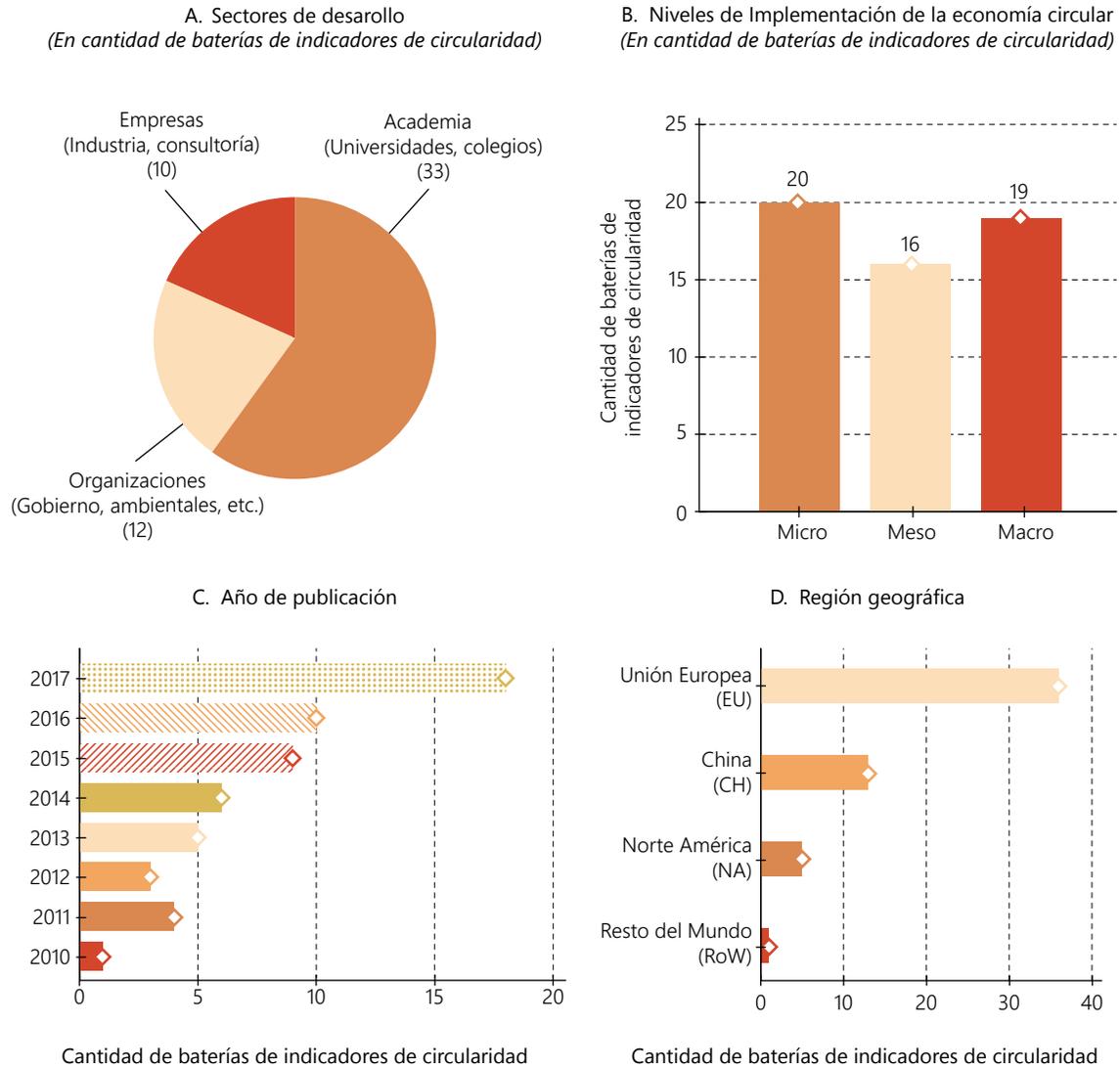
Debemos tener presente que de los **20 sistemas de indicadores circulares de nivel micro**, 17 han sido desarrollados por contribuyentes europeos. Por otro lado, **entre los 19 conjuntos de indicadores circulares de nivel macro**, 9 provienen principalmente de casos relacionados con China.

Con el objetivo de clasificar, diferenciar y orientar el uso de estas baterías de indicadores circulares, se presenta el diagrama 14.

Cabe destacar que la segunda categoría permite caracterizar los ciclos de retroalimentación (*feedback loops*) considerados por estos indicadores circulares. Con ello, se monitorea el grado de desempeño industrial desde la perspectiva de mantener, prolongar la vida útil, reutilizar/remanufacturar y reciclar los flujos de materiales, de acuerdo con la gestión de recursos técnicos conceptualizado en el diagrama de mariposa de la economía circular, propuesto por la Fundación Ellen MacArthur (EMF, 2015a).

A continuación, se muestra la distribución de las 55 baterías de indicadores circulares que hacen parte de este estudio taxonómico.

Gráfico 1
Caracterización de los sistemas de medición de la Economía Circular



Fuente: Saidani et al. (2018).

Diagrama 14
Categorización de las baterías de indicadores circulares definida para el estudio taxonómico



Fuente: Saidani et al. (2018).

Cuadro 3
Distribución de las 55 baterías de indicadores circulares en las principales categorías propuestas por este estudio taxonómico

Categorías	Micro (de 20)	Nivel Meso (de 16)	Macro (de 19)
Ciclos (<i>Loops</i>)	Reciclaje (18) Reúso / Remanufactura (13) Mantenimiento (9) Todos (9)	Reciclaje (16) Reúso / Remanufactura (12) Mantenimiento (7) Todos (7)	Reciclaje (18) Reúso / Remanufactura (10) Mantenimiento (6) Todos (5)
Desempeño operacional	Intrínsecos (16) Impacto (8) Ambos (4)	Intrínsecos (9) Impacto (11) Ambos (4)	Intrínsecos (17) Impacto (15) Ambos (13)
Perspectiva	Potencial (8) Efectividad (12)	Potencial (9) Efectividad (8)	Potencial (2) Efectividad (17)
Dimensión	Simple (12) Múltiple (18)	Simple (5) Múltiple (11)	Simple (1) Múltiple (18)
Transversalidad	Genérico (17) Sectorial (13)	Genérico (14) Sectorial (2)	Genérico (18) Sectorial (1)
Formato	Herramienta computacional (9) Formato textual (11)	Herramienta computacional (4) Formato textual (12)	Herramienta computacional (0) Formato textual (19)

Fuente: Saidani et al. (2018).

En el documento citado, se listan los 55 conjuntos de indicadores circulares analizados, para dar una referencia de otras baterías que han sido desarrolladas desde diferentes ámbitos y con finalidades y escalas distintas, que buscan medir avances en materia de circularidad.

1. Tasa de Uso de Materiales Circulares (CMU)

Este indicador mide el porcentaje de material recuperado y reincorporado en la economía, de esta forma evitando la extracción de materias primas vírgenes. Se define como la relación entre el uso de materiales circulares sobre el uso total de materiales. La Tasa de Uso de Materiales Circulares (CMU, por sus siglas en inglés) ha sido definido por la Unión Europea como uno de los principales indicadores para reportar avances tanto en el marco de economía circular presentado en el apartado anterior, como en el desempeño de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), específicamente el ODS12- Producción y Consumo Responsable y las metas establecidas para la generación y tratamiento de residuos (CTCN, 2018).

La Unión Europea calcula este indicador siguiendo las siguientes ecuaciones y aproximaciones:

$$CMU = \frac{\text{Uso de Materiales Circulares}}{\text{Uso de Materiales Global}}$$

Uso de Materiales Circulares = Cantidad de residuos reciclados en plantas domésticas + Cantidad de residuos exportados para recuperación en el exterior - Cantidad de residuos importados para recuperación

Uso de Materiales Global = Consumo de Materiales Doméstico + Uso de Materiales Circulares

Un valor más alto de CMU significa que más materiales secundarios (circulares) están sustituyendo materias primas vírgenes, reduciendo así impactos ambientales producidos por la extracción de materiales. Una explicación detallada de la metodología de cálculo del CMU se encuentra descrita en el reporte *Circular material use rate: Calculation method* publicado por Eurostat (European Union, 2018).

2. Indicadores planteados por la Fundación Ellen MacArthur

En su reporte *Delivering the Circular Economy: A toolkit for policymakers* (EMF, 2015b), entrega ciertas directrices al establecer indicadores que midan el nivel de circularidad y que permitan comparar el desempeño de diferentes países. Si bien son claros en establecer que las métricas existentes no cubren completamente todos los aspectos de la economía circular, tales como iniciativas de re-manufactura y reparación, entre otros. Sin embargo, para efectos prácticos esta serie de indicadores pueden ser útiles al momento de establecer una línea base de métricas que den cuenta el estado de la transición de una economía lineal a una economía circular (CTCN, 2018). Los indicadores se agrupan de la siguiente forma:

- **Productividad de recursos:** (PIB/Kg Consumo doméstico de materiales): Este indicador tiene la ventaja de una alta disponibilidad de datos transparentes. Una consideración para tener en cuenta es que el Consumo Doméstico de Materiales (DMC por sus siglas en inglés) en el denominador de influencia en gran medida por la estructura industrial en cada país y no refleja necesariamente costos ambientales.
- **Actividades circulares:** Dentro de este tipo de indicadores sería ideal incluir el nivel de adopción de prácticas de re-manufactura/reparación/compartir activos. Dado que generalmente no se cuenta con esta información, se sugiere utilizar como aproximación tasas de reciclaje y el índice de eco-innovación (European Commission, 2022).
- **Generación de residuos:** En este caso se propone hacer una distinción entre los residuos sólidos municipales y los residuos generados a nivel industrial. Es importante considerar que este tipo de indicadores están influenciados por la estructura industrial del país. Las END estarán en libertad de desarrollar indicadores que permitan comprender la evolución del consumo bajo prácticas sustentables que, a su vez, podrán ser correlacionados con factores económicos, sociales y ambientales relevantes.
- **Energía y emisiones de gases efecto invernadero:** Se ha sugerido considerar el porcentaje de energía renovable contenida dentro de la matriz energética del país, así como las emisiones de GEI, considerando que en muchos casos estos indicadores dependen de la estructura económica del país. Las END estarán en libertad de desarrollar indicadores que puedan correlacionarse con factores económicos, sociales y ambientales relevantes, que clarifiquen los impactos de las políticas y su implementación en el tiempo.

Entre los indicadores que serían importante levantar en el caso de electromovilidad tenemos:

- Cantidades de productos, materiales, energía y agua consumida.
- Emisiones de GEI y carbono negro.
- Tamaño de los impactos asociados a la producción.
- Tamaño y tasa de cambio requerida para la transición hacia la economía circular.
- Parte del ciclo que tiene lugar dentro de las fronteras del país.
- Importancia de los sectores económicos definidos para el país.
- Vinculación con las estrategias nacionales y el potencial para generar un impacto positivo en el país en términos de mitigación de impactos socioambientales, de competitividad y desarrollo.
- Importancia sociocultural.
- Alineación con los **Objetivos de Desarrollo Sustentable**.
- Disponibilidad de **datos**.
- Inversión a la **innovación, emprendimiento y al desarrollo de investigación**.
- **Perspectiva de Género**.
- Impactos negativos y/o externalidades.

3. Indicadores propuestos con información de línea base

Finalmente nos parece pertinente retomar la “**Matriz de indicadores para medir los avances de economía circular en los cuatro países**” del proyecto: Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una Hoja de Ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay, RFP/UNIDO/7000003530, ya que dentro de los indicadores propuestos en esta, se encuentran aquellos relacionados con la actual gestión de materiales y del agua, la incorporación de fuentes renovables de energía a la matriz energética nacional, la huella de carbono generada y la agenda de perspectiva de género, entre otros.

Los cuadros presentan, a manera de ejemplo, algunos de los indicadores contenidos en la matriz mencionada, que podrían utilizarse en trabajos futuros como marco de referencia en la medición del componente electromovilidad del Proyecto “Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes”.

Cuadro 4
Matriz de indicadores propuestos con información de Línea Base

Área	Indicador	Unidades	Fuente (CTCN, 2018)
Materiales	11. Generación de Residuos Sólidos Municipales [RSU]	Kg/día/per cápita	Reporte ODS (Sachs et al., 2019)
	12. Porcentaje de Residuos Orgánicos (alimentos)	Porcentaje	Banco Mundial (World Bank, 2018)
	13. Porcentaje de Reciclaje de RSU	Porcentaje	Banco Mundial
Agua	14. Porcentaje Aguas Residuales antropogénicas tratadas	Porcentaje	Reporte ODS
Energía y cambio climático	15. Porcentaje de Energía renovable en la matriz de generación energética nacional	Porcentaje	Reporte ODS y Banco Mundial (World Bank, 2019a)
	16. Huella de carbono relacionada al consumo energético	tCO _{2e} /per cápita	Reporte ODS
	17. Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático	1	Climate Change Vulnerability Monitor (Usanov, and Gehem, 2012)
Perspectiva de género	18. Porcentaje de puestos directivos ocupados por mujeres en la industria	Porcentaje	Cámaras empresariales (sectores económicos) (World Bank, 2019b)

Fuente: Elaboración propia a partir de CTCN (2018).

Cuadro 5
Indicadores de Transición propuestos para considerar en el desarrollo de una hoja de ruta detallada de economía circular (CTCN, 2018)

Aspecto	Indicador	Unidad	Observaciones (CTCN, 2018)
Materiales	IP1. Porcentaje de uso de materiales circulares (CMU).	Porcentaje	Se propone este indicador, que ya está siendo medido por la Unión Europea, como mecanismo para cuantificar la cantidad de materiales reintroducidos en la economía para evitar la extracción de materias primas vírgenes. En el momento no se cuenta con información detallada de cantidades de materiales reciclados y de importaciones/exportaciones de materiales para recuperarse. Por esta razón, si se considera oportuno el uso de este indicador, los países deberían establecer mecanismos para contar con esta información.
	IP2: Porcentaje de recuperación de materiales técnicos y biológicos.	Porcentaje	En el mediano plazo, es importante distinguir las corrientes de materiales presentes en las economías, así como las alternativas para su recuperación. Se propone inicialmente calcular tasas de reciclaje/recuperación de materiales en específico como empaques, alimentos, y otras corrientes que puedan ser importantes para el país. Además, es importante evaluar alternativas para medir otros ciclos propuestos por la economía circular como el compartimiento de activos, la reparación y remanufactura de bienes, entre otros.
Agua	IP3. Porcentaje de circularidad del agua.	Porcentaje	Este tipo de indicadores está siendo desarrollado a nivel empresarial, buscando establecer la cantidad de agua que efectivamente se reincorpora para reúso industrial y/o residencial (WBCSD, 2021).
Energía y Cambio Climático	IP4. Porcentaje de reutilización de materiales utilizados en la provisión de ER.	Porcentaje	Las tecnologías utilizadas para proveer energía renovable están sujetas al desarrollo de estrategias que permitan cerrar virtuosamente el ciclo de los materiales utilizados en estas. Es importante tener presente que la economía circular tiene un enfoque sistémico y que en el campo de las energías renovables la gestión efectiva de materiales debe estar presente. Como ejemplo de esto, adicionalmente se podría desarrollar un indicador específico que permitiera relacionar las emisiones de GEI durante el ciclo de vida de los materiales con el consumo energético de fuentes renovables utilizadas en su procesamiento y vida útil, el cual podría medirse en tCO ₂ e/kwh.
	IP5. Huella de carbono evitada por iniciativas de economía circular.	tCO ₂ e/ per cápita	Uno de los principales objetivos de la economía circular es la mitigación de externalidades negativas como el cambio climático. Así, se sugiere que se mida la mitigación al cambio climático que tiene lugar gracias a las estrategias, acciones o proyectos piloto circulares implementados en los países. La medición de esta clase de indicadores debe definirse en niveles micro, meso y macro. Partiendo de esta descripción, se podría desarrollar un indicador específico que permita relacionar las emisiones de GEI evitadas por proyectos circulares implementados, lo que arrojaría el impacto en términos de mitigación e inversión, por ejemplo: tCO ₂ e/\$.
Perspectiva de Género	IP6. Porcentaje femenino de titularidad de empresas/cooperativas destinadas a la economía circular.	Porcentaje	La inclusión de mujeres en diferentes niveles de la sociedad es un tema en desarrollo en la agenda regional. Es importante que estos temas sean considerados fundamentales en cualquier estrategia de economía circular planteada a nivel nacional, se sugiere por tanto implementar este tipo de indicadores para evaluar como la inclusión de género está presente en el desarrollo de una economía circular.
	IP7. Empleos creados por empresas dedicadas a prácticas de economía circular.	#, %M-%H	A través del desarrollo de modelos de negocio circulares, se espera impactar positivamente a las sociedades a través de la generación de nuevos empleos de calidad. Por tanto, se propone este tipo de métricas que den cuenta de los avances en términos de generación de empleo por empresas dedicadas a estrategias de circularidad.

Aspecto	Indicador	Unidad	Observaciones (CTCN, 2018)
Condiciones habilitadoras	IP8. Porcentaje de contratación pública y licitaciones para sistemas de economía circular (del total).	Porcentaje	La contratación pública, y otros mecanismos gubernamentales, sin lugar a duda, podrían facilitar la transición hacia una economía circular, por esta razón es importante hacer seguimiento a este tipo de indicadores que además ya están siendo implementados a nivel de Europa. Estos indicadores cuantitativos podrán estar complementados por indicadores cualitativos que describan con precisión el tipo de mecanismos e instrumentos desarrollados como habilitadores de la hoja de ruta en economía circular.
	IP9. Políticas, regulaciones y mecanismos financieros que soporten el Desarrollo de una economía circular en el país.	#	
	IP10. Número de profesionales (H-M) capacitados para actividades relacionadas con la economía circular.	#, %M-%H	El desarrollo exitoso de cualquier estrategia de economía circular requiere profesionales competentes y capacitados en el tema, por tanto, se propone explorar indicadores que muestren como se avanza en la generación de capacidades de los países y en modelos de equidad de género e igualdad social.

Fuente: Elaboración propia a partir de CTCN (2018).

VI. Conclusiones

Para 2050, las ciudades albergarán a dos tercios de la población, consumirán el 75 % de los recursos naturales del mundo y producirán el 50 % de los residuos mundiales. Asociado a esta dinámica, las ciudades son emisoras de aproximadamente el 70% de los GEI y de la generación del 80% de los residuos sólidos (EMF, 2019) que contaminan aire, suelo y cuerpos de agua. En ese contexto, la electromovilidad y la aplicación de la Economía Circular se convierten en una poderosa herramienta para disminuir las emisiones y hacer las ciudades más inclusivas y resilientes.

La región de Latinoamérica genera cerca de 200 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos cada año. De acuerdo con las proyecciones del Foro Económico Mundial y de la Fundación Ellen MacArthur, se estima que, de adoptarse un modelo de economía circular a nivel global, el flujo de materiales evitado en procesos extractivos equivaldría a 1,0 billón de dólares al año (EMF, 2019). La transición hacia modelos circulares y sustentables tiene un potencial de mitigación de al menos 20 millones de toneladas métricas de residuos sólidos urbanos al año, que equivale al 12% de los que genera toda Latinoamérica.

Son las ciudades las que tienen mayor potencial de aprovechamiento respecto a todas las oportunidades que este modelo genera, desde el despliegue de infraestructura, equipamientos y servicios, el transporte, hasta la habilitación de mecanismos de simbiosis industrial que transformen los encadenamientos productivos hacia la sustentabilidad.

En el caso del transporte, en los países estudiados los aportes del sector a la disminución de los Gases de Efecto Invernadero, a la sostenibilidad y a la inclusión son valorados de manera transversal. El desafío está en abordar de manera conjunta las brechas para el avance de la electromovilidad que se concentran en: los costos de adquisición y la falta de financiamiento para que se pueda hacer la renovación, ya que un bus eléctrico puede oscilar entre tres y cuatro veces el valor de un bus diésel; la infraestructura tanto de carga como la matriz energética que acompañe a la demanda de los buses eléctricos; avances regulatorios y técnicos y el manejo de los residuos, que han encontrado una salida de manera incipiente en las leyes de responsabilidad extendida del productor, donde se han incorporado, por ejemplo, baterías, neumáticos y aceites.

En relación a la conversión o retrofit, si bien existe en el transporte privado y en el transporte público, aún está en fase de pruebas en las autopistas urbanas, y los desafíos que se plantean son mayores en términos de residuos como convertidores catalíticos y motores.

Es un camino que requiere de traspaso de buenas prácticas, cooperación sur-sur y estrategias claras para abordar el comercio de partes y piezas de segunda mano y el fomento de plataformas de *matchmaking* que incentiven los mercados y la demanda.

Bibliografía

- ALAMOS (Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible) (2020). *Retrofit LATAM*. Informe realizado por el Comité Técnico Normativo de la Asociación Latinoamericana de Movilidad Sostenible. Recuperado de: <https://portalmovilidad.com/wp-content/uploads/2021/09/Informe-retrofit-ALAMOS.pdf>.
- Brown, T. (2009) *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. Editorial Harper business.
- CAF (2022). *Estudio sobre la electrificación el sistema de colectivos de la capital argentina*. Recuperado de: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2022/03/concluyo-el-estudio-de-prefactibilidad-para-la-electrificacion-del-transporte-publico-de-buenos-aires/>.
- CEPAL, (2021) "Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles", Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/129) 2021. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47369/S2100609_es.pdf?sequence=4.
- Circular D.T.R. y R. N° 9/19. Ministerio de justicia y Derechos Humanos, República Argentina, 19 de Julio de 2019. Recuperado de: <https://panoramaregstral.com.ar/wp-content/uploads/2019/07/Circ.-DTR-9-19.pdf>.
- CTCN (2018) Assessment of the current status of the circular economy for developing a roadmap, UN Climate Technology Centre & Network. RFP/UNIDO/7000003530. Recuperado de: <https://www.ctc-n.org/technical-assistance/projects/assessment-current-status-circular-economy-developing-roadmap>.
- DTP (Directorio de Transporte Público Metropolitano) (2021). *Informe de Gestión 2021*. Santiago, Chile. Recuperado de: https://www.dtpm.cl/descargas/memoria/Informe_Gestion_2021.pdf.
- Durán, J. (2022) Bloque 1: Transición hacia la electromovilidad: Metodologías de análisis de comercio, cadenas de valor y evaluación de impacto. Observatorio América Latina-Asia Pacífico. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=D8_Ymg1Om5k.
- EBP Chile (2018). *Estudio de la electromovilidad en Chile*. Agencia de Sostenibilidad Energética, Informe N. 3. Recuperado de: <https://lyc.agenciase.org/wp-content/uploads/2018/08/Estudio-de-Movilidad-El%C3%A9ctrica-en-Chile.pdf>.
- EMF (Ellen MacArthur Foundation) (2013). *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Cowes, UK. Recuperado de: https://kidv.nl/media/rapportages/towards_a_circular_economy.pdf?1.2.1.
- _____(Ellen MacArthur Foundation) (2015a). *Circularity Indicators - an Approach to Measure Circularity*. Methodology & Project Overview, Cowes, UK. Recuperado de: <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>.
- _____(Ellen MacArthur Foundation) (2015b). *Delivering the circular economy: a toolkit for policymakers*. Ellen MacArthur Foundation Publishing, UK. Recuperado de: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-toolkit-for-policymakers>.

- _____ (Ellen MacArthur Foundation) (2019c). *Completing the picture: How Circular Economy tackles Climate Change*. Ellen MacArthur Foundation Publishing, UK. Recuperado de: <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>.
- Estupiñán N., Scorcia H., Navas C., Zegras C., Rodríguez D., Vergel-Tovar E., Gakenheimer R., Azán Otero S., Vasconcellos E. (2018). *Transporte y desarrollo en América Latina* 1(1). Caracas: CAF. Recuperado de: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1186>.
- European Commission (2022) The Eco-Innovation Scoreboard and the Eco-Innovation Index. Recuperado de: < https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/index_en>.
- European Union (2018) *Circular material use rate: Calculation method, Statistical Office of the European Communities*. Luxembourg. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/9940483/KS-02-19-165-EN-N.pdf/1965d8f5-4532-49f9-98ca-5334b0652820>.
- Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources Conservation & Recycling Journal*, 127, pp 221-232. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835>.
- Lima, J. D., Gómies, M., Ronzheimer, I., & Budnevich, C. (2022). *Webinario: Midiendo la Electromovilidad en el Comercio Internacional: El Caso de los Buses Eléctricos*. División de Comercio Internacional e Integración CEPAL, Naciones Unidas. Recuperado de: https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/taller_medicion_electromovilidad_en_el_comercio_presentacion_introductoria_1.pdf.
- Ley N°20.920. Establece marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje, Diario Oficial de la República de Chile, 01 de junio de 2016. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894&idParte=9705129&idVersion=2016-06-01>.
- Pérez, D., Gutiérrez, M.C. & Mix Vidal, R. (2019). *Electromovilidad, Panorama actual en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Electromovilidad_panorama_actual_en_Am%C3%Agrica_Latina_y_el_Caribe._Versi%C3%B3n_infogr%C3%A1fica_es_es.pdf.
- Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E. and Hanemaaijer, A., 2017. CIRCULAR ECONOMY: MEASURING INNOVATION IN THE PRODUCT CHAIN. Recuperado de: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf>.
- RED (Red Metropolitana de Movilidad) (2020). *Con la incorporación de 115 nuevos buses eléctricos, más de la mitad de la flota del eje alameda cuenta con estándar red*. Recuperado de: <https://www.red.cl/red-comunica/mejoras-del-sistema/con-la-incorporacion-de-115-nuevos-buses-electricos-mas-de-la-mitad-de-la-flota-del-eje-alameda-cuenta-con-estandar-red/>.
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., Lafortune, G., Fuller, G. (2019). *Sustainable Development Report 2019*. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). Recuperado de: https://s3.amazonaws.com/sustainabledevelopment.report/2019/2019_sustainable_development_report.pdf.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., Kendall, A. (2018) A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, pp. 542-559. Recuperado de: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618330221>>.
- Usanov, A. and Gehem, M. (2012) *Innovation in a warming world*. The Hague Centre for Strategic Studies and TNO. Recuperado de: < https://hcss.nl/wp-content/uploads/2014/01/Strategy_Change_Report_Innovation_in_a_warming_world.pdf>.
- Volvo Buses (2022). *How LCA helps to understand the true environmental impact of electric buses*. Mobility Insights by Volvo Buses. Recuperado de: <https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo-buses/markets/master/insights/feb2022-lca/Mobility-Insights%E2%80%93LCA-for-electric-buses1.pdf>.
- World Bank (2018). *What a Waste Global Database*. Recuperado de: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>.
- _____ (2019a). *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*. World Bank Data. Recuperado de: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS>.
- _____ (2019b). *Proportion of seats held by women in national parliaments (%)*. World Bank Data. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SG.GEN.PARL.ZS>.
- World Business Council for Sustainable Development (2021). *Métrica de circularidad del agua: Herramientas de aplicación y guía de orientación*. Recuperado de <https://www.wbcsd.org/content/wbcsd/download/12128/182091/1>.

Anexo

Cuadro A1
Lista de publicaciones en línea para revisión bibliográfica

Título	Descripción/Fuente	País/Región	Enlace
Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles	Regulación	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47369/S2100609_es.pdf?sequence=4
La economía circular como oportunidad para el desarrollo sostenible de las ciudades	Propuesta regulatoria de reconversión de buses diésel a eléctricos: potenciales regionales	CEPAL	https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/5_jose_javier_cepal.pdf
Construir un nuevo futuro: Una recuperación transformadora con igualdad y sostenibilidad	Reactivación	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46225/1/S2000667_es.pdf
La infraestructura de transporte sostenible y su contribución a la igualdad en América Latina y el Caribe	Infraestructura	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35883/1/S2013657_es.pdf
Contribuciones a un gran impulso ambiental para Latam	Movilidad urbana sostenible	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44668/1/S1801160_es.pdf
Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos	CEPAL 2021	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47108/S2100357_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Propuesta de marco regulatorio para acelerar la inversión en electromovilidad mediante la reconversión de vehículos que usan combustibles fósiles	CEPAL 2021	CEPAL	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47369/S2100609_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y
Electromovilidad	Chile	Chile	https://www.electromov.cl/
"Chile vendría a ser en electromovilidad el país más avanzado de Latinoamérica", dice director de Volvo Chile	Forbes, artículo	Chile	https://forbes.cl/sostenibilidad/2022-02-10/volvo-bus-electrico-electromovilidad-chile/
Electromovilidad: uso del litio para baterías de vehículos fue de 142.850 toneladas en 2020	Revista Electricidad	Chile	https://www.revistaei.cl/2021/10/28/electromovilidad-uso-del-litio-para-baterias-de-vehiculos-fue-de-142-850-toneladas-en-2020/
Plataforma de Electromovilidad	Ministerio de Energía, Gobierno de Chile	Chile	https://energia.gob.cl/electromovilidad/
Estrategia Nacional de Electromovilidad	Chile	Chile	https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_electromovilidad-8dic-web.pdf
Switching to an electric mobility system in the city: Shenzhen	Ellen MacArthur Foundation	China	https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/switching-to-an-electric-mobility-system-in-the-city-shenzhen
Effect of electromobility on the power system and the integration of RES	European Commission	EU	https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/metis_s13_final_report_electromobility_201806.pdf
A circular economy for batteries to underpin renewable energy growth	Ellen MacArthur Foundation	Global	https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/a-circular-economy-for-batteries-to-underpin-renewable-energy-growth
Recovery of critical metals from EV batteries via thermal treatment and leaching with sulphuric acid at ambient temperature	Chalmers University of Technology	Global	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21006188?via%3Dihub
Avances en América Latina y el Caribe	Cuarta Edición del Reporte de Movilidad Eléctrica	Latam	https://movelatam.org/4ta-edicion/
Electromovilidad: Panorama actual en América Latina y el Caribe	Inter-American Development Bank	Latam	https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Electromovilidad_panorama_actual_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe._Versi%C3%B3n_infogr%C3%A1fica_es_es.pdf

Título	Descripción/Fuente	País/Región	Enlace
Ranking: Los países con más y menos políticas públicas para electromovilidad en Latinoamérica	Portal Movilidad (Artículo)	Latam	https://portalmovilidad.com/ranking-los-paises-con-mas-y-menos-politicas-publicas-para-electromovilidad-en-latinoamerica/
Experto advierte que Latinoamérica debe evitar guerras de electromovilidad	BN Américas	Latam	https://www.bnamericas.com/es/reportajes/experto-advierte-que-latinoamerica-debe-evitar-guerras-de-electromovilidad
América Latina impulsa la electromovilidad con incentivos fiscales		Latam	https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/07/20/companias/1595267407_279365.html
Move Latam	ONU Medio Ambiente	Latam	https://movelatam.org/
Hacia una electromovilidad pública en México	México	México	https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46060/1/S2000368_es.pdf
Perfecting the EV battery recycling process	Chalmers University	Suecia	https://www.chalmers.se/en/departments/chem/news/Pages/Perfecting-the-EV-battery-recycling-process.aspx
The impact of electromobility on the German electric grid	Artículo McKinsey	Alemania	https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-impact-of-electromobility-on-the-german-electric-grid

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A2
Lista de potenciales entrevistados

Nombre	Organización	País
Tamara Berríos/ Equipo	Country Manager BYD	Chile
José Luis Gómez	CEPAL	Chile
Andrés Rebolledo	Director ENAP, ex Ministro de energía	Chile
Rodrigo Díaz	Secretaría de Movilidad	CDMX
Julio Briones	CEDEUS	Chile
Julio Urzúa	Global Projects Director at International Road Assessment Programme	Brasil
Gloria Moya	CORFO	Chile
Ricardo Repenning	Reborn Electric	Chile
Pilar Henríquez	Consultora Electromovilidad	Chile
José Javier Gómez	Oficial de Asuntos Ambientales de la Unidad de Economía del Cambio Climático. CEPAL	CEPAL
Jone Orbea	Coordinadora de la iniciativa MOVE – Organización de las Naciones Unidas	PNUD
Alberto Escobar Poblete	Gerente de Movilidad y Políticas Públicas, Automóvil Club	Chile
Daniela Soler	Ministerio de Energía	Chile
Camila Gramkow	Oficial de Asuntos Económicos, CEPAL	Brasil
Kevin de Cuba	Director de la Americas Sustainable Development Foundation (ASDF)	Colombia

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A3 Preguntas guía entrevistas

El objetivo de las entrevistas fue recolectar información para identificar los principales desechos en la prestación de servicios de transporte público por buses en las ciudades de Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, São Paulo y Santiago de Chile, y sus distintos niveles de manejo, reusos y reciclaje de materiales. Para cada ciudad fueron consideradas las diversas modalidades de concesión/prestación de servicio por buses (ejemplo: biarticulados en sistema, concesiones por microbús, etc), además de información necesaria para las próximas etapas del programa.

Preguntas guía:

- ¿Cuál es el estado del arte de la electromovilidad y los avances a nivel ciudad, país o dentro de la región ALC?
- ¿Cuál es el potencial de la Economía Circular en esta industria?
- ¿Cuáles son los principales materiales y desechos que genera la prestación de servicios de transporte público?
- ¿Qué tipos de desechos genera la conversión de buses diésel a eléctricos?
- ¿Cuáles son los principales desafíos de la transición del diésel a la electromovilidad en esta ciudad?
- ¿Cuál es el papel del gobierno local y regional?
- ¿Cuál podrá ser el papel y las áreas en las cuales la CEPAL puede aportar y generar valor agregado?
- ¿Qué oportunidades de coaliciones o alianzas estratégicas para la CEPAL?
- ¿Cuál es el potencial de intercambio a nivel global, o sea, con otras regiones en el mundo?
- ¿Cuáles podrán ser proyectos piloto en ALC con mayor potencial?
- ¿Cuáles son los socios / proyectos asociados importantes que habría que considerar desde un principio?
- ¿Conoces otros actores que sea pertinente entrevistar?

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A4 Normas ISO de electromovilidad

N°	Norma Chilena	Norma Base	Título
1	prNCh3775/1	IEC 61851 -1:2017	Sistema de carga conductiva vehículos eléctricos- Parte 1: Requisitos generales
2	prNCh3775/21-2:2022	IEC 61851-21-2:2018	Sistema de carga conductiva vehículos eléctricos - Parte 21-2: Requisitos del vehículo eléctrico para la conexión conductiva a un suministro de CA / CC: requisitos de EMC para sistemas de carga de vehículos eléctricos externos
3	prNCh3775/23	UNE-EN 61851-23:2015 (Incluye AC:2016)	Sistema de carga por conducción de vehículos eléctricos - Parte 23: Estación de carga de vehículos eléctricos de CC
4	prNCh3776/1	IEC 62196-1 2014	Enchufes, conectores de vehículos y entradas de vehículos - Carga conductiva de vehículos eléctricos - Parte 1: Requisitos generales
5	prNCh3776/3	IEC 62196-3	Enchufes, tomas de corriente, conectores de vehículos y entradas de vehículos. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 3: Requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad para c.c. y c.a./d.c. acopladores de vehículo con pasador y tubo de contacto
6	prNCh3777/1:2022	ISO 15118-1:2019	Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red - Parte 1: Información general y definición de casos de uso
7	prNCh3777/3:2022	ISO 15118-3	Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red - Parte 3: Requisitos de la capa de vínculos físicos y de datos
8	prNCh3777/8	ISO 15118-8:2020	Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red - Parte 8: Requisitos de capa física y capa de enlace para la comunicación inalámbrica
9	prNCh3778	FIPS PUB 197:2001	Norma de cifrado avanzado (AES)
10	prNCh3779	SAE J2847-1:2019	Comunicación para la carga inteligente de vehículos eléctricos enchufables con Smart Energy Profile 2.0
11	prNCh3780	FIPS PUB 140-2	Requisitos de seguridad para módulos criptográficos
12	prNCh3781/6-2:2022	IEC 61000-6-2:2016	Compatibilidad electromagnética (CEM) - Parte 6-2: Normas genéricas - Norma de inmunidad para entornos industriales
13	prNCh3782/1 :2022	ISO/IEC 14443-1:2018	Tarjetas y dispositivos de seguridad para identificación personal - Objetos de proximidad sin contacto - Parte 1: Características físicas

N°	Norma Chilena	Norma Base	Título
14	prNCh3782/2:2022	ISO/IEC 14443-2:2020	Tarjetas y dispositivos de seguridad para identificación personal - Objetos de proximidad sin contacto - Parte 2: Energía de radiofrecuencia e interfaz de señal
15	prNCh3782/3 :2022	ISO/IEC 14443-3:2018	Tarjetas y dispositivos de seguridad para identificación personal - Objetos de proximidad sin contacto - Parte 3: Inicialización y anticolidión
16	prNCh3782/4 :2022	ISO/IEC 14443-4:2018	Tarjetas y dispositivos de seguridad para identificación personal - Objetos de proximidad sin contacto - Parte 4: Protocolo de transmisión
17	prNCh3783/1:2022	ISO/IEC 7816-1:2011	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 1: Tarjetas con contactos - Características físicas
18	prNCh3783/2:2022	ISO/IEC 7816-2:2007	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 2: Tarjetas con contactos - Dimensiones y ubicación de los contactos
19	prNCh3783/3	ISO/IEC 7816-3:2006	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 3: Tarjetas con contactos - Interfaces eléctricas y protocolos de transmisión
20	prNCh3783/5:2022	ISO/IEC 7816-5:2004	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 5: Registro de proveedores de aplicaciones
21	prNCh3783/6	ISO/IEC 7816-6:2016	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 6: Elementos de datos interindustriales para el intercambio
22	prNCh3783/7	ISO/IEC 7816-7:1999	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados con contactos - Parte 7: Comandos interindustriales para el lenguaje de consulta de tarjetas estructuradas (SCQL)
23	prNCh3783/8	ISO/IEC 7816-8:2021	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 8: Comandos y mecanismos para operaciones de seguridad
24	prNCh3783/9	ISO/IEC 7816-9:2017	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 9: Comandos para la gestión de tarjetas
25	prNCh3783/10	ISO/IEC 7816-10:1999	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados con contactos - Parte 10: Señales electrónicas y respuesta a reset para tarjetas síncronas
26	prNCh3783/11	ISO/IEC 7816-11:2017	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 11: Verificación personal mediante métodos biométricos
27	prNCh3783/12	ISO/IEC 7816-12:2005	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 12: Tarjetas con contactos - Interfaz eléctrica USB y procedimientos operativos
28	prNCh3783/13	ISO/IEC 7816-13:2007	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 13: Comandos para la gestión de aplicaciones en un entorno de múltiples aplicaciones
29	prNCh3783/15	ISO/IEC 7816-15:2016	Tarjetas de identificación - Tarjetas de circuitos integrados - Parte 15: Aplicación de información criptográfica
30	prNCh3785:2022	ISO/IEC 24778:2008	Tecnología de la información - Técnicas de identificación automática y captura de datos - Especificación de simbología de código de barras Azteca
31	prNCh3786 :2022	ISO/IEC 18092:2013	Tecnología de la información - Telecomunicaciones e intercambio de información entre sistemas - Comunicación de campo cercano - Interfaz y protocolo (NFCIP-1)
32	prNCh3787	IEC 60529	Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP)
33	prNCh3788/1:2022	ISO 24014-1:2021	Transporte público - Sistema interoperable de gestión de tarifas - Parte 1: Arquitectura
34	prNCh3790/21:2022	IEC 62053-21:2020	Equipos de medida de electricidad. Requisitos particulares - Parte 21: Contadores estáticos de energía activa CA (clases 0,5, 1 y 2)
35	prNCh3776/2	IEC 62196-2 2016	Enchufes, conectores de vehículos y entradas de vehículos - Carga conductiva de vehículos eléctricos - Parte 2: Requisitos de compatibilidad dimensional e intercambiabilidad para c.a. accesorios para clavijas y tubos de contacto
36	prNCh3791:2022	SAE J1455:2017	Prácticas ambientales recomendadas para el diseño de equipos electrónicos en aplicaciones de vehículos pesados

Fuente: Elaboración propia.



Para el aprovechamiento de la oportunidad de innovación que supone el despliegue de la movilidad eléctrica, las instituciones públicas y privadas deben forjar un enfoque integrado, con metas conjuntas de largo plazo que consideren el desarrollo tecnológico, las políticas públicas y las condiciones de mercado de América Latina. En el contexto de la transición energética, la economía circular ofrece una oportunidad para desarrollar nuevas actividades económicas y transformar las actividades ya existentes, aumentando su eficiencia material y reduciendo su impacto medioambiental.

En este estudio se analiza el tema de los principales desechos en la prestación de servicios de transporte público por autobús en cinco ciudades de América Latina y los distintos niveles de manejo, reutilización y reciclaje de materiales. Se identifican también los desechos generados por la conversión de autobuses que funcionan con tecnología diésel a tecnología eléctrica. Por último, se presentan las potenciales oportunidades de mejora y desarrollo de políticas, así como medidas de circularidad que podrían ser aplicables a la prestación de servicios de transporte público por autobús en la región.