

IMPULSANDO LA SOSTENIBILIDAD:

LA ECONOMÍA CIRCULAR EN ELECTROMOVILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN LATINO AMÉRICA Y EL CARIBE

Diciembre de 2021



NACIONES UNIDAS

CEPAL

**Jully Andrea Herrera-Jaramillo
Kevin de Cuba
Ruben Contreras-Lisperquer**



El Gran Impulso para la Sostenibilidad

***Potencial de aplicación de la Economía Circular
Sostenible a los sectores de electromovilidad y
energía renovable en América Latina y el Caribe***

23 de diciembre de 2021

Autores:
Jully Andrea Herrera Jaramillo
Kevin de Cuba



Este proyecto fue coordinado por Rubén Contreras Lisperguer, Oficial de Asuntos Económicos de la Unidad de Energía y Agua de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y preparado por Jully Andrea Herrera Jaramillo, Especialista en Economía Circular y Cradle to Cradle, y Kevin de Cuba, Asesor Senior de Políticas de Energía y Economía Circular Sostenible.

El objetivo principal para la elaboración de este informe es colaborar con el trabajo de la Unidad de Agua y Energía en definir qué es economía circular para América Latina y El Caribe en su aplicación al sector de la electromovilidad y las tecnologías renovables, a fin de poder identificar los principales puntos asociados a una gobernanza adecuada a la economía circular en la región.

En este informe se explora el potencial para la aplicación de los principios de la Economía Circular Sostenible (ECS) en la gobernanza del subsector de la electromovilidad en zonas urbanas en ALC sustentado con fuentes de energía renovables para crear las condiciones fundamentales para la transición hacia una economía circular sostenible donde no solamente haya una oferta adecuada de movilidad eléctrica sostenible, sino además la capacidad de circular materiales valiosos utilizados en este sector de la economía y crear impactos socio-ambientales y macro-económicos positivos.

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

Esta publicación debe citarse como: Herrera-Jaramillo, J.A., de Cuba, K.H. y Contreras-Lisperguer, R., “Diagnóstico de la potencial aplicación de la Economía Circular Sostenible al sector de la electromovilidad en zonas urbanas en América Latina y El Caribe”, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 METODOLOGÍA Y ALCANCE.....	16
2 ANTECEDENTES	18
2.1 LA ELECTROMOVILIDAD EN ALC	19
2.2 ENERGÍA RENOVABLE EN ALC.....	21
2.3 IMPACTOS AMBIENTALES DE LA ELECTROMOVILIDAD Y DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE.....	23
2.4 LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LAC	24
3 LA ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ELECTROMOVILIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE.....	28
3.1 LA ECONOMÍA CIRCULAR SOSTENIBLE COMO VISIÓN HOLÍSTICA E INTEGRAL	28
3.1.1 LOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA ECONOMÍA CIRCULAR SOSTENIBLE.....	28
3.2 ¿POR QUÉ LA APLICACIÓN DE LA ECS A LA ELECTROMOVILIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE?	32
3.2.3 MÁS ALLÁ DE LAS EMISIONES DE GEI.....	32
3.2.4 INNOVACIÓN COMO MOTOR HACIA LA ELECTROMOVILIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE SOSTENIBLE	36
4 LA GOBERNANZA HACIA MOVILIDAD ELÉCTRICA SOSTENIBLE.....	43
5 COOPERACIÓN REGIONAL E INTERNACIONAL HACIA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA SOSTENIBLE	50
6 EL ROL DE LA CEPAL EN FACILITAR LA TRANSICIÓN HACIA LA ELECTROMOVILIDAD COMPATIBLE CON UNA ECONOMÍA CIRCULAR SOSTENIBLE EN ALC	53
7 BIBLIOGRAFÍA.....	54

RESUMEN EJECUTIVO

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL) está liderando la implementación del **“Gran Impulso para la Sostenibilidad”** (GIS) con un enfoque particular en facilitar y avanzar la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 en la región de América Latina y Caribe (ALC).

Como parte del Programa de Cooperación multianual CEPAL-BMZ/giz (2022-2024) se acordó en el 2019 llevar a cabo actividades enfocadas en la implementación de la Agenda 2030 en ciudades de la región como parte de un proceso de territorialización y localización, reconociendo que la mayoría de los retos asociados a esto se concentran y multiplican en las zonas urbanas. Este proceso facilitará a CEPAL entender los retos y oportunidades de la aplicación de los ODS a contextos urbanos específicos, y generar conocimiento comparativo dentro de la región y sus ciudades.

Bajo el enfoque temático de **“Ciudades Inteligentes, Inclusivas y Sostenibles”**, surge el nuevo paradigma de la **“Economía Circular Sostenible”** (ECS) que impulsa nuevas formas de diseño, nuevos usos de materiales, una producción innovadora, un consumo sostenible, un nuevo estilo de vida, industrias productivas y limpias, y nuevos trabajos y conjuntos de habilidades alineados con los ODS de la Agenda 2030 con una visión multinivel, holística e integral.

En este informe se explora el **potencial de la aplicación de los principios de la ECS en la gobernanza de los sectores de la electromovilidad y energía renovable** en zonas urbanas de ALC para crear las condiciones fundamentales para la transición hacia una economía circular sostenible donde no solamente haya una oferta adecuada de movilidad eléctrica y tecnologías de energía renovable principalmente energía solar y eólica, pero además la capacidad de circular materiales valiosos utilizados en estos sectores de la economía y crear impactos socio-ambientales y macroeconómicos positivos.

La electromovilidad es relevante dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 12 (Consumo y Producción Responsables), el ODS 13 (Acción Climática), el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y para apoyar la acción en el ámbito del ODS 7 (Energía Asequible y Limpia).

El sector transporte en América Latina y el Caribe se caracteriza por una alta concentración en áreas urbanas, altas tasas de utilización de autobuses per cápita y el uso de camiones para el transporte de carga. Estas condiciones, junto con tener de base una de las matrices eléctricas más limpias del mundo, manifiestan una ventaja única para la transición del sector transporte hacia la electrificación, lo cual es clave para alcanzar los compromisos climáticos nacionales e internacionales de descarbonización. (PNUMA, 2021, pág. 18)

La región cuenta con la mayor producción de cobre, las reservas de litio más grandes del mundo, y otros elementos y minerales clave para la producción de vehículos eléctricos y baterías. Asimismo, tiene una cantidad sustancial de recursos de energía renovable y tiene el potencial de proporcionar 22 veces más las necesidades de electricidad de la economía global. Este potencial

sólo ha comenzado a ser aprovechado. La región podría producir un estimado de más de 78.000 TWh de electricidad a partir de fuentes de energía renovables, excluyendo la energía hidroeléctrica. Esta capacidad, combinada con la energía hidroeléctrica, es suficiente para satisfacer varias veces la necesidad de electricidad futura de la región estimada en 2.500 TWh para el 2030. (BloombergNEF, 2012) Además, en varios países las industrias de ensamblaje y fabricación automotriz tienen potencial para verse beneficiadas por la tendencia a la regionalización económica. (PNUMA, 2021)

Respecto a la mitigación del cambio climático, la movilidad eléctrica puede ser clave para reducir el consumo de combustibles fósiles, siempre que la fuente de generación de electricidad se desplace de esas fuentes, y su transmisión y distribución se descarbonicen y se diseñen con las menores pérdidas posibles.

Considerando el potencial y los objetivos planteados por los países en ALC para incrementar sus capacidades energéticas instaladas de energía renovable y aumentar la cantidad de vehículos eléctricos, es importante tener en cuenta los impactos negativos que pueden generarse de este crecimiento.

La huella ecológica del sector de electromovilidad no se puede medir solamente desde una perspectiva de mitigación al cambio climático a base de su potencial de reducción de GEI, pero debe ser visto desde una perspectiva holística e integral, donde la extracción, uso y disposición de materiales, agua, y otros bienes y recursos además de la energía deben ser incorporados.

Las tecnologías y procesos de manufactura están compuestos de equipos y maquinaria, que después de su uso técnico/funcional se convierten en la mayoría de los casos en residuos peligrosos. Esto también cuenta para los vehículos eléctricos e híbridos y tecnologías complementarias que proveen la electricidad de fuentes renovables como los paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas.

Se debe tener en cuenta que los componentes que hacen parte de estas tecnologías están diseñados bajo enfoques lineales de Cradle-to-Grave (Cuna a la Tumba) donde los materiales siguen flujos lineales y son utilizados en un solo escenario de uso lo que repercute en una alta generación de desechos “electrónicos” de después de su uso. Esto significa también la pérdida de materiales como por ejemplo los recursos abióticos no renovables que integran los paneles fotovoltaicos cristalinos como el acero, el aluminio, el cobre y la plata, al tiempo que se producen emisiones tóxicas y residuos al final del ciclo de vida de un panel que provocan impactos ambientales amplios como eutrofización, agotamiento de minerales, pérdida de biodiversidad y emisiones de CO₂.

Aunque algunas medidas de sostenibilidad invitan a reciclar, no pueden considerarse como soluciones reales sino acciones que retrasan el momento en que los materiales se convierten en basura al sufrir intrínsecamente degradaciones de calidad y utilidad, proceso a su vez conocido como “down-cycling” y enmarcado dentro del concepto de eco-eficiencia.

El término de eco-eficiencia ha sido el centro de la sostenibilidad tradicional, creado a principios de los años setenta como respuesta a la concienciación del daño medioambiental. En los años

noventa se desarrollaron algunos métodos de diseño como el ecodiseño y técnicas de medición como el análisis del ciclo de vida (ACV), con el objetivo de minimizar el daño ambiental causado por la actividad humana (Bor, 2011). El enfoque de ecoeficiencia busca reducir o minimizar el daño, disminuyendo simultáneamente una huella negativa.

La aplicación del concepto de ecoeficiencia en el diseño de estas tecnologías puede proporcionar cierto alivio medioambiental, además de ciertos beneficios económicos. Sin embargo, no aborda la necesidad de un rediseño fundamental de los flujos de materiales y toca de forma inadecuada la toxicidad en los productos actuales. A pesar de la amplia aceptación mundial, la ecoeficiencia no ha reducido la contaminación, ni ha frenado el agotamiento de los recursos no abióticos, ni ha mitigado eficazmente el cambio climático. Además, no hay pruebas claras, ni históricas ni teóricas, de que las mejoras de la eficiencia acaben reduciendo la cantidad de recursos utilizados. Por consiguiente, la ecoeficiencia no es suficiente.

Coincidiendo con Braungart y McDonough, autores del concepto Cradle-to-Cradle (C2C) una de las escuelas de pensamiento de la Economía Circular, el enfoque de la ecoeficiencia sólo retrasa el daño medioambiental sin aportar una solución real. En cambio, el concepto de C2C y el enfoque de Economía Circular Sostenible, pretende pasar de la línea de reducir y minimizar una huella negativa que significa ser "menos malo" a mejorar y maximizar una huella positiva, lo que significa ser "bueno". C2C integra tanto el enfoque de eco-eficiencia como el de eco-eficaz en procesos de diseño de productos coherentes y con impactos positivos (Bolton y MBDC, 2012).

El término de Economía Circular ha evolucionado rápidamente como un instrumento orientador en la toma de decisiones de las empresas para la gestión sustentable de los recursos naturales como eje estratégico de negocio. En general, el concepto busca una alternativa al presente modelo económico lineal de **extraer-fabricar-desechar** el cual extrae recursos de la naturaleza para fabricar productos que finalmente terminan en un relleno sanitario o vertedero. La alternativa busca emular los sistemas y procesos de la naturaleza donde no existe el concepto de basura, sino que por el contrario los residuos generados se convierten en nutrientes para algo más.

Cada año se suman países y empresas a nivel mundial que quieren transformar sus sistemas lineales en sistemas circulares. Es un cambio que implica pasar del modelo lineal un modelo circular que promueva un flujo de materiales continuo y regenerativo para su uso en la manufactura y consumo de productos. El modelo de Economía Circular presenta oportunidades para que los países tengan un crecimiento económico, generen más empleo y contribuyan al desarrollo de la innovación.

Las iniciativas actuales de economía circular de la región se enfocan principalmente en las oportunidades que pueden presentar los procesos de reciclaje y la gestión de los residuos generados en sectores específicos dejando en un segundo nivel los beneficios que pueden traer los enfoques en el diseño y producción de productos y componentes para la circularidad. Ninguna de las iniciativas consultadas se relaciona directamente con las necesidades del sector transporte y en especial con el potencial que podría representar la aplicación de la economía circular sostenible dentro de la movilidad eléctrica.



La economía circular sostenible se trata de intencionalmente crear una nueva configuración de la economía y de la sociedad global (sistema operacional) en la cual circulan bienes, productos y tecnologías compuestos de materiales y sustancias no-tóxicas, intencionalmente diseñados eco-inteligentemente para el desensamblaje costo-efectivo, para satisfacer las necesidades del ser humano sin impactar a su entorno, bienestar y capacidad para prosperar en el planeta tierra.

La economía circular sostenible, ofrece un marco nuevo que impulsa la innovación para hacer de los sectores de la electromovilidad y de la energía renovable más sostenibles. Aplicando los principios de la ECS incentiva a fabricantes de vehículos (convencionales, eléctricos, híbridos, hidrogeno, etc.) y fabricantes de tecnologías de energía renovable principalmente solar y eólica, a seleccionar materia prima adecuada y no tóxica para ser utilizada en los componentes de vehículos y tecnologías que son intencionalmente diseñados para su desensamblaje costo-efectivo después de su ciclo de uso útil.

La economía circular sostenible se basa en los siguientes principios fundamentales (de Cuba & Contreras-Lisperguer, 2021):

- Todos los productos, bienes y materiales deben ser limpios y saludables sin ningún contenido tóxico.
- Tiene que ir mano a mano con un diseño intencionalmente “circular” del producto o componentes (para garantizar las condiciones para el desensamble costo-efectivo y poder recuperar sus componentes o sustancias primarias sin que pierdan su valor económico ni funcional).
- Toda la energía que se utiliza para la extracción y manipulación de recursos y procesos industriales de fabricación, que incluyen su movilización a lo largo de todo su ciclo de vida o uso, debe provenir de energía de fuente renovable (de baja entropía como la energía solar).
- La circularidad tiene que ser lo más localmente posible, reconociendo que la disponibilidad de minerales y materiales (recuperados) depende de varios factores como son *el tiempo o duración y escala o distancia por recorrer*, que puede impedir un flujo continuo de materiales de manera sostenible.
- Se requiere pensar en cada país, región, ciudad, pueblo o territorio como un lugar único e individual con su propio entorno y necesidades locales para su aplicación adecuada.
- Se debe tomar en cuenta la capacidad y la velocidad de los procesos regenerativos de los ecosistemas para garantizar el uso sostenible del agua y los servicios de los ecosistemas (extracción equilibrada de utilidades).
- Se debe distinguir entre actividades y proyectos eco-eficientes de eco-efectivos, donde queda claro que ECS no se trata de reciclaje convencional (“down-cycling”) sino de buscar soluciones eco-efectivas y racionales antes de desarrollar proyectos más eficientes.
- Debe promover la solidaridad internacional, donde se tiene que reconocer que la economía circular contrario a la perspectiva tecnocrática euro-centrista, representa en América Latina y el Caribe una perspectiva antropogénica como uno de los caminos en su lucha contra la pobreza y desigualdad social.
- Debe estimular alejarse de una economía dependiente exclusivamente en la extracción de recursos (“primarización de la economía”) hacia una basada en la creación de mayor

valor agregado (industrias de alta tecnología) y regionalmente integrada en los principios de la EC.

- Debe brindar importancia a la justicia social y ambiental con una perspectiva más centrada en el ser humano.

En términos prácticos, reconociendo que la región de ALC está muy encerrada en la economía lineal global y tiene problemas severos de desigualdad, degradación ambiental (impactos climáticos, pérdida de biodiversidad y acumulación de desperdicio) y una alta necesidad de más pilares económicos de valor agregado para fortalecer la economía, crear empleos dignos y crear prosperidad para todos, nuestra interpretación y aplicación de los principios ya mencionados será llevado a cabo por una estrategia con un enfoque de dos frentes: *Frente con intervenciones eco-efectivas* y *Frente con intervenciones eco-eficientes*.

La vía de intervención principal para lograr aplicar los principios de una economía circular sostenible es trabajar con los diseñadores, proveedores, y fabricantes de bienes (productos, componentes, tecnologías, entre otros) e implementar desde las etapas tempranas del diseño estrategias circulares que identifiquen las necesidades desde el rendimiento o función necesaria requerida y permitan involucrar procesos que generen impactos positivos. Lo anterior acompañado de procesos que incentiven, apoyen y faciliten el desarrollo de nuevos ecosistemas para lanzar modelos de negocios circulares, diseños y actividades productivas eco-efectivos y compatibles con la economía circular sostenible.

Paralelamente, se deben reconocer los esfuerzos de iniciativas que ayudan a introducir a los sectores dentro de la economía circular y por lo tanto compatibles con este enfoque. Dentro de estas iniciativas se podrán categorizar intervenciones relacionadas con la reducción, reutilización, reciclado, y finalmente recuperación energética como intervenciones eco-eficientes. Esto significa fundamentalmente que, aunque no se está intentando cambiar el paradigma de una economía lineal a una circular, se están atendiendo y reconociendo los síntomas del sistema económico, mejorando las condiciones y reduciendo los impactos generados por el sistema mundial actual, que sigue siendo una economía lineal de “**extraer-fabricar-desechar**” mientras se desarrollan los procesos de diseño y componentes eco-eficaces.

A base de esta lógica de enfoque de dos frentes (frente en eco-efectividad y frente en eco-eficiencia) se presenta una serie de estrategias para hacer la transición hacia una economía circular sostenible posible en el contexto de ALC, reinterpretando y optimizando las famosas 3Rs (Circularity Edge, 2021):

Tabla 3. Estrategias de las Rs para una Economía Circular Sostenible

Eco- Efectividad	1. Repensar el modelo económico o empresarial para que sea sostenible desde el inicio;
	2. Reevaluar la necesidad de utilizar productos / materiales o cualquier componente “físico” y optar por medidas de digitalización, virtualización, desmaterialización utilizando tecnologías compatibles con la ECS o des-consumo para satisfacer una necesidad humana;

	3. Rechazar ciertos materiales o componentes (por ejemplo, debido a su contenido tóxico y/o diseño sub-óptimo), ya que representan pasivos y costos en el futuro;
	4. Rediseñar : eliminar la obsolescencia programada intencionalmente como principio de diseño. En su lugar, diseñar productos que se puedan desmontar y reparar de manera costo-efectiva;
Eco- eficiencia	5. Reducir : una vez que se mejora el diseño, fabricar productos de manera más eficiente utilizando menos recursos;
	6. Reutilizar : redistribuir y compartir productos adecuadamente diseñados, por ejemplo, compartiendo mercados que ahora están en auge;
	7. Reparar y remanufacturar productos para extender la vida útil y el uso de los productos y sus componentes;
	8. Recircular : cerrar flujos de materiales vía estrategias de “up-cycling” y el desensamblaje costo-efectivo para la reconcentración de materiales y/o sustancias y reintroducirlos en el sistema productivo como materia prima ayudando a que se necesiten menos recursos materiales nuevos.
	9. Reciclar : reducir la generación de desechos por revalorizar parcialmente materiales y/o sustancias de productos no-intencionalmente diseñado para el desensamblaje convirtiendo les en productos de menor calidad (“down-cycling”).
	10. Recuperar energía- el menos favorable donde el contenido de energía se recupera quemando materiales.

La transición energética mundial hacia las renovables viene acompañada de un aumento de la demanda de producción de minerales en torno al 200-900% del sector eléctrico entre 2015 y 2050 (Watari et al., 2019), lo que pone de manifiesto la importancia y la urgencia de la gestión de los materiales y de avanzar hacia un paradigma circular y de allí mejorar la eficiencia, ya que, de lo contrario, la transición energética puede resultar insostenible.

Para implementar los principios de la ECS, se debe dar prioridad a procesos locales y a materiales seleccionados cuidadosamente durante la fase de diseño teniendo en cuenta su ciclo de vida. Además, todos los materiales tóxicos deben ser sustituidos por alternativas no tóxicas, aunque también podrían encapsularse eficazmente (situación menos ideal), y se debe tener en cuenta que la fase de desmontaje del producto debe ser lo más eficiente y eficaz como sea posible (Contreras-Lisperguer et al., 2017) para facilitar que los componentes puedan continuar con rutas circulares (reuso, reparación, remanufactura, recirculación y/o reciclaje).

Actualmente, el reciclaje tradicional de alta tecnología como son los componentes de vehículos eléctricos y/o híbridos, paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas y tecnologías auxiliares como baterías e inversores, requiere de procesos de alta complejidad o que son inexistentes en

el momento. En los casos que se logre recolectar estas tecnologías después de su uso útil, se requiere por ejemplo de procesos de trituración manual o mecánica acompañados por tratamientos químicos y/o térmicos para poder recuperar parcialmente el contenido en estas tecnologías. Esto implica a su vez un gran desgaste energético superior que en algunos casos puede superar la energía necesaria para la elaboración de los mismos componentes y tecnologías a partir de materiales vírgenes.

Con base a lo anterior, se deben tener en cuenta los límites que presentan estrategias y procesos de reciclaje tradicional para su aplicación a vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovables después de su uso útil y dar prioridad a la elección inteligente de materiales homogéneos y no-tóxicos (puros) en alta tecnología y diseños de componentes que permitan ser desensamblados de una forma costo-efectiva (sin procesos intensivos y complejos procesos químicos y/o térmicos) sustentado con fuentes energéticas renovables con baja entropía (energía solar) como requisitos elementales para poder lograr una transición hacia una economía circular sostenible (Contreras-Lisperguer, 2017).

La razón porque es tan importante incorporar los principios de la ECS en la gobernanza de la electromovilidad es que bien sea que la electrificación del sector de transporte a base de fuentes de energías renovables aporta a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante el ciclo de uso de los vehículos, las tecnologías y medios utilizados para generar la energía renovable y los vehículos en sí, no son diseñados intencionalmente para seguir rutas circulares. Esto quiere decir, que no son diseñados para garantizar las condiciones para la desmantelación o desensamble costo-efectivo y que se pueda así recuperar sus componentes o sustancias primarias sin que pierdan su valor económico ni funcional.

Además, ninguno de los medios de transporte actualmente disponibles en el mercado, como vehículos privados, buses, camiones, metro, tram, tren, motos, bicicletas, patines y otros vehículos livianos, están intencionalmente diseñados para su desensamblaje costo-efectivo, y esto representa un portafolio amplio de materiales que serán descartados como basura.

La nueva tendencia de la compra e importación de vehículos eléctricos a gran escala en la región de ALC genera una preocupación de que en la región no existe la habilidad para desmantelar adecuadamente vehículos eléctricos y/o híbridos que estén entrando el parque vehicular. Anticipando volúmenes grandes de baterías Li-ion y otros componentes de alta tecnología como desperdicio electrónico en los siguientes 5-10 años.

Esto no solamente aplica a los vehículos de transporte, sino también a las tecnologías que tendrán que proveer electricidad a base de fuentes energéticas renovables, donde ninguno está intencionalmente diseñado para su desensamblaje costo-efectivo después de su ciclo de uso útil. La gran mayoría están diseñados para ser más eficientes en convertir el recurso renovable en electricidad, sin pensar en la composición de la tecnología y anticipando que después de su uso útil (15 – 30 años) se convierten en “basura” / “residuos electrónicos” y es veces hasta categorizados como “residuos peligrosos”. Además, las tecnologías de reciclaje/conversión e infraestructura disponible no son aptos para recuperar el valor retenido en estas tecnologías.

Un desafío fundamental es que mientras se instalan cada vez en escalas mayores paneles solares fotovoltaicos y turbinas eólicas por toda la región ALC, inclusive en zonas aisladas y remotas, no existe la capacidad para recuperar los, y ni las plantas para el reciclaje adecuada y efectivo de estos mismos paneles solares y turbinas en la región. Acompañado con falta o brechas significativos de políticas y regulaciones para incentivar el reciclaje y/o reuso de los componentes de estos paneles solares (en general categorizados como “basura electrónica”) mayoría o todos terminan, si acaso logran ser recolectados, en rellenos o ámbitos ecológicos no deseados.

Además de la necesidad de crear la capacidad de recuperar o recolectar tecnologías de alta tecnología después de su ciclo de uso útil (paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, baterías, etc.), esto tiene que ir acompañado con avances tecnológicos que hagan posible el proceso de recuperar, reuso, recirculación y/o reciclar de los componentes de una manera limpia y menos energéticamente intensivo.

Observando tendencias en los sectores de la movilidad y energía, aunque hay muchos avances en la incorporación de materiales reciclados y el uso de biomateriales en componentes de vehículos, lo cual se puede considerar un paso inicial en el proceso de transición hacia un sector compatible con una economía circular sostenible, existe una brecha significativa dentro del sector de fabricación de automóviles y de tecnologías de energía solar y eólica para que sean compatibles con esta nueva configuración restaurativa y de impactos económicos, sociales y ambientales positivos.

Todos estos avances tecnológicos e innovaciones siguen una doctrina de optimizar la conversión de energía eléctrica en propulsión efectiva y eficiente. Aunque en el caso de los vehículos eléctricos solares, hay un enfoque en reducir el uso de materiales y la optimización de componentes y compuestos, no explícitamente están enfocados en garantizar la selección de materiales y sustancias saludables (no-tóxicos) ni incorporan un diseño intencional para el desensamblaje costo-efectivo de estos vehículos después de su uso útil. Entonces, sigue vigente el reto de cómo prevenir que estas nuevas tecnologías no se convierten en basura electrónica, catalogadas en algunos casos como “peligrosas” y que al final del día generen impactos no deseados a largo plazo que elimina las buenas intenciones de por ejemplo reducir las emisiones de GEI.

Para lograr llegar a un sistema de transporte y uso de vehículos eléctricos compatibles con la economía circular sostenible se tendrá que invertir en entender e interpretar correctamente los principios de la economía circular sostenible y aplicarlos en la industria. Esto significa incentivar y trabajar para desarrollar procesos de manufactura de vehículos eléctricos y tecnología de energía renovable en la región, envés de solamente recibir alta tecnología y componentes fabricados en otras regiones/economías ajenas que utilizan en gran parte metales preciosos de ALC y que se convierten, después de su uso, en una acumulación de desperdicio en los países de la región.

Las interdependencias actuales de las economías de ALC respecto a otras economías en el mundo encajadas en un modelo económico lineal global de “extraer-fabricar-desechar” con cadenas de suministros globales, estimulan la continuidad de la extracción de recursos naturales

y agricultura basada en productos básicos con poco valor agregado como pilares económicos principales de los países en ALC.

Existe en el momento una tendencia global de gobiernos comprometiéndose con la agenda global de mitigación del cambio climático con enfoque en la descarbonización de varios sectores económicos, entre ellos el sector de transporte apostándole a una transición hacia la electromovilidad basada en fuentes de energía renovable. Sin embargo, esta misma meta de cambiar de transporte a base de combustibles fósiles a transporte eléctrico subministrados con fuentes de energía renovables representa una demanda enorme a tecnologías que utilizan materiales y minerales preciosos, muchas veces explotados y extraídos bajo condiciones no amigables al medio ambiente o con las personas, que después de su vida útil se convierten en residuos peligrosos.

Por lo tanto, la transición hacia la electromovilidad incentivará la extracción de recursos naturales (en particular en países mineros de la región ALC) siendo esto un resultado contradictorio a la agenda hacia la sostenibilidad 2030. Actualmente existe una percepción de que la agenda de mitigación climática que promueve la electrificación de la movilidad, resolverá todos los retos sociales, económicas y ambientales hacia la sostenibilidad, pero en realidad solo atiende al tema de reducción de GEI, mientras que, si no se gestiona esta transición energética de manera adecuada y responsable, generará muchos otros impactos no deseados para todos los actores involucrados en la cadena de valor.

Entonces, para poder diversificar la economía regional de ALC y generar valor agregado real, se tendrá que invertir en estrategias y actividades que lleven a la región a convertirse en una región económica con la capacidad de fabricar alta tecnología para la electromovilidad basada en los recursos bióticos y abióticos disponibles en ella, explotados de manera limpia y responsable acompañado con un diseño intencionalmente eco-inteligente. De esta forma se podría garantizar la circularidad de materiales, reducir gradualmente la dependencia en materia prima y crear nuevas habilidades y modelos de negocios circulares en la región.

Para sustentar este proceso de cambio, se tendrá que crear una gobernanza adecuada para incentivar y facilitar la innovación circular en los sectores de transporte y energía renovable, con enfoque hacia la transición de una electromovilidad sostenible. Para esto es importante iniciar la formulación de nuevas políticas desde un punto de vista compatible con los principios de la economía circular sostenible. La orientación principal de políticas vigentes en ALC hacia la electromovilidad y energía renovable, están orientadas hacia la reducción de las GEI, particularmente dentro del transporte público masivo, como parte de una agenda de mitigación del cambio climático, sin contemplar la realidad multidimensional e interrelacionada con otros retos sociales, ambientales y económicos.

A falta de una visión holística e integral, los países de la región atienden retos ambientales en “silos” o desde una sola dimensión (por ejemplo: pasar hacia carbono cero o neutralidad) que resulta en no aprovechar los grandes efectos multiplicadores de las soluciones integradas y sostenibles a las necesidades de movilidad.

Entonces, para impulsar y empoderar la innovación circular dentro de la electromovilidad y energía renovable, la región tendrá que introducir nuevas políticas públicas y crear una nueva gobernanza a base de colaboración directa y continua entre actores clave dentro de ecosistemas de innovación compartida y mutuamente beneficios. Aquí se tiene que pensar en alianzas estratégicas triangulares entre el sector público, sector privado y la academia (cooperación de triple hélice) en ciudades y/o regiones con condiciones apropiadas para sostener las soluciones, tecnologías o productos que emergen del proceso de innovación compartida con el fin de crear capital natural y que sean a su vez regenerativos.

De otro lado, teniendo en cuenta las nuevas tendencias entre los fabricantes de vehículos convencionales, eléctricos/híbridos, de hidrógeno y otros, se puede concluir que todos a corto y mediano plazo están integrando cada vez más materiales reciclados y/o biomateriales en sus vehículos. Esto demuestra un enfoque de querer mejorar su desempeño ambiental e imagen empresarial, poder cumplir con programas de certificaciones de calidad, y exigencias de accionistas respecto a políticas ambientales, sociales y de buena gobernanza.

La región ALC, puede aprovechar estas tendencias enfocándose en invertir en crear las capacidades tecnológicas e infraestructura industrial para procesar materiales de base biológica, residuos orgánicos y/o materiales biodegradables en componentes críticos para el sector e industria de fabricación de automóviles. La región de ALC tiene la ventaja de estar ubicada en una región geográfica con alto nivel de biodiversidad y disponibilidad de recursos naturales que pueden servir de materia prima para ser convertidos en componentes y productos de valor agregado para la industria de fabricación de vehículos/automóviles.

Más allá de fabricar componentes de alta calidad y biodegradabilidad para uso en vehículos eléctricos, al mediano y largo plazo la región ALC se puede beneficiar del potencial para crear hubs industriales regionales que puedan ensamblar y/o fabricar vehículos eléctricos pesados y livianos, utilizando la experiencia obtenida de plantas de ensamblaje de vehículos existentes en países como México, Colombia y Brasil. La transición de vehículos convencionales hacia eléctricos puede estar acompañada por empresas existentes y otros innovadores nuevos.

Además de los vehículos y sus componentes, se tendrá que invertir en la infraestructura física, eléctrica, y digital para sostener el uso más racional y eficiente de la electromovilidad en ciudades y zonas urbanas. Esto representa una oportunidad grande para ALC, donde se tendrá que facilitar la integración de vehículos eléctricos a la infraestructura física y digital. Por ejemplo, la optimización de ubicación y uso de puntos de recarga eléctrica, el uso de información (BIG DATA) de patrones de movilidad será cada vez más importante para optimizar tiempo de transporte y prevenir atascos, así como la tecnología de comunicación será cada vez más importante para la creación de redes inteligentes para un mejor flujo vehicular en zonas urbanas.

Esta tendencia obliga a los desarrolladores de políticas públicas relacionados al sector de transporte y la electromovilidad a repensar los procesos y explorar posibles alianzas estratégicas con empresas especializados en IoT o PaaS para entender y combinar las fortalezas en cómo generar Big Data para la optimización de los flujos de tráfico en ciudades del futuro y expandir hacia otros servicios relevantes.

La inversión en el sector de electromovilidad en ALC según los principios de la ECS no solo ofrece oportunidades para crear uno o mas pilares productivos económicos nuevos y de valor agregado que contribuye a reducir las emisiones de GEI y residuos electrónicos, pero también desencadena la innovación tecnológica y actividades productivas para sustentar una electromovilidad sostenible en la región. De esta manera se facilitará la diversificación y transición de una economía regional altamente dependiente de la extracción de recursos naturales (utilizados como “comodines” con bajo valor agregado) y agricultura intensiva, a una economía regional compuesto de hubs regionales centrado en innovación tecnológica y fabricación de tecnologías, componentes y productos de alta calidad y biodegradabilidad que cada vez estarán más en demanda global. Una nueva mirada a las relaciones entre el modelo de economía circular y el sistema de movilidad crea una oportunidad para lograr valor ambiental, social y económico a largo plazo para todos los participantes en el ecosistema de electromovilidad (Motowidlak, 2020).

Es importante resaltar que la implementación de la ECS en los sectores de electromovilidad y energía renovable de la región, debe estar apoyada por fondos, instrumentos y mecanismos financieros e incentivos tributarios que orienten sobre las posibilidades de apalancamiento financiero a empresas existentes o nuevas que puedan contribuir al desarrollo de cadenas de valor circulares. Se debe invitar a las instituciones de los gobiernos locales a apoyar y promover el crecimiento empresarial extraordinario, formular e impulsar las políticas de corto, mediano y largo plazo en ciencia, tecnología e innovación, a través de las cuales los gobiernos asignen recursos económicos para la promoción de inversiones empresariales que apoyen iniciativas de negocio para la investigación, el desarrollo científico, tecnológico, la innovación y que puedan crecer de manera rápida, rentable y sostenida.

Paralelamente a lo anterior, es necesario que los países de la región trabajen en la creación y desarrollo de capacidades empresariales e industriales para que se puedan reconocer y crear oportunidades de rutas circulares para los componentes y materiales de las tecnologías, como son: (i) Mantenimiento y Reparación, (ii) Re-uso o Reutilización, (iii) Renovación (productos y componentes) y (iv) Recirculación. Esto significa que desde los procesos de diseño se deben identificar y tratar los diferentes materiales como nutrientes biológicos o técnicos y garantizar que los componentes sean reincorporados a un ciclo biológico o técnico después de sus ciclos de uso.

Adicionalmente es importante buscar mecanismos de apoyo ya sean de instituciones educativas, centros de investigación, organismos internacionales u otros; para que los países puedan analizar las actividades de los diferentes actores de cadenas de valor de los sectores de electromovilidad, energía renovable y otros para garantizar el cierre de ciclos de materiales, agua y energía o para compartir servicios, infraestructura, logística o conocimiento.

La aplicación de los principios de la ECS a la electromovilidad y energía renovable puede generar preocupación entre los países que actualmente dependen macroeconómicamente de la extracción de metales y minerales para subministrar, a base de las proyecciones, la alta demanda futura para baterías Li-ion y otros componentes para vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovables. Especialmente por la oportunidad económica que representa para países mineros exportadores de metales y minerales en ALC, pero se deben reconocer los impactos



ambientales que genera el sector minero durante la extracción y explotación de estos recursos que contamina los ríos, suelos y cadenas de alimentación de y para las comunidades y ciudadanos de la región.

De otro lado, la continuación de exportar metales y minerales hacia regiones como China para ser convertidos en componentes de vehículos eléctricos o de tecnologías de energía renovable, como baterías Li-ion y paneles fotovoltaicos, para luego ser importados y vendidos a un costo mayor a la región ALC no tiene sentido a nivel macroeconómico. Esto genera una dependencia estructural a una sola economía, que hace que la región de ALC esté siempre sujeta a aspectos geopolíticos y de riesgos de volatilidad de precios. Si bien es cierto que los precios de litio, cobalto, y cobre han multiplicado en los últimos años y esto podría representar un beneficio para la región, se debe tener en cuenta que la mayoría de las empresas mineras alrededor del mundo, inclusive las más grandes en ALC son propiedad de empresas chinas. Por lo tanto, es cuestionable el nivel de retención económica de estas actividades en ALC.

La importación e instalación de más paneles fotovoltaicos y la penetración de más vehículos eléctricos al parque vehicular de la región, no contempla ni anticipa la falta de capacidad actual regional de manejar responsablemente los residuos o de poder revalorizar estos productos y tecnologías después de su ciclo de vida. Por lo tanto, son componentes que se convierten en desperdicio y que se acumulan en la región impactando otros servicios ecosistémicos como acceso a un aire limpio, agua potable, alimentos orgánicos, entre otros, para el bienestar de los ciudadanos de la región.

La mejor apuesta que se puede llevar a cabo en países de la región, es invertir en innovaciones para utilizar los recursos naturales propios de una manera racional y limpia, e incorporar estos materiales en nuevas tecnologías y productos intencionalmente diseñados para ser desensamblado de manera costo-efectivo sin que estos materiales y componentes pierdan su funcionalidad y valor económico.

1 Introducción

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL) está liderando la implementación del **“Gran Impulso para la Sostenibilidad”** (GIS) con un enfoque particular en facilitar y avanzar la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 en la región de América Latina y Caribe (ALC).

Como parte del Programa de Cooperación multianual CEPAL-BMZ/giz (2022-2024) se acordó en el 2019 llevar a cabo actividades enfocadas en la implementación de la Agenda 2030 en ciudades de la región como parte de un proceso de territorialización y localización, reconociendo que la mayoría de los retos asociados a esto se concentran y multiplican en las zonas urbanas. Este proceso facilitará a CEPAL entender los retos y oportunidades de la aplicación de los ODS a contextos urbanos específicos, y generar conocimiento comparativo dentro de la región y sus ciudades.

Bajo el enfoque temático de **“Ciudades Inteligentes, Inclusivas y Sostenibles”**, surge el nuevo paradigma de la **“Economía Circular Sostenible”** (ECS) que impulsa nuevas formas de diseño, nuevos usos de materiales, una producción innovadora, un consumo sostenible, un nuevo estilo de vida, industrias productivas y limpias, y nuevos trabajos y conjuntos de habilidades alineados con los ODS de la Agenda 2030 con una visión multinivel, holística e integral.

En este informe se explora el **potencial de la aplicación de los principios de la ECS en la gobernanza de los sectores de la electromovilidad y energía renovable** en zonas urbanas de ALC para crear las condiciones fundamentales para la transición hacia una economía circular sostenible donde no solamente haya una oferta adecuada de movilidad eléctrica y tecnologías de energía renovable principalmente energía solar y eólica, pero además la capacidad de circular materiales valiosos utilizados en estos sectores de la economía y crear impactos socio-ambientales y macroeconómicos positivos.

La información y el análisis generado contribuye a tomar decisiones sobre la orientación del módulo 2022-24 del Programa de Cooperación CEPAL-BMZ/giz en línea del tema de la Economía Circular Sostenible aplicada a los sectores de electromovilidad y energía renovable y su integración en la gobernanza de ciudades del futuro.

1.1 Metodología y Alcance

Este informe se centra en presentar los resultados de un diagnóstico general de los retos y las oportunidades de la aplicación de los principios de la economía circular sostenible a los sectores de la **electromovilidad y energía renovable** en América Latina y el Caribe. La electromovilidad sustentada con fuentes de energía renovables es un componente fundamental para sostener las actividades productivas y recreativas en las ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles del futuro.

El diagnóstico inicia a partir de una presentación de las metas, estrategias e iniciativas de los países de la región con respecto a los sectores de la electromovilidad y energía renovable, así como los impactos ambientales de estos sectores y los avances en economía circular de los



países en la región. Continúa, con la explicación del concepto de economía circular sostenible y descripción de cómo este nuevo paradigma puede aportar a una nueva gobernanza para eliminar los impactos ambientales del sector de la electromovilidad.

Teniendo en cuenta las oportunidades que ofrece la economía circular y sus áreas de intervención para desarrollar la electromovilidad y energía renovable sostenible se identifican los desafíos y oportunidades existentes para la introducción de nuevas políticas y alianzas público-privadas necesarias y/o adecuadas. Adicionalmente para poder impulsar el proceso de transición hacia la electromovilidad compatible con una economía circular sostenible se explora la disponibilidad de iniciativas, proyectos y financiamiento disponibles con énfasis en electromovilidad y las energías renovables.

Con base a lo anterior se proponen acciones a tener en cuenta dentro de los sectores de la electromovilidad y la energía renovable, identificando requerimientos de capacidades humanas, institucionales y nuevos estándares para implementar la ECS en la región. El informe concluye con recomendaciones en las cuales la CEPAL puede aportar y generar valor agregado los países de la región ALC para la implementación de los principios de la economía circular sostenible.

2 Antecedentes

En la región de América Latina y el Caribe (ALC) la mayoría de las ciudades evolucionaron de forma no planeada u organizada, por lo que actualmente algunas zonas urbanas presentan infraestructura moderna y construcciones según códigos y normas adecuadas, mientras que otras zonas están ubicadas en lugares con altos riesgos de derrumbes, inundaciones, o actividad sísmica que no cuentan con los sistemas de infraestructura adecuados por haber sido apropiadas a través de invasiones.

Aunque este reporte se enfoca en las oportunidades de aplicación de la Economía Circular Sostenible (ECS) en los sectores de electro movilidad y energía renovable, se reconocen otras alternativas de aplicación de la ECS dentro de procesos de planeación urbana que pueden contribuir al desarrollo de ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles de la región.

El principal motivo de movilización para la mayoría de la población dentro de las ciudades y zonas urbanas se relaciona con una ruta diaria de “casa-trabajo-casa” durante las jornadas de mañana y tarde que genera atascos o concentraciones de tráfico, impactando no solamente el bienestar de las personas y el medio ambiente sino también el sistema económico que puede verse afectado por demoras de entrega o no cumplimiento de productos y servicios y en el riesgo de accidentes.

A través de los principios de la ECS se puede llegar a planear y diseñar espacios urbano multiusos e integrados, donde exista un mejor balance y recorridos entre viviendas, tiendas, oficinas, y áreas recreacionales, planteando e incentivando el uso de medios de transporte alternativos sostenibles como caminar, usar bicicletas, patines y/o vehículos eléctricos livianos para distancias de movilidad cortas (radio hasta 5km).

Para zonas e interacciones con un radio mayor se buscaría un uso óptimo de transporte público electrificado y asequible (buses eléctricos o trams de corta distancias y baja velocidad) para ser utilizados por una amplia diversidad de ciudadanos en distancias con radio de 5km hasta 15km. De esta forma se crean zonas de circulación de tráfico vehicular donde el transporte privado es menos atractivo y se incentiva el uso de alternativas de transporte sostenible a través de puntos de parqueo gratis para vehículos eléctricos y ubicados en las periferias de las zonas industriales y de oficinas.

Para medios de transporte de carga y movilización de personas en distancias largas con radios de más de 15km, se debe planificar la infraestructura necesaria para uso de vehículos pesados eléctricos (trenes y/o camiones eléctricos) y el uso de vehículos eléctricos privados entre ciudades.

Reconociendo que en la región han predominado los medios de transporte operados con combustibles fósiles, se presenta a continuación un análisis de las metas y estrategias de los países en relación a la electromovilidad, energía renovable y economía circular.

2.1 La electromovilidad en ALC

El sector de transporte es el tercer sector directamente responsable, después de los sectores de energía e industria, del aumento de las emisiones anuales totales de gases de efecto invernadero con aproximadamente el 23% del total de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía en todo el mundo. El CO₂ sigue siendo el principal gas de efecto invernadero antropógeno y representó en el año 2010 el 76% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de procesos industriales (IPCC, 2014).

Es por esta razón y porque el sector está creciendo más rápidamente que la mayoría de los otros sectores, con un aumento proyectado de sus emisiones de 200% para el año 2050, que el mundo ha puesto su mirada en la aplicación de tecnologías de electromovilidad para descarbonizar especialmente el transporte terrestre.

Actualmente existen a nivel mundial alrededor de 12 millones de vehículos eléctricos de pasajeros de transporte terrestre, más de 1 millón de vehículos eléctricos comerciales, incluidos autobuses, vehículos de reparto y camiones, y más de 260 millones de ciclomotores, scooters, motocicletas y vehículos de tres ruedas eléctricos. (Bloomberg New Energy Finance, 2021)

La electromovilidad es relevante dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 12 (Consumo y Producción Responsables), el ODS 13 (Acción Climática), el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y para apoyar la acción en el ámbito del ODS 7 (Energía Asequible y Limpia). En América Latina y el Caribe hubo una activa adhesión a esta Agenda y sus países re-organizaron sus metas económicas, sociales y ambientales para avanzar hacia el cumplimiento de los ODS, al tiempo que los incorporaron en sus sistemas nacionales de planificación, aunque la mayoría de las metas relacionadas para la se encuentran en retroceso o sujetas a una fuerte intervención en política pública para su cumplimiento. (CEPAL, 2020)

El sector transporte en América Latina y el Caribe se caracteriza por una alta concentración en áreas urbanas, altas tasas de utilización de autobuses per cápita y el uso de camiones para el transporte de carga. Estas condiciones, junto con tener de base una de las matrices eléctricas más limpias del mundo, manifiestan una ventaja única para la transición del sector transporte hacia la electrificación, lo cual es clave para alcanzar los compromisos climáticos nacionales e internacionales de descarbonización. (PNUMA, 2021, pág. 18)

La crisis económica y el confinamiento generado por el COVID 19 a inicios del 2020, instauraron nuevos patrones de comportamiento dentro del transporte en la región. El número de trayectos terrestres disminuyeron considerablemente y creció además una conciencia ambiental ciudadana con respecto a la calidad del aire directamente dependiente de las emisiones generadas por los vehículos operados con combustibles fósiles.

América Latina y el Caribe tiene un gran potencial para aprovechar esta nueva tendencia, tanto desde la perspectiva de la demanda, como desde la oferta de productos y servicios asociados a la movilidad eléctrica. Como lo explica el Programa de las Naciones Unidas para el Medio

Ambiente (PNUMA) en su último reporte sobre movilidad eléctrica, la región cuenta con la mayor producción de cobre, las reservas de litio más grandes del mundo, y otros elementos y minerales clave para la producción de vehículos eléctricos y baterías. Asimismo, tiene una cantidad sustancial de recursos de energía renovable y tiene el potencial de proporcionar 22 veces más las necesidades de electricidad de la economía global. En varios países las industrias de ensamblaje y fabricación automotriz tienen potencial para verse beneficiadas por la tendencia a la regionalización económica. (PNUMA, 2021)

Según el mismo reporte de movilidad eléctrica de PNUMA, citado anteriormente, 27 de los 33 países de la región han priorizado el sector transporte como un elemento central para alcanzar sus metas en reducción de emisiones. A diferencia del año 2019, donde solamente 13 países de la región mencionaron la movilidad eléctrica de manera específica dentro de sus compromisos internacionales.

La **Tabla 1** a continuación presenta los enfoques principales actualizados durante el año 2020 relacionados con movilidad eléctrica de los países de la región ALC.

Tabla 1. Enfoques actualizados (2020) de los países de la región en electromovilidad

País	Enfoque
México	Transporte como eje esencial para la reducción de emisiones contaminantes. Fomento de programas de transporte limpio y desarrollo e implementación de la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica.
Panamá	Agenda de transición energética con la movilidad eléctrica y la evolución del sistema de transporte público. Desarrollo de sistemas de transporte público masivo energéticamente eficiente (2014).
Nicaragua	Lograr hasta un 65% de capacidad instalada de energía renovable en 2030, y estableció como actividad requerida el diseño de una estrategia de electrificación del transporte público en Managua
Cuba	Transporte terrestre menos intenso en carbono” donde se plantea la reducción del 50% de sus emisiones de GEI a través de la introducción de más de 55,000 vehículos eléctricos y la instalación de 25,000 puntos de carga al 2030
República Dominicana	Renovación de 300 autobuses diésel por unidades 100% eléctricas, renovación de taxis y minibuses (conocidos localmente como “conchos”) a unidades eléctricas e híbridas, electrificación de 80 unidades de servicio de transporte escolar, y estructuración del marco habilitante que permita la entrada de 240,000 autos eléctricos e híbridos.
Granada	Transporte terrestre doméstico como una acción prioritaria dentro del sector de la energía para alcanzar la reducción de 40% de emisiones, condicionada al apoyo internacional
Colombia	Transporte como prioridad y compromiso para la creación de un marco habilitante de regulación de las tarifas eléctricas y de especificaciones vehiculares, así como el desarrollo de estrategias de comunicación. Meta de generación de mercado para la introducción de 600,000 vehículos eléctricos con un potencial de reducción de emisiones de 4.04 Mt CO ₂ eq.
Perú	Compromiso incondicional a no superar emisiones por 208.8 Mt CO ₂ eq en 2030 e incluyó el transporte como eje prioritario.
Argentina	Propuesta para el desarrollo de una cadena productiva en torno al hidrógeno como parte de su transición energética hacia el 2030. Promoción de vehículos livianos con tecnologías de bajas emisiones como vehículos híbridos y eléctricos como parte de las líneas prioritarias en materia de transporte.
Chile	Objetivos para alcanzar en 2050 la electrificación del 100% de la flota de taxis y vehículos de transporte urbano, y hasta un 58% de los vehículos privados y comerciales. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020) para uso en camiones mineros, camiones pesados de ruta y buses de larga autonomía. Meta de alcanzar el 71% del transporte de carga basado en hidrógeno para 2050.

Brasil	Meta de reducción de emisiones totales del 43% para 2030, así como el objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono al 2060. Intención de incrementar la capacidad de producción de biocombustibles para el transporte.
--------	--

Fuente: Elaboración propia con información del reporte de Movilidad Eléctrica del PNUMA.

Un aumento de los vehículos eléctricos puede considerarse como una solución parcial al reto del cambio climático y a otros como mala calidad del aire, contaminación acústica y seguridad energética siempre y cuando esté conectada a las energías renovables. La movilidad eléctrica puede ser clave para reducir el consumo de combustibles fósiles, siempre que la fuente de generación de electricidad se desplace de esas fuentes, y su transmisión y distribución se descarbonicen y se diseñen con las menores pérdidas posibles. (Leal Filho et al., 2021)

2.2 Energía renovable en ALC

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, proporcionan un poderoso marco de cooperación internacional para lograr un futuro sostenible para el planeta. Los 17 ODS y sus 169 metas, que constituyen el núcleo de la *Agenda 2030*, definen un camino para acabar con la pobreza extrema, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y proteger el medio ambiente del planeta. La energía sostenible es fundamental para el éxito de la *Agenda 2030*. El objetivo global sobre energía ODS 7 abarca tres metas clave: garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas; y duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2021)

Los países deben acelerar la transición a un sistema energético asequible, fiable y sostenible invirtiendo en recursos energéticos renovables, dando prioridad a las prácticas de alto rendimiento energético y adoptando tecnologías e infraestructuras de energía no contaminante.

Algunos países y regiones como China, Europa y Norteamérica, dominan tanto la fabricación como el uso de estas tecnologías. La madurez comercial y la competitividad económica de cada una de las tecnologías renovables es también desigual, ya que la mayor parte del crecimiento reciente se produce en la energía eólica, solar y de biomasa (IDB, 2014). Muchas de las tecnologías para aprovechar estos recursos están ya ampliamente disponibles en el mercado mundial. Cuando se dan las condiciones de mercado y los marcos políticos adecuados, pueden establecerse nuevas fuentes de energía e industrias en pocos años.

La **energía eólica** es la nueva tecnología renovable más extendida en la actualidad, con nuevas instalaciones de energía eólica que superaron los 90 gigavatios (GW) en el año 2020 y representando un crecimiento del 53% en comparación con 2019, lo que eleva la capacidad total instalada a 743 GW conectados a las redes eléctricas del mundo. (Global Wind Energy Council, 2021)

La **energía solar** ha experimentado avances tecnológicos y reducción de costes más rápidos de todas las tecnologías renovables en uso hoy en día. Aunque el diseño básico de las células fotovoltaicas basadas en semiconductores que dominan el mercado sólo ha cambiado

modestamente desde la década de 1970, los avances acumulativos en la eficiencia de las células y los módulos, así como el aumento y la automatización de la fabricación, han reducido los costes de los módulos (IDB, 2014). Aunque se inventaron en Estados Unidos, los módulos solares se han convertido en un producto global, con una fabricación centrada en China y otros países asiáticos, y la capacidad de enviar módulos prácticamente a cualquier parte del mundo.

América Latina y el Caribe tiene la oferta más amplia y diversa de recursos energéticos renovables que cualquier otra región, pero este potencial sólo ha comenzado a ser aprovechado. La región podría producir un estimado de más de 78.000 TWh de electricidad a partir de fuentes de energía renovables, excluyendo la energía hidroeléctrica. Esta capacidad, combinada con la energía hidroeléctrica, es suficiente para satisfacer varias veces la necesidad de electricidad futura de la región estimada en 2.500 TWh para el 2030. (BloombergNEF, 2012)

De acuerdo a un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo realizado en el 2013 y teniendo en cuenta sus 26 miembros prestatarios en América Latina y el Caribe, Brasil representa el país con la mayor capacidad energética renovable instalada (37%), mientras que México, la Zona Andina¹ representan cada uno una quinta parte, y América Central² y el Caribe³ el 4% y el 3%, respectivamente.

La integración de la energía renovable plantea retos a quienes gestionan los sistemas eléctricos, pero estos retos son generalmente modestos y pueden abordarse gradualmente con el tiempo. La red eléctrica puede manejar niveles bajos de energías renovables (hasta el 15% de la capacidad) sin inversiones adicionales. A medida que aumenta la penetración de las energías renovables, las tecnologías de redes inteligentes, como la respuesta a la demanda, la automatización de la demanda, la infraestructura de medición avanzada y la previsión meteorológica, pueden permitir la integración rentable de las energías renovables. Una vez que la capacidad de las energías renovables alcance niveles elevados (entre el 30 y el 50%, dependiendo de la flexibilidad del sistema eléctrico), las tecnologías de redes inteligentes y otras inversiones serán cruciales para un funcionamiento fiable de la red. (Contreras-Lisperguer et al., 2021)

Ingresar objetivos/estrategias

Como anteriormente mencionado, la penetración de energías renovables en redes existentes puede alcanzar los 15% sin precisar inversiones adicionales. Pero para alcanzar una penetración mayor el foco de intervención ha sido respecto a sistemas de ahorro de energía para compensar la volatilidad o disponibilidad intermitido de recursos energéticos renovables (sol y viento). Estos incluyen baterías, volantes, bombeo-gravitación, almacenamiento de energía térmica fría, e otras tecnologías. Pero para poder lograr una penetración significativa de energías renovables en una red nacional o regional, es crítico desarrollar sistemas de producción de energía de carga base basados en fuentes de energía renovables, dependiendo de condiciones locales estos pueden ser realizados vía tecnologías de biomasa-hacia-energía, energía geotérmica, conversión de energía térmica oceánica y mas reciente la producción y uso de hidrógeno verde. Gracias a la

¹ Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, y Venezuela

² Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, and Panamá)

³ Bahamas, Barbados, República Dominicana, Guyana, Haití, Jamaica, Surinam, y Trinidad y Tobago

disponibilidad de muchos recursos hídrico en la región ALC, la red regional es menos dependiente de fuentes de energía fósil en comparación con otras regiones en el mundo y por ende la electromovilidad en ALC podrá beneficiarse de una red eléctrica con menor emisión de carbono y un costo menor comparado con otras regiones económicas en el mundo. En contraste, en las islas y zonas costeras del Caribe y Centro América, deberán enfocarse en otras fuentes de energía renovables de carga base, como la conversión de biomasa en energía, energía geotérmica, y/o utilizar el gradiente neto de temperatura entre la superficie y las capas profundas del océano.

2.3 Impactos ambientales de la electromovilidad y de las tecnologías de energía renovable

Considerando el potencial y los objetivos planteados por los países en ALC para incrementar sus capacidades energéticas instaladas de energía renovable y aumentar la cantidad de vehículos eléctricos, es importante tener en cuenta los impactos negativos que pueden generarse de este crecimiento. Algunos de los impactos negativos ambientales que se reconocen globalmente causados por las tecnologías de energía eólica y solar se relacionan con poner a las aves en riesgo de chocar con las aspas de las turbinas en el caso de la energía eólica, lo que se minimiza mediante una cuidadosa ubicación y la instalación de dispositivos que advierten a las aves sobre las turbinas. Las grandes instalaciones solares pueden ser peligrosas para algunos animales terrestres, por lo que es necesario realizar evaluaciones de impacto ambiental para determinar las posibles repercusiones de estas tecnologías. En China, por ejemplo, se ha informado de casos en los que los fabricantes de energía solar han vertido sustancias químicas peligrosas en los cursos de agua cercanos, lo que ha provocado la adopción de medidas enérgicas por parte de las autoridades locales. Para evitarlo, las sustancias químicas deben ser contenidas y luego recicladas, destruidas o secuestradas de forma segura.

Además de los impactos mencionados anteriormente, se debe tener en cuenta que los componentes que hacen parte de estas tecnologías están diseñados bajo enfoques lineales de Cradle-to-Grave (Cuna a la Tumba) donde los materiales siguen flujos lineales y son utilizados en un solo escenario de uso lo que repercute en una alta generación de desechos “electrónicos” de después de su uso. Esto significa también la pérdida de materiales como por ejemplo los recursos abióticos no renovables que integran los paneles fotovoltaicos cristalinos como el acero, el aluminio, el cobre y la plata, al tiempo que se producen emisiones tóxicas y residuos al final del ciclo de vida de un panel que provocan impactos ambientales amplios como eutrofización, agotamiento de minerales, pérdida de biodiversidad y emisiones de CO₂ (Contreras Lisperguer et al., 2020). La cantidad de residuos del sector solar se espera que alcance entre 1,7 y 8 Mt en 2030 y entre 60 y 78 Mt en 2050 (IRENA, 2016).

Aunque algunas medidas de sostenibilidad invitan a reciclar, no pueden considerarse como soluciones reales sino acciones que retrasan el momento en que los materiales se convierten en basura al sufrir intrínsecamente degradaciones de calidad y utilidad, proceso a su vez conocido como “down-cycling” y enmarcado dentro del concepto de eco-eficiencia.

El término de eco-eficiencia ha sido el centro de la sostenibilidad tradicional, creado a principios de los años setenta como respuesta a la concienciación del daño medioambiental. En los años

noventa se desarrollaron algunos métodos de diseño como el ecodiseño y técnicas de medición como el análisis del ciclo de vida (ACV), con el objetivo de minimizar el daño ambiental causado por la actividad humana (Bor, 2011). El enfoque de ecoeficiencia busca reducir o minimizar el daño, disminuyendo simultáneamente una huella negativa.

La aplicación del concepto de ecoeficiencia en el diseño de estas tecnologías puede proporcionar cierto alivio medioambiental, además de ciertos beneficios económicos. Sin embargo, no aborda la necesidad de un rediseño fundamental de los flujos de materiales y toca de forma inadecuada la toxicidad en los productos actuales (Braungart et al., 2007). A pesar de la amplia aceptación mundial, la ecoeficiencia no ha reducido la contaminación, ni ha frenado el agotamiento de los recursos no abióticos, ni ha mitigado eficazmente el cambio climático. Además, no hay pruebas claras, ni históricas ni teóricas, de que las mejoras de la eficiencia acaben reduciendo la cantidad de recursos utilizados (Smil, 2008). Por consiguiente, la ecoeficiencia no es suficiente.

Coincidiendo con Braungart y McDonough, autores del concepto Cradle-to-Cradle (C2C) una de las escuelas de pensamiento de la Economía Circular, el enfoque de la ecoeficiencia sólo retrasa el daño medioambiental sin aportar una solución real. En cambio, el concepto de C2C y el enfoque de Economía Circular, pretende pasar de la línea de reducir y minimizar una huella negativa que significa ser "menos malo" a mejorar y maximizar una huella positiva, lo que significa ser "bueno". C2C integra tanto el enfoque de eco-eficiencia como el de eco-eficaz en procesos de diseño de productos coherentes y con impactos positivos (Bolton y MBDC, 2012).

2.4 La Economía Circular en LAC

El término de Economía Circular ha evolucionado rápidamente como un instrumento orientador en la toma de decisiones de las empresas para la gestión sustentable de los recursos naturales como eje estratégico de negocio. En general, el concepto busca una alternativa al presente modelo económico lineal de **extraer-fabricar-desechar** el cual extrae recursos de la naturaleza para fabricar productos que finalmente terminan en un relleno sanitario o vertedero. La alternativa busca emular los sistemas y procesos de la naturaleza donde no existe el concepto de basura, sino que por el contrario los residuos generados se convierten en nutrientes para algo más.

Cada año se suman países y empresas a nivel mundial que quieren transformar sus sistemas lineales en sistemas circulares. Es un cambio que implica pasar del modelo lineal un modelo circular que promueva un flujo de materiales continuo y regenerativo para su uso en la manufactura y consumo de productos. El modelo de Economía Circular presenta oportunidades para que los países tengan un crecimiento económico, generen más empleo y contribuyan al desarrollo de la innovación.

Según el Foro Mundial de Economía Circular del 2019 un cambio hacia una Economía Circular puede generar una ganancia para el 2030 de hasta 4,5 trillones de dólares si las empresas se enfocan en construir cadenas de producción circulares que incrementen las actividades de reciclado, re-uso y re-manufactura (WEF, 2019, párr. 11). De esta manera el valor de los materiales se maximiza cuando los productos alcancen el final de su uso, generando ahorros en materiales y evitando toneladas de residuos a nivel mundial. Para lograr esto es necesario reducir la cantidad de residuos generados porque actualmente solo el 9% de los materiales han sido

recirculados a nivel global y eso quiere decir que el 91% de los recursos están siendo desperdiciados, con el impacto que eso supone para la economía, la sociedad y el medio ambiente (WBCSD, 2019).

El primer país en adoptar una Ley de Economía Circular fue Japón en el año 2000 a través de la ley de promoción de la utilización efectiva de los recursos. Por su parte, China enfatiza en una estrategia de parques eco-industriales, en la minería urbana y el procesamiento de residuos domésticos en hornos cementeros con su ley de 2009 de promoción de la Economía Circular. En 2005, Corea estableció un plan maestro de 15 años para desarrollar una red de colaboración de simbiosis industrial para transformar miles de complejos industriales tradicionales en parques eco-industriales. Escocia adoptó en el 2010 un plan de cero desperdicios, y Holanda expidió una estrategia de Economía Circular con metas a 2050 a partir de un documento elaborado conjuntamente entre el Ministerio de Infraestructura y Ambiente y el Ministerio de Asuntos Económicos. Los primeros pasos hacia la Economía Circular en Canadá iniciaron en 1990 con la ley de responsabilidad extendida del productor. Luego, dos décadas más tarde, el estado de Ontario adoptó una estrategia de cero residuos (ENEC, 2019, pág. 14).

La Comunidad Europea viene trabajando conjuntamente en temas de Economía Circular desde el año 2015 a través de su *Estrategia de Transformación hacia una Economía Circular* y recientemente con la adopción de un nuevo *Plan de Acción de Economía Circular*, en marzo del 2020, en el cual anuncian iniciativas a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos, apuntando por ejemplo a su diseño, promoviendo procesos de Economía Circular, fomentando el consumo sostenible y buscando garantizar que los recursos utilizados se mantengan en la economía de la Unión Europea durante el mayor tiempo posible. (Comisión Europea, 2020, párr.1)

Dentro de la región de ALC, se cuenta con más de 80 iniciativas públicas catalogadas bajo el concepto de economía circular, destacándose los siguientes países de la región con estrategias, acuerdos u hojas de rutas nacionales:

Tabla 2. Iniciativas de economía circular de Colombia, Chile, Costa Rica, Ecuador, México y Perú

PAÍS	INICIATIVA
COLOMBIA	Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC)
CHILE	Hoja de Ruta Nacional de Economía Circular para un Chile sin basura 2020-2040
COSTA RICA	Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030
ECUADOR	Libro blanco de Economía Circular
MÉXICO	Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico
PERÚ	Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria

Fuente: Elaboración propia

La Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) de Colombia enfatiza seis líneas de acción representadas en seis ciclos de materiales: (i) Flujo de materiales industriales y productos de consumo masivo⁴, (ii) Flujo de materiales de envases y empaques, (iii) Flujos de biomasa, (iv) Fuentes y flujo de energía, (v) Flujos del agua y (vi) Flujo de materiales de construcción.

La Hoja de Ruta Nacional de Economía Circular para un Chile sin basura 2020-2040, establece un conjunto de siete metas de largo plazo al 2040 con metas intermedias al año 2030 relacionadas con *Generación de empleos verdes*, *Disminución de residuos sólidos por habitante*, *Disminución de residuos por PIB*, *Aumento en productividad material*, *Aumento tasa general de reciclaje*, *Aumento tasa de reciclaje de residuos sólidos municipales*, y *Recuperación de sitios afectados por la disposición ilegal*. Para lograr las metas la hoja de ruta propone una serie de 28 iniciativas, cada una de las cuales contiene distintas acciones. Estas se agrupan en torno a cuatro grandes ejes de acción: innovación circular, cultura circular, regulación circular y territorios circulares. (Ministerio del Medio Ambiente, 2021)

Costa Rica reconoce en su Estrategia Nacional de Bioeconomía, a la **bioeconomía** como una forma de economía circular, que busca el aprovechamiento de los recursos biológicos de la forma más productiva y eficiente, por medio del desarrollo de actividades económicas amigables con el ambiente e incluyentes y, a partir de ello, la creación de un bienestar social significativo. Resaltan a la bioeconomía como un enfoque que promueve el uso integral de la biomasa, incluyendo la biomasa residual, en los sectores agropecuario, pesca y acuicultura, forestal y agroindustrial, buscando eliminar la generación de desechos al ambiente. Además, buscan una **bioeconomía circular** que contribuya a reducir la huella de carbono fósil de la producción y a generar nuevos nichos de mercado para consumidores preocupados por minimizar su impacto en el ambiente (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones, 2020).

El libro blanco de economía circular de Ecuador se construye dentro del marco del *Pacto Nacional por la Economía Circular* impulsado por la Vicepresidencia de la República en agosto del 2019, el cual nació como un acuerdo para la transformación del modelo de desarrollo económico lineal del país hacia un modelo circular. El Pacto definió nueve ejes de acción para impulsar la Economía Circular en el país, los cuales son: (i) aprovechamiento e industrialización de residuos; (ii) ecodiseño; (iii) vinculación con la academia; (iv) producción limpia; (v) infraestructura sostenible y resiliente; (vi) educación; (vii) negocios sustentables; (viii) sustitución progresiva de plásticos de un solo uso; y (ix) generación de indicadores. El libro blanco expone los principales fundamentos de la economía circular, aterrizados en la realidad nacional de Ecuador, y las agendas que el país se ha comprometido a cumplir enfocado en el desarrollo sostenible. Este libro fue concebido a base de cuatro ejes: (i) Mecanismos de Políticas y Financiamiento; (ii) Producción Sostenible; (iii) Consumo Responsable y, (iv) Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS). (MPCEIP & GIZ 2021).

México presenta en su acuerdo nacional para la nueva economía del plástico, una visión de economía circular para el plástico, donde éste nunca se convierte en residuo, para lo cual buscan una solución a la causa raíz de la contaminación por residuos plásticos, ofreciendo profundos beneficios económicos, ambientales y sociales. Este acuerdo o pacto agrupa a un conjunto de

⁴Esto incluye materiales provenientes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y de los residuos peligrosos (RESPEL), acero y materiales provenientes de residuos especiales de llantas.



actores voluntarios de la cadena de valor de los plásticos, considerando aquellos que realizan funciones productivas distintas y relacionadas. Uno de los compromisos asumidos por los firmantes es realizar análisis y evaluaciones (por ejemplo: Análisis de Ciclo de Vida, eco-diseño, normas técnicas de reciclaje, entre otras opciones) para identificar acciones que permitan gradualmente eliminar de sus procesos productivos envases y empaques plásticos innecesarios o problemáticos para el 2030. (Senado de la República, 2019).

La Hoja de Ruta hacia una Economía Circular en el Sector Industria de Perú, propone seis enfoques que son: (i) Producción industrial sostenible, (ii) Consumo sostenible, (iii) Gestión de residuos sólidos, (iv) Mercado de Materias Primas Secundarias, (v) Medidas Sectoriales, y (vi) Innovación y Financiamiento. A través de estos enfoques, buscan brindar las condiciones para que las empresas migren progresivamente al modelo circular que optimiza recursos y procesos. Adicional a las iniciativas locales que puedan encontrarse en la región, los ministros de Medio Ambiente de ALC lanzaron en febrero del 2021 la **Coalición de Economía Circular**, una iniciativa regional para impulsar la transición hacia un sistema económico sostenible como parte de la recuperación pos-COVID-19 liderada por Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Perú. La iniciativa cuenta con ocho socios estratégicos permanentes: el Centro y Red de Tecnología del Clima (CTCN), la Fundación Ellen MacArthur, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Fundación Konrad Adenauer (KAS), la Plataforma para Acelerar la Economía Circular (PACE), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Foro Económico Mundial (WEF) y el PNUMA. Dentro de sus grupos temáticos se encuentran: Plásticos, Electrónicos, Alimentos y Agricultura, Ciudades y Construcción, Simbiosis Industrial y Turismo. (Coalición de Economía Circular, 2021)

Las iniciativas de economía circular de la región, se enfocan principalmente en las oportunidades que pueden presentar los procesos de reciclaje y la gestión de los residuos generados en sectores específicos dejando en un segundo nivel los beneficios que pueden traer los enfoques en el diseño y producción de productos y componentes para la circularidad. Ninguna de las iniciativas consultadas se relaciona directamente con las necesidades del sector transporte y en especial con el potencial que podría representar la aplicación de la economía circular sostenible dentro de la movilidad eléctrica.

3 La economía circular aplicada a la electromovilidad y energía renovable

Atendiendo esta brecha identificado en este informe, de la falta de foco en ALC de atender las necesidades del sector transporte desde una perspectiva de la economía circular sostenible, y en especial el potencial que podría representar su aplicación dentro de la movilidad eléctrica, se enfoca en explicar de qué se trata la economía circular sostenible y como este nuevo paradigma puede aportar a una nueva gobernanza para eliminar los impactos ambientales del sector de la electromovilidad.

3.1 La economía circular sostenible como visión holística e integral

La Economía Circular Sostenible surge como nuevo paradigma, como alternativa a los enfoques lineales o de “cradle-to-grave”, que impulsa nuevas formas de diseño, nuevos usos de materiales, producción innovadora, consumo sostenible, nuevo estilo de vida, industrias productivas y limpias, y nuevos trabajos y conjuntos de habilidades alineados con y facilitando la implementación efectiva de los ODS de la Agenda 2030.

3.1.1 Los principios fundamentales de la Economía Circular Sostenible

Contrario a la percepción generada por varias publicaciones recientes sobre la economía circular en la región de América Latina y el Caribe, la economía circular sostenible no es una nueva etiqueta para la gestión de desperdicio, tampoco es producción más limpia, o simplemente una versión optimizada de actividades de reciclaje.

La economía circular sostenible se trata de intencionalmente crear una nueva configuración de la economía y de la sociedad global (sistema operacional) en la cual circulan bienes, productos y tecnologías compuestos de materiales y sustancias no-tóxicas, intencionalmente diseñados eco-inteligentemente para el desensamblaje costo-efectivo, para satisfacer las necesidades del ser humano sin impactar a su entorno, bienestar y capacidad para prosperar en el planeta tierra.

La economía circular sostenible se basa en los siguientes principios fundamentales (de Cuba & Contreras-Lisperguer, 2021):

- Todos los productos, bienes y materiales deben ser limpios y saludables sin ningún contenido tóxico.
- Tiene que ir mano a mano con un diseño intencionalmente “circular” del producto o componentes (para garantizar las condiciones para el desensamble costo-efectivo y poder recuperar sus componentes o sustancias primarias sin que pierdan su valor económico ni funcional).
- Toda la energía que se utiliza para la extracción y manipulación de recursos y procesos industriales de fabricación, que incluyen su movilización a lo largo de todo su ciclo de vida o uso, debe provenir de energía de fuente renovable (de baja entropía como la energía solar).

- La circularidad tiene que ser lo más localmente posible, reconociendo que la disponibilidad de minerales y materiales (recuperados) depende de varios factores como son *el tiempo o duración y escala o distancia por recorrer*, que puede impedir un flujo continuo de materiales de manera sostenible.
- Se requiere pensar en cada país, región, ciudad, pueblo o territorio como un lugar único e individual con su propio entorno y necesidades locales para su aplicación adecuada. [29](#)
- Se debe tomar en cuenta la capacidad y la velocidad de los procesos regenerativos de los ecosistemas para garantizar el uso sostenible del agua y los servicios de los ecosistemas (extracción equilibrada de utilidades).
- Se debe distinguir entre actividades y proyectos eco-eficientes de eco-efectivos, donde queda claro que ECS no se trata de reciclaje convencional (“down-cycling”) sino de buscar soluciones eco-efectivas y racionales antes de desarrollar proyectos más eficientes.
- Debe promover la solidaridad internacional, donde se tiene que reconocer que la economía circular contrario a la perspectiva tecnocrática euro-centrista, representa en América Latina y el Caribe una perspectiva antropogénica como uno de los caminos en su lucha contra la pobreza y desigualdad social.
- Debe estimular alejarse de una economía dependiente exclusivamente en la extracción de recursos (“primarización de la economía”) hacia una basada en la creación de mayor valor agregado (industrias de alta tecnología) y regionalmente integrada en los principios de la EC.
- Debe brindar importancia a la justicia social y ambiental con una perspectiva más centrada en el ser humano.

Estos principios facilitan la toma de decisión y establecen los requerimientos para una gobernanza necesaria para lograr desarrollar la movilidad eléctrica sostenible en ALC.

3.1.2 Aplicación de los principios de la ECS en el contexto de América Latina y Caribe

En términos prácticos, reconociendo que la región de ALC está muy encerrada en la economía lineal global y tiene problemas severos de desigualdad, degradación ambiental (impactos climáticos, pérdida de biodiversidad y acumulación de desperdicio) y una alta necesidad de más pilares económicos de valor agregado para fortalecer la economía, crear empleos dignos y crear prosperidad para todos, nuestra interpretación y aplicación de los principios ya mencionados será llevado a cabo por una estrategia con un enfoque de dos frentes: *Frente con intervenciones eco-efectivas y Frente con intervenciones eco-eficientes*.

La vía de intervención principal para lograr aplicar los principios de una economía circular sostenible, es trabajar con los diseñadores, proveedores, y fabricantes de bienes (productos, componentes, tecnologías, entre otros) e implementar desde las etapas tempranas del diseño estrategias circulares que identifiquen las necesidades desde el rendimiento o función necesaria requerida y permitan involucrar procesos que generen impactos positivos. Lo anterior acompañado de procesos que incentiven, apoyen y faciliten el desarrollo de nuevos ecosistemas para lanzar modelos de negocios circulares, diseños y actividades productivas eco-efectivos y compatibles con la economía circular sostenible.

Paralelamente, se deben reconocer los esfuerzos de iniciativas que ayudan a introducir a los sectores dentro de la economía circular y por lo tanto compatibles con este enfoque. Dentro de estas iniciativas se podrán categorizar intervenciones relacionadas con la reducción, reutilización, reciclado, y finalmente recuperación energética como intervenciones eco-eficientes. Esto significa fundamentalmente que, aunque no se está intentando cambiar el paradigma de una economía lineal a una circular, se están atendiendo y reconociendo los síntomas del sistema económico, mejorando las condiciones y reduciendo los impactos generados por el sistema mundial actual, que sigue siendo una economía lineal de “**extraer-fabricar-desechar**” mientras se desarrollan los procesos de diseño y componentes eco-eficaces.

A base de esta lógica de enfoque de dos frentes (frente en eco-efectividad y frente en eco-eficiencia) se presenta una serie de estrategias para hacer la transición hacia una economía circular sostenible posible en el contexto de ALC, reinterpretando y optimizando las famosas 3Rs (Circularity Edge, 2021):

Tabla 3. Estrategias de las Rs para una Economía Circular Sostenible

Eco- Efectividad	11. Repensar el modelo económico o empresarial para que sea sostenible desde el inicio;
	12. Reevaluar la necesidad de utilizar productos / materiales o cualquier componente “físico” y optar por medidas de digitalización, virtualización, desmaterialización utilizando tecnologías compatibles con la ECS o des-consumo para satisfacer una necesidad humana;
	13. Rechazar ciertos materiales o componentes (por ejemplo, debido a su contenido tóxico y/o diseño sub-óptimo), ya que representan pasivos y costos en el futuro;
	14. Rediseñar : eliminar la obsolescencia programada intencionalmente como principio de diseño. En su lugar, diseñar productos que se puedan desmontar y reparar de manera costo-efectiva;
Eco- eficiencia	15. Reducir : una vez que se mejora el diseño, fabricar productos de manera más eficiente utilizando menos recursos;
	16. Reutilizar : redistribuir y compartir productos adecuadamente diseñados, por ejemplo, compartiendo mercados que ahora están en auge;
	17. Reparar y remanufacturar productos para extender la vida útil y el uso de los productos y sus componentes;
	18. Recircular : cerrar flujos de materiales vía estrategias de “up-cycling” y el desensamblaje costo-efectivo para la reconcentración de materiales y/o sustancias y reintroducirlos en el sistema productivo como materia prima ayudando a que se necesiten menos recursos materiales nuevos.

	Reciclar: reducir la generación de desechos por revalorizar parcialmente materiales y/o sustancias de productos no-intencionalmente diseñado para el desensamblaje convirtiendo les en productos de menor calidad (“down-cycling”).
	Recuperar energía- el menos favorable donde el contenido de energía se recupera quemando materiales.

Fuente: Circularity Edge, 2021

Se tiene que tomar en cuenta que estas estrategias se deben aplicar en los procesos de diseño y fabricación de las tecnologías, es decir al nivel de empresas y fabricantes de componentes y cadenas de valor de productos, y no incorporan aún todas las dimensiones necesarias para lograr realizar un cambio sistémico para la reconfiguración de la economía global.

3.1.3 Los límites termodinámicos detrás del “reciclaje”

La gran demanda de materiales necesarios para la fabricación de tecnologías de energías renovables ya se ve comprometida por los altos índices de producción de paneles fotovoltaicos y otras tecnologías de energías renovables, lo que limita la posibilidad de alcanzar el sistema de energía limpia ambicionado para 2050 (Moreau et al., 2019). La transición energética mundial hacia las renovables viene acompañada de un aumento de la demanda de producción de minerales en torno al 200-900% del sector eléctrico entre 2015 y 2050 (Watari et al., 2019), lo que pone de manifiesto la importancia y la urgencia de la gestión de los materiales y de avanzar hacia un paradigma circular y de allí mejorar la eficiencia, ya que, de lo contrario, la transición energética puede resultar insostenible.

Existen ciertos límites termodinámicos tras la economía circular cuando sea interpretado como “reciclaje”, puntualmente relacionados con el tiempo de vida útil de los componentes y los recorridos según su ciclo de vida. Para implementar los principios de la ECS, se debe dar prioridad a procesos locales y a materiales seleccionados cuidadosamente durante la fase de diseño teniendo en cuenta su ciclo de vida. Además, todos los materiales tóxicos deben ser sustituidos por alternativas no tóxicas, aunque también podrían encapsularse eficazmente (situación menos ideal), y se debe tener en cuenta que la fase de desmontaje del producto debe ser lo más eficiente y eficaz como sea posible (Contreras-Lisperguer et al., 2017) para facilitar que los componentes puedan continuar con rutas circulares (reuso, reparación, remanufactura, recirculación y/o reciclaje).

El reciclaje tradicional de alta tecnología como son los componentes de vehículos eléctricos y/o híbridos, paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas y tecnologías auxiliares como baterías e inversores, requiere de procesos de alta complejidad o que son inexistentes en el momento. En los casos que se logre recolectar estas tecnologías después de su uso útil, se requiere por ejemplo de procesos de trituración manual o mecánica acompañados por tratamientos químicos y/o térmicos para poder recuperar parcialmente el contenido en estas tecnologías. Esto implica a su vez un gran desgaste energético superior que en algunos casos puede superar la energía necesaria para la elaboración de los mismos componentes y tecnologías a partir de materiales vírgenes.

Con base a lo anterior, se deben tener en cuenta los límites que presentan estrategias y procesos de reciclaje tradicional para su aplicación a vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovables después de su uso útil y dar prioridad a la elección inteligente de materiales homogéneos y no-tóxicos (puros) en alta tecnología y diseños de componentes que permitan ser desensamblados de una forma costo-efectiva (sin procesos intensivos y complejos procesos químicos y/o térmicos) sustentado con fuentes energéticas renovables con baja entropía (energía solar) como requisitos elementales para poder lograr una transición hacia un economía circular sostenible (Contreras-Lisperguer, 2017).

3.2 ¿Por qué la aplicación de la ECS a la electromovilidad y energía renovable?

3.2.3 Más allá de las emisiones de GEI

La razón porque es tan importante incorporar los principios de la ECS en la gobernanza de la electromovilidad es que bien sea que la electrificación del sector de transporte a base de fuentes de energías renovables aporta a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante el ciclo de uso de los vehículos, las tecnologías y medios utilizados para generar la energía renovable y los vehículos en sí, no son diseñados intencionalmente para seguir rutas circulares. Esto quiere decir, que no son diseñados para garantizar las condiciones para la desmantelación o desensamble costo-efectivo y que se pueda así recuperar sus componentes o sustancias primarias sin que pierdan su valor económico ni funcional.

Lastimosamente las tecnologías y procesos de manufactura están compuestos de equipos y maquinaria, que después de su uso técnico/funcional se convierten en la mayoría de los casos en residuos peligrosos. Esto también cuenta para los vehículos eléctricos e híbridos y tecnologías complementarias que proveen la electricidad de fuentes renovables como los paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas. Al nivel global un “típico” panel solar fotovoltaico cristalino a base de silicón agota los recursos abióticos no renovables, como el acero, el aluminio, el cobre y la plata, al tiempo que produce contaminación química tóxica y desechos sustanciales al final del ciclo de uso operativo de un panel. Se espera que la cantidad de residuos del sector de la energía solar fotovoltaica alcance entre 1.7 y 8.0 Mt en 2030 y entre 60 y 78 Mt en 2050 (IRENA, 2016).

La huella ecológica del sector de electromovilidad no se puede medir solamente desde una perspectiva de mitigación al cambio climático a base de su potencial de reducción de GEI, pero debe ser visto desde una perspectiva holística e integral, donde la extracción, uso y disposición de materiales, agua, y otros bienes y recursos además de la energía deben ser incorporados.

Desperdicio que proviene de Medios de Transporte (incl. Vehículos Eléctricos)

Ninguno de los medios de transporte actualmente disponibles en el mercado, como vehículos privados, buses, camiones, metro, tram, tren, motos, bicicletas, patines y otros vehículos livianos, están intencionalmente diseñados para su desensamblaje costo-efectivo, y esto representa un portafolio amplio de materiales que serán descartados como basura.

A base de un estudio realizado en el año 2018 para el Centro Nacional de Salvamento de Vehículos de la empresa multinacional Suramericana (SURA) en Colombia, se concluyó que en un vehículo modelo “convencional” se recuperan en promedio las siguientes categorías de materiales:

Tabla 4. Resultado de 100 vehículos desensamblados (Ene-Sep del 2018) en el CNS de SURA

Categoría de Materiales	Proporción relativa de material por peso
Hierro	47.0%
Plásticos	9.4%
Aluminio + Cobre	9.0%
Motor	19.5%
Llantas + Gauchos	6.1%
Textiles + Espumas	4.1%
Vidrio	3.0%
Plomo (batería)	1.6%
Otros (fluidos)	0.3%
Total	100%

Fuente: Evaluación de la Circularidad y Sostenibilidad de las Operaciones del Centro Nacional de Salvamientos (ASDF, 2019).

El foco principal de CNS es recuperar componentes útiles y comercializables (repuestos) de los vehículos declarados bajo la etiqueta de “pérdida total”, donde cada vehículo pasa por un proceso de desensamblaje. El resultado es que, de todo el material desmantelado, el 29% son recuperados como “repuestos” comercializables (a base de peso), mientras que el restante es categorizado como “materiales residuales” donde el CNS explora maneras de valorizar estos materiales a través del reciclaje y/o procesamiento al calor, antes de tener que cubrir los gastos para el almacenamiento y/o disposición responsable del material restante.

Tabla 5. Situación de aprovechamiento de “materiales residuales” resultante del proceso de desensamblaje de vehículos (2018).

Parte o Material residual resultante del desensamblaje	Procesamiento de materiales proveniente del proceso de desensamblaje
Metales (chatarra, cobre y aluminio)	Se comercializa con siderúrgica para reciclaje mediante fundición
Plásticos	Se comercializa para reciclaje
Baterías Plomo Ácido	Se comercializa con fabricante de batería plomo-ácido para reciclaje
Líquidos inflamables	Uso dentro de las operaciones del CNS y entrega a Gestores de Residuos Especializados
Llantas	“Waste-to-Energy” en hornos de cemento

Tapicería (Paneles – mezcla de textil y plásticos)	Sin aprovechamiento
Sillas	Sin aprovechamiento
Cauchos (empaques de ventanas)	Sin aprovechamiento
Vidrio	Sin especificar
Farolas	Sin especificar
Residuos Peligrosos (sólidos + hidrocarburos + mezcla líquidos)	Almacenamiento en celdas de seguridad

Fuente: Evaluación de la Circularidad y Sostenibilidad de las Operaciones del Centro Nacional de Salvamentos (ASDF, 2019).

Este ejemplo práctico del CNS refleja que hay una fracción significativa de vehículos (71% a base de peso) que después de desensamblar no podrán ser utilizados para fines con mayor valorización/comercialización (re-uso, re-fabricación, reparación y/o recirculación de repuestos), pero terminan como materiales residuales con poco margen de comercialización y/o donde se convierten en gastos operacionales para procesar a través de procesos convencionales de reciclaje (“down-cycling”), incineración y/o disposición final en rellenos sanitarios / celdas de almacenamiento de sustancias peligrosas.

Los vehículos privados convencionales representan muchos retos en poder recuperar valor después de su uso útil, donde se tiene que entender la complejidad de los materiales sobre los cuales están compuestos. Por ejemplo, solo bajo la categoría de “plásticos” hay una variedad amplia de tipos de plásticos (polipropileno - PP, polietileno - P/E, poliuretano - PUR, poliamida - PA, Acrilonitrilo Butadieno Estireno - ABS, e.o.) que requieren cada uno un tratamiento específico para su revalorización y/o reciclaje, reconociendo que hay muchas limitaciones en los procesos y tecnologías actuales para el aprovechamiento óptimo de estos materiales.

Dentro del subsector de la movilidad eléctrica y teniendo en cuenta que podría llegar a presentarse una aceleración de compra e importación de vehículos eléctricos y/o híbridos hacia ALC, se debe tener en cuenta que el componente principal y diferencial de estos vehículos con los automóviles convencionales es el uso de baterías a diferencia de motores de combustión interna. Se espera que se use aluminio forjado en la caja de cambios y cómo no requieren de motores de combustión interna, el consumo de aluminio fundido es menor, requiriendo la producción de aluminio de mayor pureza para futuras aplicaciones en carros eléctricos e híbridos.

Lo preocupante de esta nueva tendencia de incentivar la compra e importación de vehículos eléctricos a gran escala en la región de ALC, es que entidades como el CNS no tienen la habilidad para desmantelar adecuadamente vehículos eléctricos y/o híbridos que estén entrando el parque vehicular en Colombia. Siendo el CNS una excepción a la regla de la capacidad instalada en la región ALC para atender adecuadamente al flujo creciente y anticipado de baterías Li-ion y otros componentes de alta tecnología como desperdicio electrónico en los siguientes 5-10 años.

Tampoco existe la capacidad para adecuadamente y efectivamente poder re-usar y/o reciclar baterías a base de Li-ion (baterías convencionales en primera generación de vehículos eléctricos) en la región ALC, que significa que se tendrá que explorar vías para el re-envío de baterías y otros componentes de alta tecnología hacia los fabricantes y/o invertir en la capacidad regional de poder valorizar los componentes de alta tecnología disponibles en vehículos eléctricos/híbridos después de su uso útil.

Aun así, se va a requerir un diálogo estratégico con fabricantes de vehículos eléctricos para que ellos hagan su parte de diseñar la siguiente generación de vehículos eléctricos modular y/o para el desensamblaje costo-efectivo y limpio para hacer posible la recuperación y reuso/comercialización de valor agregado (“up-cycling”) de manera rentable y efectivo.

Desperdicio que proviene de Tecnologías de Fuentes de Energías Renovables

Esto no solamente aplica a los vehículos de transporte, sino también a las tecnologías que tendrán que proveer electricidad a base de fuentes energéticas renovables, donde ninguno está intencionalmente diseñado para su desensamblaje costo-efectivo después de su ciclo de uso útil. La gran mayoría están diseñados para ser más eficientes en convertir el recurso renovable en electricidad, sin pensar en la composición de la tecnología y anticipando que después de su uso útil (15 – 30 años) se convierten en “basura” / “residuos electrónicos” y es veces hasta categorizados como “residuos peligrosos”. Además, las tecnologías de reciclaje/conversión e infraestructura disponible no son aptos para recuperar el valor retenido en estas tecnologías.

Un panel fotovoltaico requiere herramientas avanzadas para ser desensamblado (en caso que se pueda) para cual no hay instalaciones disponible en ALC, la fundición de metales requiere un proceso de calor (tratamiento térmico) que exige más energía que podrá haber generado durante su ciclo de uso, y muchos sub-componentes requieren aditivos químicos (tratamiento químico) para poder recuperar sustancias de manera homogéneo para poder ser comercializables resultando en otros impactos ambientales.

Un desafío fundamental es que mientras se instalan cada vez en escalas mayores paneles solares fotovoltaicos por toda la región ALC, inclusive en zonas aisladas y remotas, no existe la capacidad para recuperar los, y ni las plantas para el reciclaje adecuada y efectivo de estos mismos paneles solares en la región. Acompañado con falta o brechas significativos de políticas y regulaciones para incentivar el reciclaje y/o reuso de los componentes de estos paneles solares (en general categorizados como “basura electrónica”) mayoría o todos terminan, si acaso logran ser recolectados, en rellenos o ámbitos ecológicos no deseados.

Mas allá hay otros retos relacionados a las tecnologías de reciclaje disponibles, muchos dependen de procesos o tratamiento químicos altamente contaminantes y/o procesos térmicos con uso intensivo de energía para recuperar parcialmente el valor contenido en estas tecnologías. Esto significa que además de la necesidad de crear la capacidad de recuperar o recolectar tecnologías de alta tecnología después de su ciclo de uso útil (paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, baterías, etc.), esto tiene que ir acompañado con avances tecnológicos que hagan posible el proceso de recuperar, reuso, recirculación y/o reciclar de los componentes de una manera limpia y menos energéticamente intensivo.

Todo esto significa que en el caso de paneles fotovoltaicos los fabricantes tendrían que considerar, a priori, diseños para el desmontaje no intensivo en energía y la reciclabilidad total de materiales, reemplazando componentes tóxicos por no tóxicos con el fin de evaluar el potencial de implementar ciclos ascendentes a escala comercial (Contreras-Lisperguer et al., 2017).

3.2.4 Innovación como motor hacia la electromovilidad y energía renovable sostenible

La economía circular sostenible, ofrece un marco nuevo que impulsa la innovación para hacer de los sectores de la electromovilidad y de la energía renovable más sostenibles. Aplicando los principios de la ECS incentiva a fabricantes de vehículos (convencionales, eléctricos, híbridos, hidrógeno, etc.) y fabricantes de tecnologías de energía renovable principalmente solar y eólica, a seleccionar materia prima adecuada y no tóxica para ser utilizada en los componentes de vehículos y tecnologías que son intencionalmente diseñados para su desensamblaje costo-efectivo después de su ciclo de uso útil.

Aunque hay muchos avances en la incorporación de materiales reciclados y el uso de biomateriales en componentes de vehículos, lo cual se puede considerar un paso inicial en el proceso de transición hacia un sector compatible con una economía circular sostenible, existe una brecha significativa dentro del sector de fabricación de automóviles y de tecnologías de energía solar y eólica para que sean compatibles con esta nueva configuración restaurativa y de impactos económicos, sociales y ambientales positivos.

La **Tabla 6** a continuación presenta un ejemplo de la compañía FORD Motor Company, sobre innovaciones en relación con la incorporación de materiales reciclados y materiales de base biológica.

Tabla 6. Innovaciones en la empresa FORD para la incorporación de materiales reciclados y biomateriales en sus vehículos.

MATERIALES RECICLADOS Y RECICLABLES DE FORD	MATERIALES RENOVABLES DE FORD BIO
Caucho reciclado: fabricado con material de llantas post-consumo, el caucho reciclado se usa en las cubiertas de los bajos de una variedad de vehículos Ford. Aluminio reciclado: fabricado en los sistemas de reciclaje de circuito cerrado en algunas fábricas de Ford, el aluminio reciclado y reciclado entra en los bastidores de la carrocería de cuatro series de camiones Ford norteamericanos. Botellas de plástico recicladas: desviadas de los vertederos y procesadas en las fábricas de Ford, las botellas de plástico recicladas se utilizan para hacer	Nylon: el aceite de ricino se usa para las líneas de combustible de nylon para la mayoría de los vehículos, y las espumas de tacto suave del panel de instrumentos en tres líneas de vehículos. Las alfombras de nailon posconsumo se utilizan en las fundas de los cilindros del Ford Escape, Fusion, Mustang y F-150. Soja: la espuma de poliuretano a base de soja se utiliza en los respaldos de los asientos, los cojines y los reposacabezas en todos los vehículos Ford construidos en América del Norte, mientras que las juntas de los retrovisores exteriores incorporan tanto neumáticos reciclados como aceite de soja.

alfombras y forros de ruedas en los vehículos Ford Transit y C-Max, así como el tejido REPREVE utilizado en el F-150. Algodón reciclado: hecho con los recortes de chatarra de la confección de camisetitas y jeans, el acolchado interior y el aislamiento acústico en la mayoría de los vehículos Ford contienen algodón reciclado. Materiales postindustriales y posconsumo reciclados: manteniendo el aspecto y el rendimiento, se puede encontrar botellas PET posconsumo en las telas de los asientos de 12 vehículos Ford. Estos materiales serían de otra manera programados para vertederos.	Cascos de arroz: los cascos de arroz, un subproducto del grano de arroz cultivado en los Estados Unidos, se utilizan para reforzar el plástico en los arneses eléctricos del Ford F-150. Fibras de coco: las fibras que se toman de las cáscaras de coco refuerzan los revestimientos de plástico del maletero de varios vehículos Ford. Plástico reforzado con celulosa: utilizando fibras de árboles cultivados de manera sostenible, el plástico reforzado con celulosa se ha utilizado para reemplazar la fibra de vidrio en los reposabrazos del Lincoln MKX. Plástico reforzado con paja de trigo: la paja de trigo, un subproducto de desecho del trigo se utiliza para reforzar el plástico en los contenedores de almacenamiento del Ford Flex. Kenaf / Hibiscos: las piezas de plástico moldeado de la puerta del Ford Escape incorporan kenaf, una especie de hibiscos y un pariente cercano al cáñamo
--	---

Fuente: Tendencias Internacionales en el Sector Automotriz para identificar oportunidades de Negocios Circulares para el CNS (ASDF, 2019).

Además de la incorporación de materiales recicladas y el uso de biomateriales en componentes de vehículos, como pasos iniciales en esta transición hacia una economía circular sostenible, también existen innovaciones relevantes en el diseño de baterías y otros componentes esenciales para vehículos eléctricos del futuro.

Una gran mayoría de los baterías utilizados en vehículos convencionales son baterías de plomo ácido y con la demanda creciente para vehículos eléctricos, más y más baterías de iones de litio. Ambos tipos de baterías dependen del uso de metales preciosos y procesos complejos y tóxicos para su fabricación, uso y desecho.

Anticipando que más empresas se sumen a nivel global dentro del sector para aplicar los principios de la economía circular sostenible, se valoriza y desarrolla más la habilidad de poder recuperar baterías, desmantelarlas de una manera costo-efectiva en sus componentes básicos, y reutilizar estos metales, químicos, y otros componentes básicos para la fabricación de un siguiente producto de misma o mejor calidad.

Esto es la esencia de la economía circular, donde se demuestra la intencionalidad de crear un producto útil y funcional que sea compuesto de materiales adecuados, no-tóxicos y abundantes, y diseñado para su desensamble costo-efectivo y recuperación óptima de sus componentes básicos.

Baterías "Aqueous Hybrid Ion" (AHI™)

La batería Aqueous Hybrid Ion (AHI) es un ejemplo de innovación que hace este tipo de batería más compatible con los principios de la economía circular. Las baterías Aspen de Aquion son sistemas electroquímicos sellados de almacenamiento de energía basados en un exclusivo electrolito de agua salada. A diferencia de las baterías de flujo, las de ión litio y las de plomo ácido, estas baterías Aspen están fabricadas con materiales abundantes y no tóxicos y modernas técnicas de fabricación de bajo costo. Estas baterías de agua salada no requieren mantenimiento y están optimizadas para el ciclo profundo (deep-cycle) diario. Y es por esto por lo que esta empresa destaca el punto que “lo que está adentro importa”.



Figura 1. Despiece de batería Aqueous Hybrid Ion

Fuente: Aquion Energy, 2016

Como lo explica la compañía esta batería está compuesta por un electrolito de agua salada, un cátodo de óxido de manganeso, un ánodo compuesto de fosfato de titanio y un separador de algodón sintético. La batería utiliza reacciones de intercalación no corrosivas en el ánodo y el cátodo. Las baterías de Aquion no son inflamables, corrosivas ni explosivas bajo ninguna condición, estado de carga o condiciones de uso (con la excepción de una sobrecarga severa que conduce a la evolución del gas, una situación que no es posible durante el transporte).

Las baterías AHI tienen un electrolito a base de agua seguro, en comparación con el solvente orgánico inflamable en baterías de ión litio y ácido sulfúrico cáustico en baterías de plomo ácido. Este sistema a base de agua modera la temperatura máxima que puede alcanzar la batería; es imposible que alguna reacción interna conduzca a la batería a más de 100°C, ya que, a esta temperatura, toda el agua se evaporará y dará lugar a una condición de circuito abierto.

Los eventos térmicos fuera de control simplemente no son posibles en la química de AHI por las razones descritas anteriormente, así como por el hecho de que las capas de litio metal, dendritas y SEI no pueden formarse porque todas son especies solubles en agua y no pueden acumularse en la superficie del electrodo y provocar cortocircuito.

Las baterías AHI tienen un diseño electroquímico respetuoso con el medio ambiente que no contiene metales pesados, productos químicos tóxicos, disolventes inorgánicos u otros materiales nocivos. Las baterías AHI no dependen de metales pesados ni tóxicos, como el plomo, o materiales cáusticos como el ácido sulfúrico o el hexafluorofosfato de litio. Además, las baterías AHI son lo suficientemente seguras para ser eliminadas a través de mecanismos de desechos tradicionales (siempre cumplirá con las regulaciones locales con respecto a la eliminación de cualquier producto).

Las baterías están completamente selladas y no requieren mantenimiento. Se equilibran automáticamente y, por lo tanto, no requieren una carga de compensación o un sistema de administración de batería (BMS). Las baterías AHI no tienen partes móviles como baterías de flujo, sistemas de riego complicados como algunas baterías de plomo-ácido, y no requieren balanceo activo de células como los sistemas de iones de litio.

El electrolito acuoso proporciona protección natural contra sobrecargas y, junto con la alta impedancia del sistema, permite que las baterías AHI se equilibren automáticamente en las configuraciones de cadena.

Las baterías AHI son tolerantes a los ciclos profundos diarios, a amplios rangos de temperatura y al estado parcial de los ciclos de carga con una degradación mínima. Además de las ventajas de seguridad y sostenibilidad de usar el agua como electrolito, otra ventaja es la masa térmica del agua incorporada, lo que significa que los productos AHI no se calientan ni se enfrían rápidamente. Como tales, los productos pueden operar en una ventana de temperatura de operación muy amplia porque simplemente toman mucho tiempo para calentar y enfriar.

En resumen, esta nueva generación de baterías basados en un exclusivo electrolito de agua salada, está ya un paso más cerca de ser compatible con los principios de la economía circular por cumplir netamente con el requisito de ser compuesto de “materiales adecuadas, no-tóxicos y abundantes”, aunque aún su desarrollo tecnológico no haya resultado en un producto aún compatible para su uso en vehículos y que supera las baterías de ión litio y baterías de plomo ácido en aspectos de la densidad energética, rendimiento y costo de instalación, está fundamentalmente en línea con los principios de la economía circular que le dan la ventaja competitiva para las proyecciones de demanda a medio y largo plazo en un mercado global cada vez más cambiante y exigente para eliminar impactos negativos a lo largo de su cadena de valor y ciclo de uso.

Más allá de innovaciones en componentes para vehículos eléctricos, hay otras innovaciones que podrá generar impactos significativos en la transición hacia la electromovilidad del futuro. Una de estas, es el diseño y la fabricación de Vehículos Eléctricos Solares (VES) que son diseñados para captar la irradiación solar con paneles integrado en el vehículo y propulsar el vehículo con menos o sin necesidad de carga por fuente externo.

Esto tiene potencial de cambiar todo el concepto de que la electromovilidad del futuro deberá depender de la capacidad de invertir en la infraestructura de generación y distribución de energía eléctrica a base de fuentes renovables no-convencionales, con puntos de carga extensiva, que podría llegar a ser muy costoso para implementar en varios lugares de la región ALC.

Los VES pueden tener un rol importante en la democratización de la movilidad en ALC donde la fuente de energía para propulsar el vehículo es gratis proviniendo directamente del sol y hasta puede ser almacenada para convertirse en un bien que se “deposita” en la red eléctrica a cambio de un valor monetario y/o servicio (net-metering). Todo esto hará posible que los VES del futuro sean más asequibles con una gran parte de la ciudadanía con alto nivel de independencia de la infraestructura eléctrica de terceros.

Lightyear One 2022 Solar Electric Vehicle (Murphy, 2021)

Una nueva generación de vehículos eléctricos que podrá revolucionar la movilidad eléctrica, son vehículos eléctricos solares donde la premisa tras de estos vehículos es poder propulsar a base de la energía solar captada directamente de sus paneles integrado en su diseño.

El objetivo es crear independencia de infraestructura de carga eléctrica en las casas, oficinas, y/o otros espacios y no tener que pagar para un “combustible”. También crea las condiciones para no tener que depender de gobiernos, empresas grandes y/o inversionistas para financiar y construir infraestructura eléctrica masiva y costosa a lo largo de las carreteras públicas.



Figura 3. Modelo “Lightyear One” de un Vehículo Eléctrico Solar

Fuente: theverge.com, 2021

La manera en que esta empresa holandesa logró fabricar, testear y certificar este modelo para poderlo introducir en el mercado para el año 2022, fue enfocándose en crear un vehículo ultra-eficiente, donde

cada componente no esencial es eliminado, y los que si son esenciales re-diseñados y optimizados para ser más ligeros y/o efectivos, para poder eficientemente utilizar la energía aprovechada por vía de los paneles solares integrado en el vehículo. Esto acompañado con la optimización continua de la superficie y eficiencia de los paneles en el vehículo para poder captar y aprovechar más irradiación solar posible.

Otros aspectos innovadores son la integración de los electromotores en las ruedas del vehículo, el uso de cámaras envés de retrovisores para mejorar la aerodinámica, y el diseño propio de nuevos modelos flexibles de paneles solares para integrar en nuevas partes del vehículo.

Fuente: Euronews.net, 2021

Todos estos avances tecnológicos e innovaciones, con excepción a las baterías aquíos híbrido ion, siguen una doctrina de optimizar la conversión de energía eléctrica en propulsión efectiva y eficiente. Aunque en el caso de los vehículos eléctricos solares, hay un enfoque en reducir el uso de materiales y la optimización de componentes y compuestos, no explícitamente están enfocados en garantizar la selección de materiales y sustancias saludables (no-tóxicos) ni incorporan un diseño intencional para el desensamblaje costo-efectivo de estos vehículos después de su uso útil. Entonces, sigue vigente el reto de cómo prevenir que estas nuevas tecnologías no se convierten en basura electrónica, catalogadas en algunos casos como “peligrosas” y que al final del día generen impactos no deseados a largo plazo que elimina las buenas intenciones de por ejemplo reducir las emisiones de GEI.

3.2.4 La industria de Electromovilidad Circular como nuevo pilar económico en ALC

La economía circular sostenible se trata de diseñar una nueva configuración de la economía y de la sociedad en la cual circulan productos y tecnologías intencionalmente diseñados para satisfacer las necesidades del ser humano sin impactar a su entorno y bienestar y capacidad para prosperar.

Para lograr llegar a un sistema de transporte y uso de vehículos eléctricos compatibles con la economía circular sostenible se tendrá que invertir en entender e interpretar correctamente los principios de la economía circular sostenible y aplicarlos en la industria. Esto significa incentivar y trabajar para desarrollar procesos de manufactura de vehículos eléctricos y tecnología de energía renovable en la región, envés de solamente recibir alta tecnología y componentes fabricados en otras regiones/economías ajenas que utilizan en gran parte metales preciosos de ALC y que se convierten, después de su uso, en una acumulación de desperdicio en los países de la región.

Las interdependencias actuales de las economías de ALC respecto a otras economías en el mundo encajadas en un modelo económico lineal global de “extraer-fabricar-desechar” con cadenas de suministros globales, estimulan la continuidad de la extracción de recursos naturales y agricultura basada en productos básicos con poco valor agregado como pilares económicos principales de los países en ALC.



Existe en el momento una tendencia global de gobiernos comprometiéndose con la agenda global de mitigación del cambio climático con enfoque en la descarbonización de varios sectores económicos, entre ellos el sector de transporte apostándole a una transición hacia la electromovilidad basada en fuentes de energía renovable. Sin embargo, esta misma meta de cambiar de transporte a base de combustibles fósiles a transporte eléctrico subministrados con fuentes de energía renovables representa una demanda enorme a tecnologías que utilizan materiales y minerales preciosos, muchas veces explotados y extraídos bajo condiciones no amigables al medio ambiente o con las personas, que después de su vida útil se convierten en residuos peligrosos.

Por lo tanto, la transición hacia la electromovilidad incentivará la extracción de recursos naturales (en particular en países mineros de la región ALC) siendo esto un resultado contradictorio a la agenda hacia la sostenibilidad 2030. Actualmente existe una percepción de que la agenda de mitigación climática que promueve la electrificación de la movilidad, resolverá todos los retos sociales, económicas y ambientales hacia la sostenibilidad, pero en realidad solo atiende al tema de reducción de GEI, mientras que, si no se gestiona esta transición energética de manera adecuada y responsable, generará muchos otros impactos no deseados para todos los actores involucrados en la cadena de valor.

Entonces, para poder diversificar la economía regional de ALC y generar valor agregado real, se tendrá que invertir en estrategias y actividades que lleven a la región a convertirse en una región económica con la capacidad de fabricar alta tecnología para la electromovilidad basada en los recursos bióticos y abióticos disponibles en ella, explotados de manera limpia y responsable acompañado con un diseño intencionalmente eco-inteligente. De esta forma se podría garantizar la circularidad de materiales, reducir gradualmente la dependencia en materia prima y crear nuevas habilidades y modelos de negocios circulares en la región.

4 La gobernanza hacia movilidad eléctrica sostenible

Por la complejidad e interdependencias de carácter multidimensional y disciplinario, para llegar a una electromovilidad circular y sostenible, este proceso de transición tendrá que ser orquestado de una manera muy estratégica entre varios actores y coherente a los principios de la ECS para lograr realizar el gran impulso hacia la sostenibilidad. Directamente se identifican a los sectores público, privado y academia como actores principales acompañados por la sociedad civil como actores que se pueden ver beneficiados directamente de la implementación de la ECS en la movilidad eléctrica y el desarrollo y aplicación de tecnologías de energía renovable.

Dentro del **sector público** se deben identificar los roles de los gobiernos y priorizar aquellos que ya tienen establecidas estrategias u hojas de ruta nacionales de Economía Circular. Es importante que los gobiernos de la región fortalezcan, desarrollen y apliquen políticas destinadas al sector productivo que integren los principios de una ECS e incentiven su participación en las etapas de diseño y manufactura de componentes para la electromovilidad y tecnologías de energía renovable. De esta manera los principios de una ECS se convertirían en las bases para integrar las iniciativas, planes, programas y estrategias actuales del sector hacia una misma visión.

Los roles de los gobiernos son primordiales para desarrollar estrategias nacionales y liderar los sectores de la electromovilidad y energía renovable hacia modelos circulares. Algunas de las recomendaciones (usadas por gobierno holandés para diferentes sectores) para iniciar o potencializar los planes de acción de los diferentes gobiernos locales de acuerdo a sus capacidades, son:

- Crear estrategias claras, interdepartamentales y consistentes para la construcción de una economía circular sostenible.
- Desarrollar una educación coherente y plan de investigación para la economía circular sostenible aplicada a los sectores de electromovilidad y energía renovable.
- Hacer una evaluación completa de las ventajas y desventajas de las normas y regulaciones existentes en materia circularidad de materiales.
- Aumentar los conocimientos y concientización sobre las materias primas en las cadenas de valor de los componentes de vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovable.
- Garantizar que los principales agentes de cambio reciban una ventaja permanente y verdadera, por ejemplo, a través de la gestión de la cadena de valor.
- Revisar la efectividad de un amplio conjunto de incentivos fiscales y financieros para promover el comportamiento circular.
- Determinar el impacto de las plantas de incineración en la viabilidad de casos de negocio circulares y tomar las medidas adecuadas.
- Desarrollar el papel del gobierno como experto para el lanzamiento de proyectos en economía circular sostenible.
- Utilizar e incentivar las relaciones internacionales para ayudar a avanzar hacia una economía circular sostenible a nivel local y regional.

Dentro del **sector público**, es necesario conocer las actividades realizadas localmente dentro de las cadenas de valor de electromovilidad y energía renovable, así como identificar habilidades y capacidades de otros sectores que puedan contribuir a la generación de cadenas de valor circulares locales en estos sectores. De esta forma se conocería el contexto o punto de referencia inicial de los países de la región analizando su situación actual, los sistemas de manufactura, importación/exportación de materiales y componentes, uso y gestión de residuos. Este análisis debe conducir a su vez a identificar otros subsectores que puedan aportar a través de sus capacidades instaladas al desarrollo de modelos y rutas circulares.

Dentro del **sector académico**, se deben identificar los programas educativos y proyectos de investigación adelantados por las diferentes instituciones para alinearlos e integrarlos a los objetivos que se planteen los gobiernos con respecto a la aplicación de la ECS en los sectores de electromovilidad y energía renovable. Es importante a su vez compartir experiencias sobre programas educativos de otros países donde se han incorporado los principios de la economía circular como elementos clave para la educación a diferentes niveles.

A través de las instituciones de educación de la región se puede capacitar a empresas y ciudadanos para identificar y/o crear las capacidades técnicas necesarias que contribuyan al desarrollo de una cadena de valor local enmarcada dentro de flujos circulares de los componentes de los vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovable.

Para poder crear una gobernanza adecuada para incentivar y facilitar la innovación circular en los sectores de transporte y energía renovable, con enfoque hacia la transición de una electromovilidad sostenible, es importante iniciar la formulación de nuevas políticas desde un punto de vista compatible con los principios de la economía circular sostenible. La orientación principal de políticas vigentes en ALC hacia la electromovilidad y energía renovable, están orientadas hacia la reducción de las GEI, particularmente dentro del transporte público masivo, como parte de una agenda de mitigación del cambio climático, sin contemplar la realidad multidimensional e interrelacionada con otros retos sociales, ambientales y económicos.

A falta de una visión holística e integral, los países de la región atienden retos ambientales en “silos” o desde una sola dimensión (por ejemplo: pasar hacia carbono cero o neutralidad) que resulta en no aprovechar los grandes efectos multiplicadores de las soluciones integradas y sostenibles a las necesidades de movilidad.

Para impulsar y empoderar la innovación circular dentro de la electromovilidad y energía renovable, la región tendrá que introducir nuevas políticas públicas y crear una nueva gobernanza a base de colaboración directa y continua entre actores clave dentro de ecosistemas de innovación compartida y mutuamente beneficiosos. Aquí se tiene que pensar en alianzas estratégicas triangulares entre el sector público, sector privado y la academia (cooperación de triple hélice) en ciudades y/o regiones con condiciones apropiadas para sostener las soluciones, tecnologías o productos que emergen del proceso de innovación compartida con el fin de crear capital natural y que sean a su vez regenerativos.

Creando capacidades locales de acuerdo con las tendencias

Teniendo en cuenta las nuevas tendencias entre los fabricantes de vehículos convencionales, eléctricos/híbridos, de hidrógeno y otros, se puede concluir que todos a corto y mediano plazo están integrando cada vez más materiales reciclados y/o biomateriales en sus vehículos. Esto demuestra un enfoque de querer mejorar su desempeño ambiental e imagen empresarial, poder cumplir con programas de certificaciones de calidad, y exigencias de accionistas respecto a políticas ambientales, sociales y de buena gobernanza.

La región ALC, puede también aprovechar estas tendencias enfocándose en invertir en crear las capacidades tecnológicas e infraestructura industrial para procesar materiales de base biológica, residuos orgánicos y/o materiales biodegradables en componentes críticos para el sector e industria de fabricación de automóviles. La región de ALC tiene la ventaja de estar ubicada en una región geográfica con alto nivel de biodiversidad y disponibilidad de recursos naturales que pueden servir de materia prima para ser convertidos en componentes y productos de valor agregado para la industria de fabricación de vehículos/automóviles.

Más allá de fabricar componentes de alta calidad y biodegradabilidad para uso en vehículos eléctricos, al mediano y largo plazo la región ALC se puede beneficiar del potencial para crear hubs industriales regionales que puedan ensamblar y/o fabricar vehículos eléctricos pesados y livianos, utilizando la experiencia obtenida de plantas de ensamblaje de vehículos existentes en países como México, Colombia y Brasil. La transición de vehículos convencionales hacia eléctricos puede estar acompañada por empresas existentes y otros innovadores nuevos.

Además de los vehículos y sus componentes, se tendrá que invertir en la infraestructura física, eléctrica, y digital para sostener el uso más racional y eficiente de la electromovilidad en ciudades y zonas urbanas. Esto representa una oportunidad grande para ALC, donde se tendrá que facilitar la integración de vehículos eléctricos a la infraestructura física y digital. Por ejemplo, la optimización de ubicación y uso de puntos de recarga eléctrica, el uso de información (BIG DATA) de patrones de movilidad será cada vez más importante para optimizar tiempo de transporte y prevenir atascos, así como la tecnología de comunicación será cada vez más importante para la creación de redes inteligentes para un mejor flujo vehicular en zonas urbanas.

Lo importante es que los actores clave de los ecosistemas de innovación circular en ALC tendrán que tomar en cuenta que dentro del ámbito de una economía circular global hay muchos avances tecnológicos como el *Internet-de-las-Cosas* (Internet-of-Things, IoT), que serán cada vez más relevantes e importantes. Estos aportan a la desmaterialización de servicios y/o a establecer *Productos o Plataformas-como-Servicio* (Product-as-a-Service - PaaS).



Figura 4. Una visión conceptual del vehículo del futuro

Fuente: Helge Tenno, Medium, 2015

La **figura 4** ilustra estas tendencias, donde empresas de otros sectores diferentes del sector automotriz están interrumpiendo y contribuyendo a la cadena de valor con nuevas tecnologías y servicios. Tesla por ejemplo, está desarrollando un sistema de transmisión eléctrica con la intención de utilizar fuentes de energías renovables de las tecnologías de energías alternativas creadas o desarrolladas por ellos mismos para captar todo este segmento de venta y uso de vehículos y sus componentes (por ejemplo, el paquete de baterías Li-Ion).

En este grupo de empresas que están interrumpiendo el sector de vehículos se encuentran también Apple y Google que actualmente están desarrollando aplicaciones y tecnologías para generar ingresos a partir de servicios y datos conectados, es decir, software y aplicaciones para información u ofertas de entretenimiento (la experiencia en tránsito), así como otras formas de monetizar las grandes cantidades de datos disponibles en y alrededor de los vehículos (infraestructura digital).

Otro actor que interrumpe y aporta de una forma diferente es Uber el cual se está alineando para diseñar y brindar el servicio de vehículos autónomos compartidos, trabajando para resolver el desafío de la última milla: *cómo el auto puede llegar hasta usted*. Cualquier compañía que quiera ser una compañía automovilística de repente se libera de la limitación de tener que asociarse

con concesionarios en todo el mundo. Todo lo que tienen que hacer es poner los autos en la carretera y conectarlos a Uber.

Esta tendencia obliga a los desarrolladores de políticas públicas relacionados al sector de transporte y la electromovilidad a repensar los procesos y explorar posibles alianzas estratégicas con empresas especializados en IoT o PaaS para entender y combinar las fortalezas en cómo generar Big Data para la optimización de los flujos de tráfico en ciudades del futuro y expandir hacia otros servicios relevantes.

Respecto a la electromovilidad del futuro, a base de la tecnología de baterías actualmente disponible, habrá mayor demanda para por ejemplo elementos como el litio (Li), donde es mundialmente reconocido que la mayor parte del litio usado industrialmente se extrae de salmueras y que la mayoría de estas soluciones salinas se encuentran en las salinas que cubren territorios de Chile, Argentina y Bolivia: el llamado triángulo de litio.

El litio disuelto en salmuera se concentra por evaporación solar, seguido de una combinación de pasos de precipitación y filtración para eliminar las impurezas residuales como el calcio, el magnesio y el boro. La solución de LiCl purificada se puede usar para hacer una variedad de productos químicos de litio (por ejemplo, Li_2CO_3 y LiOH). El reto que tienen estos países como Chile, Argentina y Bolivia, es buscar maneras innovadoras para hacer el proceso de extracción del litio más limpio posible y simultáneamente invertir en la capacidad de hacer investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones del litio en nuevas tecnologías que son intencionalmente diseñadas para su desensamblaje al final de su ciclo de vida.

Simultáneamente se tendrá que tomar en cuenta que globalmente hay mucha innovación y adopción de nuevos procesos químicos dentro de las baterías, utilizando cada vez otras combinaciones de metales, como el cobalto, níquel y manganeso que están geográficamente ubicados en otros países y regiones en el planeta. Aunque hay muchos retos en proteger adecuadamente el medio ambiente donde se extrae el litio, cobre, oro, bauxita y otros metales y minerales en ALC.

La mejor apuesta que se puede llevar a cabo en países de la región, es invertir en innovaciones para utilizar los recursos naturales propios de una manera racional y limpia, e incorporar estos materiales en nuevas tecnologías y productos intencionalmente diseñados para ser desensamblado de manera costo-efectivo sin que estos materiales y componentes pierdan su funcionalidad y valor económico.

La inversión en el sector de electromovilidad en ALC según los principios de la ECS no solo ofrece oportunidades para crear un pilar productivo económico nuevo y de valor agregado que contribuye a reducir las emisiones de GEI y residuos electrónicos, pero también desencadena la innovación tecnológica y actividades productivas para sustentar una electromovilidad sostenible en la región. De esta manera se facilitará la diversificación y transición de una economía regional altamente dependiente de la extracción de recursos naturales (utilizados como “comodines” con bajo valor agregado) y agricultura intensiva, a una economía regional compuesto de hubs regionales centrado en innovación tecnológica y fabricación de tecnologías, componentes y productos de alta calidad y biodegradabilidad que cada vez estarán más en demanda global. Una

nueva mirada a las relaciones entre el modelo de economía circular y el sistema de movilidad crea una oportunidad para lograr valor ambiental, social y económico a largo plazo para todos los participantes en el ecosistema de electromovilidad (Motowidlak, 2020).

4.1 Desafíos y Oportunidades en Políticas para la movilidad sostenible

El éxito de nuevas tecnologías y rutas circulares en electromovilidad y energía renovable no sólo está determinado por las características tecnológicas y económicas, sino también por la calidad de la interacción entre los actores del sistema (empresas, gobiernos, institutos de conocimiento, grupos sociales), instituciones (gobierno, leyes, rutinas) y tecnologías. Por lo anterior es importante desarrollar capacidades relacionadas con el conocimiento de la ECS, actividades empresariales o industriales que contribuyan a la circularidad dentro de los sectores, los mecanismos de recursos y de mercado disponibles y el apoyo que se pueda obtener durante el proceso para los actores involucrados.

Es importante resaltar que la implementación de la ECS en los sectores de electromovilidad y energía renovable de la región, debe estar apoyada por fondos, instrumentos y mecanismos financieros e incentivos tributarios que orienten sobre las posibilidades de apalancamiento financiero a empresas existentes o nuevas que puedan contribuir al desarrollo de cadenas de valor circulares. Se debe invitar a las instituciones de los gobiernos locales a apoyar y promover el crecimiento empresarial extraordinario, formular e impulsar las políticas de corto, mediano y largo plazo en ciencia, tecnología e innovación, a través de las cuales los gobiernos asignen recursos económicos para la promoción de inversiones empresariales que apoyen iniciativas de negocio para la investigación, el desarrollo científico, tecnológico, la innovación y que puedan crecer de manera rápida, rentable y sostenida.

Paralelamente a lo anterior, es necesario que los países de la región trabajen en la creación y desarrollo de capacidades empresariales e industriales para que se puedan reconocer y crear oportunidades de rutas circulares para los componentes y materiales de las tecnologías, como son: (i) Mantenimiento y Reparación, (ii) Re-uso o Reutilización, (iii) Renovación (productos y componentes) y (iv) Recirculación. Esto significa que desde los procesos de diseño se deben identificar y tratar los diferentes materiales como nutrientes biológicos o técnicos y garantizar que los componentes sean reincorporados a un ciclo biológico o técnico después de sus ciclos de uso.

El agua juega también un papel importante dentro de la ECS, por lo que se debe capacitar a los actores de las cadenas de valor para que se reconozcan las prácticas relacionadas con el uso del agua y sus impactos locales buscando por ejemplo que el agua resultante de los procesos de producción se reintegre en el mismo proceso u otro uso y/o nutra los ecosistemas a su alrededor.

Adicionalmente es importante buscar mecanismos de apoyo ya sean de instituciones educativas, centros de investigación, organismos internacionales u otros; para que los países puedan analizar las actividades de los diferentes actores de cadenas de valor de los sectores de electromovilidad, energía renovable y otros para garantizar el cierre de ciclos de materiales, agua y energía o para compartir servicios, infraestructura, logística o conocimiento.



La aplicación de los principios de la ECS a la electromovilidad y energía renovable puede generar preocupación entre los países que actualmente dependen macroeconómicamente de la extracción de metales y minerales para subministrar, a base de las proyecciones, la alta demanda futura para baterías Li-ion y otros componentes para vehículos eléctricos y tecnologías de energía renovables. Especialmente por la oportunidad económica que representa para países mineros exportadores de metales y minerales en ALC, pero se deben reconocer los impactos ambientales que genera el sector minero durante la extracción y explotación de estos recursos que contamina los ríos, suelos y cadenas de alimentación de y para las comunidades y ciudadanos de la región.

De otro lado, la continuación de exportar metales y minerales hacia regiones como China para ser convertidos en componentes de vehículos eléctricos o de tecnologías de energía renovable, como baterías Li-ion y paneles fotovoltaicos, para luego ser importados y vendidos a un costo mayor a la región ALC no tiene sentido a nivel macroeconómico. Esto genera una dependencia estructural a una sola economía, que hace que la región de ALC esté siempre sujeta a aspectos geopolíticos y de riesgos de volatilidad de precios. Si bien es cierto que los precios de litio, cobalto, y cobre han multiplicado en los últimos años y esto podría representar un beneficio para la región, se debe tener en cuenta que la mayoría de las empresas mineras alrededor del mundo, inclusive las más grandes en ALC son propiedad de empresas chinas. Por lo tanto, es cuestionable el nivel de retención económica de estas actividades en ALC.

Otro aspecto importante relacionado, es que la importación e instalación de más paneles fotovoltaicos y la penetración de más vehículos eléctricos al parque vehicular de la región, no contempla ni anticipa la falta de capacidad actual regional de manejar responsablemente los residuos o de poder revalorizar estos productos y tecnologías después de su ciclo de vida. Por lo tanto, son componentes que se convierten en desperdicio y que se acumulan en la región impactando otros servicios ecosistémicos como acceso a un aire limpio, agua potable, alimentos orgánicos, entre otros, para el bienestar de los ciudadanos de la región.

5 Cooperación Regional e Internacional hacia la movilidad eléctrica sostenible

Para poder impulsar el proceso de transición hacia la electromovilidad compatible con una economía circular sostenible se explora la disponibilidad de iniciativas, proyectos y financiamiento disponibles con énfasis en electromovilidad y las energías renovables.

A base de lo anterior se proponen acciones que la región debe tomar en cuenta, identificando requerimientos de capacidades humanas, institucionales y nuevos estándares para implementar la ECS en ALC en el sector de la electromovilidad y las tecnologías renovables.

Se reconoce la existencia de programas de organismos de cooperación internacional como el IFC, BID, CAF, KfW, USAID y la SECO enmarcados en líneas de trabajo de medio ambiente, cambio climático y promoción del uso de energías limpias y alternativas, que proporcionan asistencia técnica, diagnósticos y permiten generar casos pilotos en la industria. Este tipo de programas están limitados por un presupuesto, objeto, alcance y periodos de tiempo determinados por el organismo internacional lo que se hace necesario analizar si este tipo de fondos verdaderamente pueden considerarse como mecanismos robustos de financiamiento para proyectos de ECS en los sectores de electromovilidad y energía renovable.

Se destaca también la **Coalición de Economía Circular** de la región liderada por Colombia, Costa Rica, República Dominicana y Perú y sus ocho socios estratégicos: el Centro y Red de Tecnología del Clima (CTCN), la Fundación Ellen MacArthur, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Fundación Konrad Adenauer (KAS), la Plataforma para Acelerar la Economía Circular (PACE), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Foro Económico Mundial (WEF) y el PNUMA.

A base de un análisis de identificación de actividades, proyectos y financiamiento para la economía circular implementada o en progreso en la región respecto a la electromovilidad, se concluye que la gran mayoría de proyectos e iniciativas denominados bajo “economía circular”, se enfocan principalmente en intervenciones con un enfoque en *eficiencia de los recursos* (“resource-efficiency”) y reducción de impactos ambientales (generalmente enfocados en *desperdicios* de diferentes industrias) por lo que obedecen a proyectos de una economía lineal, presentando soluciones que se deben categorizar como soluciones convencionales de gestión de residuos.

El enfoque aún en economía lineal, para clasificar proyectos de “economía circular”, tiene su origen en publicaciones de la región (autores que representan gobiernos y/o organizaciones multilaterales como PNUMA, ONUDI, incluso CEPAL) basadas en las definiciones creadas por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) o la Unión Europea (UE) sin cuestionar si realmente el enfoque en eficiencia de los recursos aporta a realizar una economía circular sostenible.

La OCDE por ejemplo interrelaciona la Economía Circular directamente con su programa de Eficiencia de los Recursos, titulado “RE-CIRCLE: eficiencia de recursos y economía circular” en



la cual el objetivo de este programa es descrito de esta manera: “En el último siglo hemos visto un aumento sin precedentes en el uso de recursos naturales y materiales. El uso mundial de materias primas aumentó casi al doble de la tasa de crecimiento de la población. La OCDE encuentra que el *uso eficiente de los recursos* y promover la transición a una economía circular puede ayudar no solo a la seguridad material, sino también a mejorar los resultados ambientales y económicos.” (OECD, 2021).

La Unión Europea por su lado interpreta la economía circular como un objetivo de “realizar una *economía eficiente en recursos* y baja en carbono” (Comisión Europea, 2015).

Aunque la ONU Ambiente no explícitamente menciona que su programa de eficiencia de uso de recursos esté vinculado con la economía circular, pero utiliza una terminología más amplia como la economía verde (UN Environment, 2021), en práctica sostiene y lidera proyectos relacionados al tema de la economía circular con un punto de salida desde *la eficiencia de los recursos*, como se evidencia en múltiples publicaciones, como las siguientes:

Un informe titulado “Financiamiento de la Circularidad: desmitificar las finanzas para la economía circular” presentado por la ONU Ambiente, concluye que “La transición a economías circulares que *utilizan los recursos de manera más eficiente* al tiempo que minimizan la contaminación, los desechos y las emisiones de carbono podría generar billones de dólares en oportunidades comerciales al tiempo que se protege la salud de nuestros ecosistemas” (UN Environment, 2020).

O el apoyo al programa del Sello Ambiental Colombiano, lanzado en 2005, antes de la introducción formal del concepto de la Economía Circular, donde el Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible actual, su excelencia Carlos Eduardo Correa, explícitamente hace referencia al *manejo eficiente de los recursos naturales*. (UN Environment, 2021).

El mensaje clave es que aunque se utilizan las mismas terminologías o “palabras”, se les interpreta diferente condicionado por una mentalidad y una comprensión profundamente diferentes.

La doctrina de la Eficiencia de Recursos (Resource-efficiency)

La doctrina de la eficiencia de recursos fue lanzada en los años 70, que busca hacer más con menos recursos y en esencia no cuestiona en ningún momento la configuración y calidad de la economía global lineal, que desde la revolución industrial estructuralmente se evoluciona a escala global de seguir hacer posible “extraer-fabricar-desechar”, a base de un concepto de crecimiento continuo e ilimitado.

Hoy en día queda claro para la mayoría de los seres humanos, que continuar con esta configuración económica global no es sostenible porque, aunque se hacen las cosas *más eficientes* esto no limitara al largo plazo llegar a los límites de capacidad regenerativos planetarios (o capacidad de carga). Ya tenemos que aceptar que hay una necesidad de un nuevo paradigma donde por intencionalmente replicar procesos cíclicos que ocurren en la naturaleza, diseñando según estas reglas de la naturaleza, recirculando materiales y substancias saludables en la economía y sociedad se podrá contribuir a crear capital natural y convertirnos en seres que



aportan a la regeneración de los ecosistemas y servicios ofrecidos por nuestro ecosistema planetario.

Esta falta de entendimiento y reconocimiento genera una preocupación y alerta a la necesidad urgente de informar, educar y crear conciencia de que realmente se trata la economía circular sostenible, para prevenir que esta nueva disciplina, aun en vía de desarrollo, no termine perdiendo su integridad, relevancia y valor como un medio de cambio de paradigma económica global. Pues la necesidad de repensar y reconfigurar el sistema operativo del ser humano en el planeta tierra, que es la economía como parte de la sociedad y a su turno dependiente del ecosistema planetario para su sobrevivencia.

6 El rol de la CEPAL en facilitar la transición hacia la electromovilidad compatible con una economía circular sostenible en ALC

De acuerdo con las áreas de intervención que merecen atención para la transición hacia una economía circular sostenible, la CEPAL puede convertirse en el dinamizador de dinámicas necesarias en la región para facilitar en primera instancia un análisis de las oportunidades circulares regionales para los sectores de electromovilidad y energía renovable, y en segunda instancia estrategias y actividades de implementación de la ECS en los sectores.

Para liderar el análisis de las oportunidades circulares regionales para los sectores de electromovilidad y energía renovable, la CEPAL puede apoyarse de las plataformas ya construidas en la región como el *Foro de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenibles*, que ha congregado a representantes de gobiernos, instituciones internacionales, sector privado, academia y sociedad civil durante los últimos cuatro años, el *Foro Latinoamericano de Economía Circular*⁶ (fEC) lanzado en el 2017 y para un alcance mayor incluyendo Norte América, el *Foro de Economía Circular de las Américas*⁷ (CEFA, por sus siglas en inglés) lanzado en 2017, que es la reunión más destacada del continente Americano de individuos, empresas, ONGs, instituciones académicas y gobiernos afines a la Economía Circular Sostenible para discutir las necesidades, desafíos y oportunidades para promover y hacer la transición hacia una Economía Circular Sostenible (ECS) en las Américas posible.

Es importante determinar el estado actual de la región de sus flujos de materiales, energía, agua y aspectos sociales de los sectores de electromovilidad y energía renovable para definir nuevos estándares circulares que faciliten la creación el incremento de rutas circulares sus efectos externos positivos que pueden llegar a impactar positivamente en el medio ambiente y en la sociedad civil al incrementar la circularidad de productos y materiales.

Teniendo en cuenta las tendencias en el sector, explicadas anteriormente, la CEPAL puede ayudar a coordinar los esfuerzos de los países para capacitar e identificar habilidades que permitan una buena gestión de la materia prima en la región, así como de los componentes y procesos necesarios para llegar a alcanzar impactos económicos, ambientales y sociales positivos en el sector anticipando cambios de mercados y nuevas tendencias tecnológicas.

⁵ Ver: <https://foroalc2030.cepal.org/2021/es>

⁶ Ver: <https://foroeconomiacircular.com/>

⁷ Ver: <https://www.circulareconomyamericas.com/>

7 Bibliografía

Bloomberg New Energy Finance, 2021. BloombergNEF: Bloomberg Finance L.P. Recuperado de <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

Bloomberg New Energy Finance, 2012. Research Paper Shines Light on Competitiveness of Solar PV Power. Ppress release London: 16 May 2012.

Bor, A., Hansen, K., Goedkoop, M., Riviére, A., Alvarado, C., Wittenboer, W. (2011). Position paper: Usability of Life cycle Assessment for Cradle to Cradle purposes. NL Agency

CEPAL, 2020. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el nuevo contexto mundial y regional: escenarios y proyecciones en la presente crisis. LC/PUB.2020/5, 71–86.
<https://doi.org/10.2307/j.ctv153k4pm.7>

Coalición de Economía Circular, 2021. Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible. Coalición de Economía Circular: América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://www.coalicioneeconomiacircular.org/agenda/>

Comisión Europea, 2020. EU Circular Economy Action Plan. Recuperado de <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy>

Contreras-Lisperguer, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & de la Casa, J., 2021. A set of principles for applying Circular Economy to the PV industry: Modeling a closed-loop material cycle system for crystalline photovoltaic panels. Sustainable Production and Consumption, 28, 164–179.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.033>

Global Wind Energy Council, 2021. Global Wind Report: 2021. Brussels, p. 16.

Gobierno de Colombia, 2019. Estrategia Nacional de Economía Circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio Industria y Turismo., Coord.: Saer, Alex José ; González, Lucy Esperanza. Bogotá D.C.: Colombia. Presidencia de la República.

IDB, 2014. Study on the Development of the Renewable Energy Market in Latin America and the Caribbean. Washington D.C., USA, 79 pp.

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones, 2020. Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020-2030. San José, C.R. MICITT.

Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca; GIZ, 2021. Libro Blanco de economía circular de Ecuador. Centro de Innovación y Economía Circular. Quito, Ecuador.

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Hoja de Ruta Para un Chile Circular al 2040. Ministerio Del Medio Ambiente.



PNUMA, 2020. Movilidad eléctrica: Avances en América Latina y el Caribe. P. 96

Senado de la República, 2019. Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México. Ciudad de México. México.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2017. Sustainable Development Goal 7: Ensure Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy for All, UN DESA, New York, NY.

Recuperado de <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>.

WBCSD. (2019). Vision 2050: The New Agenda for Business. Recuperado de <https://www.wbcsd.org/Overview/About-us/Vision2050/Resources/Vision-2050-The-new-agenda-for-business>

World Economic Forum (WEF). (2019). Global Competitiveness Report. Recuperado de <https://es.weforum.org/reports>