

**Prácticas internacionales en movilidad eléctrica y gestión de baterías: aprendizajes para
la planificación del transporte público sostenible en Bogotá**

Elaborado por:

Luz Myriam Camacho Molano

Luisa Fernanda Muriel Camelo

Jeison Enrique Orduz Avilez

Fabio Ernesto Duitama Urrego

Diana Carolina Angarita Dueñas

Especialización Gerencia de Proyectos

Universidad EAN

Bogotá

03/11/2025

Tabla de Contenido

Resumen	5
Problema de Investigación	5
Antecedentes del problema	7
Políticas y Compromisos Internacionales	7
Marco Normativo Colombiano para la Transición Energética en Transporte	8
Conexión entre las Políticas Internacionales y el Marco Nacional	9
Justificación de la Adopción de la Transición Energética	9
Descripción del problema	10
Pregunta de investigación	12
Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos.....	12
Justificación	13
Marco Teórico	14
Visión Oriental referente China.....	15
Visión Internacional Comunidad Europea	17
Visión Norte América referente California.....	19
Visión Sur América referente Brasil	21
Revisión marco colombiano hacia la transición energética	26
Marco Institucional	29
Información General	29
Sector Económico Según CIU	29
Nichos de Mercado y Principales Productos/Procesos.....	30
Estructura Organizacional	30
Procesos Claves Relacionados al Estudio.....	31
Metodología	32
Enfoque de Investigación	32
Alcance de la Investigación	32
Diseño de la investigación	32
Definición de Variables	33
Población y Muestra	35
Selección de métodos o instrumentos para recolección de información	35
Revisión documental y bibliográfica	35
Entrevistas semiestructuradas	35
Técnicas de análisis de datos	36
Buenas practicas.....	39

Informe de resultados de la encuesta: Movilidad eléctrica y gestión sostenible de baterías en Bogotá	44
Metodología	44
Resultados cuantitativos	44
Hallazgos principales.....	45
Recomendaciones	45
Conclusiones	46
Referencias.....	48
Anexos	51
Anexo I. Guía de entrevista semi estructurada	51

Lista de Tablas

Tabla 1. Resumen de marcos regulatorios de la disposición de baterías eléctricas en China, Unión Europea, California y Brasil	24
Tabla 2. Definición de variables, dimensiones, definición conceptual y definición operacional.	34
Tabla 3. Técnicas de análisis y sus respectivos objetivos, variables, fuentes de datos y productos	38
Tabla 4. Comparación de buenas prácticas internacionales	41
Tabla 5. Indicadores claves de desempeño	43

Resumen

La transición hacia la movilidad eléctrica en Bogotá busca reducir emisiones del transporte, pero plantea el desafío de gestionar las baterías de buses eléctricos al final de su vida útil. Este estudio tiene como objetivo identificar mejores prácticas internacionales para adaptarlas al contexto local, fortaleciendo la planificación del transporte público sostenible. Se fundamenta en marcos como el Acuerdo de París, los ODS, normativas europeas y experiencias en China, California y Brasil, aportando un enfoque integral de economía circular.

Palabras clave: movilidad sostenible, baterías de litio, economía circular, transporte público, gestión ambiental, cambio climático.

Problema de Investigación

En la actualidad, el cuidado del medio ambiente se ha convertido en una de las prioridades más urgentes para la sociedad. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la creciente contaminación del aire, el agua y el suelo han llevado a gobiernos y organizaciones a buscar soluciones más sostenibles con el entorno (Rodríguez-Peña, 2025). Esta preocupación ambiental ha impulsado la creación de políticas públicas, tecnologías limpias y alternativas energéticas que buscan minimizar el impacto negativo de las actividades humanas sobre el planeta.

En el contexto urbano, una de las principales fuentes de contaminación es el sector del transporte. En ciudades densamente pobladas como Bogotá, el problema se agrava debido al elevado número de vehículos que circulan diariamente. Automóviles particulares, motocicletas, buses de servicio público y camiones de carga contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica. Estos vehículos, en su mayoría impulsados por combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, emiten una gran variedad de gases contaminantes que deterioran la calidad del aire. Entre los principales contaminantes emitidos se encuentran el dióxido de azufre (SO₂),

el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos no quemados y el material particulado (PM) (Universidad Nacional de Colombia, 2011).

Como posible solución a la creciente problemática de la contaminación en la ciudad, en los últimos años se han venido implementando estrategias orientadas a reducir las emisiones provenientes del transporte, siendo una de las más destacadas la incorporación de vehículos eléctricos (Observatorio de Movilidad de Bogotá, 2024). En el caso de Bogotá, esta transición ha comenzado a evidenciarse especialmente en el sistema de transporte público, como Transmilenio, con la integración progresiva de buses eléctricos que funcionan con baterías de litio.

Estos vehículos representan una alternativa más limpia frente a los tradicionales automotores que funcionan con combustibles fósiles. Su principal ventaja radica en la drástica reducción de emisiones contaminantes, ya que no liberan gases como CO₂, CO, NOx ni material particulado durante su operación (TransMilenio, 2023). Además, los motores eléctricos generan menos ruido, lo que también contribuye a una mejora en la calidad del entorno urbano. Sin embargo, aunque esta tecnología es una mejora significativa en términos de emisiones, no está exenta de desafíos ambientales. De acuerdo con la Alcaldía de Bogotá, estas baterías poseen una vida útil estimada de 15 años, equivalentes a más de 6.000 ciclos de carga, lo que garantiza su funcionamiento a lo largo de la operación de los vehículos en Transmilenio y el SITP (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017) y es allí donde una vez que estas baterías llegan al final de su ciclo de vida, surge una nueva preocupación: su adecuada disposición final o reciclaje.

El incorrecto manejo de estas baterías puede generar serios impactos ambientales, ya que contienen materiales tóxicos y metales pesados que, de no ser tratados adecuadamente, pueden contaminar el suelo y las fuentes de agua, además de representar riesgos para la salud humana. Por esta razón, es fundamental que el avance hacia una movilidad eléctrica venga acompañado de una estrategia integral de gestión de residuos tecnológicos, que contemple procesos eficientes de reciclaje, reutilización y disposición final segura de las baterías.

Antecedentes del problema

La transición hacia energías limpias en el transporte constituye uno de los puntos fundamentales para la mitigación del cambio climático y la construcción de ciudades más sostenibles. A nivel global, organismos como el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2021) han advertido que, sin reducciones inmediatas de emisiones en todos los sectores, limitar el calentamiento global a 1,5 °C será inalcanzable (IPCC, 2022). Dentro de este escenario, el sector transporte, responsable de una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), adquiere un papel estratégico.

Colombia ha asumido compromisos internacionales como el Acuerdo de París (AP), aprobado mediante la Ley 1844 de 2017, que exigen la reducción de emisiones y la promoción de energías limpias. Este compromiso internacional se ha venido construyendo en políticas nacionales como la Ley 1931 de 2018, que establece directrices para la gestión del cambio climático, y planes sectoriales como el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero Energético 2050 (PIGCCME, 2021), orientado a alcanzar la carbono neutralidad (OCDE, 2011).

En este contexto, es preciso analizar cómo las políticas, acuerdos y marcos internacionales se articulan con las leyes, decretos y planes nacionales, y por qué esta conexión justifica la urgente adopción de una transición energética en el transporte.

Políticas y Compromisos Internacionales

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) de 1992 y el Acuerdo de París (2015) constituyen los principales compromisos internacionales asumidos por Colombia para estabilizar las concentraciones de GEI a niveles que eviten impactos profundos sobre el sistema climático (CMNUCC, 1992); (Ley 1844, 2017).

Asimismo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas proporcionan un marco integral. El ODS 7 promueve el acceso a energía asequible y limpia, y el ODS 11 por ciudades y comunidades sostenibles. Estos objetivos se traducen, en materia de transporte, en la electrificación de flotas, el desarrollo de redes de recarga

alimentadas por energías renovables y la promoción de modos de transporte no contaminantes (ONU).

En el plano económico y de desarrollo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) destaca que las políticas de energías limpias no solo benefician al medio ambiente, sino que también estimulan la innovación industrial, la creación de empleos y la competitividad (OCDE, 2011). Este marco internacional define metas ambiciosas que exigen, a nivel nacional, la adopción de medidas regulatorias, tecnológicas y financieras para transformar el sistema de transporte, incluido el público.

Marco Normativo Colombiano para la Transición Energética en Transporte

Colombia cuenta con un conjunto amplio de leyes, decretos y resoluciones que permiten materializar estos compromisos internacionales:

- Ley 1931 de 2018: Establece directrices para la gestión del cambio climático, integrando la mitigación y adaptación en políticas y planes sectoriales, incluyendo transporte (Ley 1931, 2018).
- Ley 1083 de 2006: Obliga a municipios y distritos a formular planes de movilidad sostenible priorizando transporte limpio, zonas de bajas emisiones y modos no motorizados (Ley 1083, 2006).
- Resolución 910 de 2008: Regula los niveles permisibles de emisiones para fuentes móviles terrestres (Res 910, 2008)
- PIGCCME 2050: Define la hoja de ruta para el carbono neutro, incluyendo la electrificación del transporte y el uso de hidrógeno verde (PIGCCME, 2021).
- Ley 1955 de 2019 (Ley 1955, 2019): Establece un pacto por el transporte y la logística, con enfoque en sostenibilidad.
- Decreto 1564 de 2017 y normatividad tributaria (Decreto1564, 2017): Otorgan beneficios fiscales para la adquisición e implementación de proyectos de energías

limpias y eficiencia energética, incluyendo exclusiones de IVA para recarga de vehículos eléctricos con energía proveniente de fuentes no convencionales.

Este paquete normativo busca garantizar que la transición energética no sea solo un objetivo aspiracional, sino una política pública implementable y financiable.

Conexión entre las Políticas Internacionales y el Marco Nacional

La articulación entre compromisos internacionales y políticas nacionales se refleja en tres ejes principales:

- **Descarbonización alineada con metas globales:** El Acuerdo de París y el ODS 13 impulsan la acción climática. En Colombia, esto se traduce en planes como el PIGCCME 2050, que proyecta la sustitución de combustibles fósiles por electricidad renovable y otras energías de bajas emisiones.
- **Transformación urbana y movilidad sostenible:** El ODS 11 (United Nations, s.f.) promueve ciudades limpias y resilientes. En el plano nacional, la Ley 1083 de 2006 (Ley 1083, 2006) y referente de Bogotá el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) integran la movilidad eléctrica, el transporte público limpio y la infraestructura para modos sostenibles.
- **Beneficios económicos y sociales:** De acuerdo con informes de la OCDE (2021) y la ONU (2020), la transición energética se reconoce como motor de innovación, competitividad y generación de empleo verde. En Colombia, incentivos fiscales y fondos como FENOGE y FONENERGÍA permiten materializar estos beneficios.

Justificación de la Adopción de la Transición Energética

Adoptar este cambio no es solo cumplir con compromisos internacionales, sino responder a razones estratégicas:

1. **Salud pública:** La electrificación del transporte reduce contaminantes como PM y NOX.
2. **Cumplimiento climático:** La reducción de emisiones en transporte es indispensable para alcanzar el carbono neutro en 2050.

3. Competitividad económica: La innovación en movilidad limpia abre oportunidades para la industria local, el desarrollo de tecnologías y la de atracción inversión extranjera.
4. Resiliencia urbana: Ciudades menos contaminadas son más habitables, atractivas y adaptables a crisis ambientales.
5. Seguridad energética: La diversificación de la matriz energética disminuye la dependencia de combustibles fósiles.

La transición energética en el transporte colombiano es una ruta que combina obligaciones internacionales, marcos normativos nacionales y beneficios sociales, económicos y ambientales. La conexión entre las políticas globales y la legislación nacional hace parte de una estrategia para alinear al país con la economía baja en carbono, mejorar la calidad de vida urbana y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

La implementación de la transición hacia un modelo de transporte sostenible exige coordinación intersectorial, inversiones en infraestructura, incentivos fiscales y la integración de la movilidad sostenible en la planificación urbana. Estos elementos son fundamentales para asegurar que el país pueda cumplir con sus compromisos internacionales, proteger la salud de sus ciudadanos y fortalecer su competitividad en la economía global (Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica – ENME, 2019).

Descripción del problema

La creciente adopción de flotas de buses eléctricos en Bogotá, como parte de las políticas de movilidad sostenible, plantea un desafío ambiental y técnico significativo relacionado con la gestión del ciclo de vida de las baterías de iones de litio. Estas baterías poseen una vida útil limitada y contienen materiales críticos como litio, níquel, cobalto y cobre, cuyo manejo inadecuado puede generar impactos ecológicos severos, entre ellos contaminación de suelos y aguas (International Energy Agency IEA, 2022).

En Colombia, la Ley 1672 de 2013 y el Decreto 284 de 2018 establecen lineamientos para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), incluyendo baterías.

Dicho marco normativo asigna responsabilidades a fabricantes, importadores y operadores, prohibiendo explícitamente la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013). Sin embargo, el sector enfrenta retos en la implementación efectiva de sistemas de trazabilidad, recolección y reciclaje ambientalmente adecuados de baterías a gran escala, lo que aumenta el riesgo de una disposición final inadecuada.

En el caso de Bogotá, los operadores vinculados al sistema de transporte público deben cumplir con cláusulas contractuales de gestión ambiental, supervisadas por autoridades competentes. No obstante, La infraestructura nacional para la recolección, el almacenamiento seguro, la trazabilidad y el reciclaje especializado de baterías de buses eléctricos aún se encuentra en fase de desarrollo, lo que plantea un desafío clave para garantizar la sostenibilidad del sistema de movilidad eléctrica y el cumplimiento de estándares internacionales (Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica – ENME, 2019). Además, Colombia carece de un marco regulatorio específico que aborde de manera integral los aspectos técnicos, ambientales y de economía circular asociados al reciclaje y reutilización de baterías de gran capacidad [22].

Esta situación dificulta el aprovechamiento de materiales y limita la implementación de modelos de economía circular, generando preocupación por los potenciales impactos ambientales y por la falta de lineamientos claros que promuevan la reutilización en aplicaciones de segunda vida, como el almacenamiento estacionario de energía (International Energy Agency IEA, 2022).

En resumen, el problema actual radica en la ausencia de un sistema para garantizar el manejo ambientalmente responsable y tecnológicamente adecuado de las baterías de buses eléctricos en Bogotá. Esto implica la necesidad de fortalecer la regulación, desarrollar infraestructura especializada, implementar mecanismos de trazabilidad y adoptar mejores prácticas

internacionales que minimicen los impactos ambientales y maximicen el aprovechamiento de recursos.

Pregunta de investigación

¿Cómo pueden las prácticas de ciudades líderes en movilidad eléctrica y en la gestión de disposición final de baterías de buses eléctricos ser adaptadas a Bogotá para fortalecer la planificación y ejecución de proyectos de transporte público sostenible?

Objetivos

Objetivo general

Identificar las mejores prácticas de ciudades líderes en movilidad eléctrica y en la gestión de disposición final de baterías de buses eléctricos que puedan ser adaptadas a Bogotá para fortalecer la planificación y ejecución de proyectos de transporte público sostenible.

Objetivos específicos

1. Revisar el marco normativo y las políticas vigentes en Bogotá y Colombia relacionadas con la disposición final de baterías de buses eléctricos, identificando vacíos y oportunidades de mejora frente a referentes internacionales.
2. Analizar experiencias y prácticas destacadas en movilidad eléctrica y gestión de disposición final de baterías implementadas en ciudades líderes a nivel internacional, con el fin de identificar aprendizajes aplicables al contexto bogotano.
3. Examinar las tecnologías y procesos disponibles en Colombia para la disposición y gestión de baterías de buses eléctricos, evaluando su pertinencia y nivel de desarrollo frente a las tendencias globales.
4. Explorar la percepción y nivel de conocimiento de actores clave (operadores de transporte, autoridades públicas y empresas de gestión de residuos) respecto a la disposición final de baterías y su papel en la sostenibilidad del transporte público.

5. Formular recomendaciones preliminares, fundamentadas en criterios técnicos, ambientales y sociales, para fortalecer la planificación y ejecución de proyectos de transporte público sostenible en Bogotá.

Justificación

La investigación propuesta resulta pertinente y necesaria en el marco de la transición hacia un transporte público sostenible en Bogotá, dado que la incorporación de buses eléctricos no puede evaluarse de forma aislada, sino considerando de manera integral la gestión de las baterías que los alimentan. Estas, si bien representan una oportunidad de innovación tecnológica y de reducción de emisiones, también implican riesgos ambientales y sociales si no se gestionan adecuadamente (Onat & Kucukvar, 2022).

Por un lado, desde la perspectiva ambiental, los buses eléctricos contribuyen a la disminución significativa de contaminantes atmosféricos como material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de carbono (CO₂). No obstante, la disposición inadecuada de baterías de ion de litio puede generar impactos severos por la liberación de metales pesados y compuestos tóxicos. Estudios recientes evidencian que el reciclaje eficiente de estas baterías puede reducir hasta en un 6,62 % las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir el consumo energético en un 8,55 % (Han et al., 2017). De esta manera, el objeto de esta investigación levanta la mano para que la movilidad eléctrica no traslade el problema ambiental a otra etapa de la cadena de valor, sino que se inscriba dentro de un modelo de economía circular.

Además, siguiendo los principios de la eco-movilidad, que prioriza el transporte público, modos activos y opciones inclusivas, reduciendo la dependencia de vehículos particulares (ICLEI - Sustainable Mobility, 2024), es esencial identificar prácticas de ciudades líderes para fortalecer la planificación, ejecución y control de estos proyectos en Bogotá.

Por otro lado, se proyecta que el mercado global del reciclaje de baterías de litio superará los 23,72 mil millones de dólares en 2030 (Natarajan & Vanchiappan, 2018). Este potencial abre

oportunidades para la reducción de costos asociados a la importación de materias primas críticas como litio, níquel y cobalto, al tiempo que fomenta el desarrollo de industrias locales, empleos verdes y atracción de inversión extranjera.

Por último, la investigación se alinea con compromisos internacionales y marcos regulatorios nacionales. Colombia, como signataria del Acuerdo de París y promotora de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), debe avanzar en políticas concretas que integren mitigación del cambio climático y movilidad sostenible (Naciones Unidas, 2015). Analizar las mejores prácticas internacionales permitirá identificar vacíos regulatorios en el ámbito local y orientar la consolidación de un sistema de gestión robusto y eficaz.

Finalmente, es importante mencionar que esta investigación realizada en el marco de la Especialización en Gerencia de Proyectos de la Universidad EAN corresponde al Campo de investigación: Ciencia, tecnología e innovación, del Grupo de investigación: Gestión Ambiental, y a su vez de la Línea de investigación: Ciencia, tecnología e innovación.

Marco Teórico

La revisión de la literatura sobre gestión sostenible de baterías se inserta en un marco global en el que convergen leyes, reglamentos, decretos y estrategias orientadas a la transición energética y a la consolidación de modelos de movilidad más sostenibles. Este análisis se articula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente con el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), que plantean la necesidad de promover energías renovables, eficiencia energética y sistemas urbanos resilientes (Naciones Unidas, 2015)

En este contexto, resulta imprescindible examinar las prácticas regulatorias y los marcos normativos que han sido adoptados a nivel internacional, con especial énfasis en China, la Unión Europea, la cual ha consolidado un sistema robusto de gobernanza en torno a las baterías.

Instrumentos como la Directiva 2006/66/CE (Parlamento Europeo y Consejo, Directiva 2006/66/CE, 2006) y, más recientemente, el Reglamento (UE) 2023/1542 (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023) , constituyen bases en la regulación ambiental y estratégica, al establecer requisitos vinculados con el ciclo de vida completo de las baterías, desde su diseño y fabricación hasta su recolección, reutilización y reciclaje (Parlamento Europeo y Consejo, 2006; 2023). Estas disposiciones no solo buscan mitigar los impactos ambientales y sanitarios asociados al uso y disposición de baterías, sino también fortalecer la competitividad del mercado y garantizar cadenas de valor más sostenibles.

Posteriormente, el análisis se desplaza hacia el panorama de Norte América y Sur América, donde la regulación en torno a las baterías y la movilidad eléctrica se encuentra en una fase incipiente, con avances normativos diversos. Países como Brasil han comenzado a definir lineamientos para la gestión posconsumo de baterías de vehículos eléctricos, mientras que Colombia ha impulsado estrategias alineadas con su Política Nacional de Movilidad Sostenible y los compromisos del Plan Nacional de Desarrollo, en los que se plantea la electrificación progresiva del transporte público como una prioridad estratégica (MinTransporte, 2019)

Finalmente, este acercamiento a la realidad normativa y estratégica permite construir un marco de referencia integral que conecta experiencias globales, regionales y locales. Tal perspectiva posibilita enriquecer el debate académico y técnico sobre la transición hacia el uso de baterías eléctricas en buses de servicio público, un sector clave en la reducción de emisiones urbanas y en la construcción de ciudades más limpias, habitables y resilientes. De esta manera, el documento busca ofrecer insumos que orienten la toma de decisiones, la formulación de políticas públicas y el diseño de estrategias replicables en distintos niveles de gobierno.

[Visión Oriental referente China](#)

La Ley de Promoción de la Economía Circular de China (China, 2008), vigente desde 2009, establece un marco legal que impulsa la reducción, el reciclaje, la reutilización y la recuperación de materiales y recursos a lo largo de toda la cadena productiva, incluyendo productos

tecnológicos como las baterías. Su estrategia normativa promueve el ahorro de insumos y la minimización de residuos mediante la cooperación entre el Estado y los gobiernos locales, en el marco de un sistema planificado que articula incentivos, gestión pública y participación ciudadana.

Aunque el principio de responsabilidad extendida del productor (EPR) se formula de manera general, la ley ha servido como base para normativas sectoriales específicas que obligan a los fabricantes a asumir la recuperación y trazabilidad de las baterías, incorporando además modelos digitales para su seguimiento. Este enfoque circular integra dimensiones climáticas, la extensión de la vida útil de los productos y la estandarización de los mercados, abriendo camino hacia baterías sostenibles, circulares y reguladas.

Para fortalecer la gestión sostenible de las baterías eléctricas, la estrategia regulatoria china actualiza las Condiciones Estándar para el Aprovechamiento Integral de Baterías de Energía Usadas de Vehículos de Nueva Energía (MIIT, 2024). El crecimiento acelerado de los vehículos de nueva energía (VNE) ha generado un volumen creciente de baterías en desuso que contienen materiales estratégicos como litio, cobalto y níquel, cuyo valor económico y ambiental exige procesos de recuperación más eficientes. La normativa eleva los requisitos técnicos al establecer una tasa mínima de recuperación del 90% para el litio y del 98% para el polvo de electrodo tras su separación, lo que impulsa la innovación industrial y la adopción de tecnologías de mayor rendimiento.

Asimismo, introduce disposiciones específicas sobre la segunda vida de las baterías, prohibiendo su reutilización en bicicletas eléctricas por motivos de seguridad, y amplía el alcance de la gestión al flujo de desechos. Al mismo tiempo, refuerza la trazabilidad mediante sistemas de garantía de calidad y codificación, garantizando la estandarización de los productos reciclados y fortaleciendo su reintegro en el mercado. Finalmente, exige que las empresas dedicadas al aprovechamiento integral se ubiquen en parques industriales planificados, con el objetivo de

prevenir desarrollos desordenados, favorecer la eficiencia territorial y consolidar clústeres industriales especializados.

En conjunto, estas medidas consolidan a China como un referente internacional en la transición hacia un modelo de economía circular en el sector de baterías, articulando sostenibilidad ambiental, seguridad industrial y estabilidad en la cadena de suministro vinculada a los vehículos de nueva energía.

Visión Internacional Comunidad Europea

Las baterías se han consolidado como un componente fundamental en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, desempeñando un papel estratégico en la movilidad eléctrica, el almacenamiento de energía y la consecución de la neutralidad climática global. Su creciente uso en vehículos eléctricos, medios de transporte ligeros y soluciones de respaldo energético domésticas e industriales refleja la diversidad tecnológica de este sector y carácter decisivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y en la promoción de ciudades más limpias y resilientes. El consumo acelerado ha llevado a que las baterías sean reconocidas como un mercado estratégico a nivel mundial, en el que los marcos regulatorios resultan esenciales para garantizar sostenibilidad, competitividad e innovación (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023).

La Unión Europea ha liderado este proceso con la aprobación del Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023. Este reglamento cubre todo el ciclo de vida del producto, desde el diseño y fabricación hasta la recogida, reutilización, readaptación, reciclaje y disposición final. Su enfoque integral sustituye y amplía los principios ya establecidos en la Directiva 2006/66/CE, la cual marcó un primer hito al establecer límites al contenido de metales pesados, reglas de etiquetado y obligaciones comunes para los agentes económicos, incorporando por primera vez la responsabilidad ampliada del productor (EPR), como herramienta central para la gestión ambientalmente racional de las baterías (Parlamento Europeo y Consejo, Directiva 2006/66/CE, 2006).

El principio de EPR propone que los productores asumen la responsabilidad de todo el ciclo de vida de las baterías, desde su comercialización hasta el fin de su vida útil. Bajo este esquema, los costos asociados a la recogida, reciclaje y tratamiento recaen sobre los fabricantes, lo que fomenta el ecodiseño, incentiva la innovación tecnológica y promueve la fabricación de baterías más seguras y sostenibles. De esta forma, la normativa genera un círculo virtuoso en el que la sostenibilidad no se limita al fin de vida de las baterías, sino que trascienda a su concepción y producción inicial (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023)

La gestión de sustancias químicas peligrosas constituye otro eje estratégico. El Reglamento refuerza la necesidad de limitar en origen el uso de metales y compuestos como cobalto, plomo, litio y níquel, cuya extracción implica impactos socio ambientales significativos y cuya toxicidad representa un riesgo para la salud humana y el ambiente. Para este fin, se articula con los Reglamentos REACH (Parlamento Europeo y del Consejo, Reglamento (CE) n.º 1907/2006, 2006) y CLP (Parlamento Europeo y del Consejo, Reglamento (CE) n.º 1272/2008, 2008) considerados pilares de la política europea de sustancias químicas, que buscan restringir progresivamente los compuestos más peligrosos, facilitar el reciclaje y asegurar cadenas de valor más limpias (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023).

En línea con los compromisos internacionales de descarbonización, la normativa introduce la obligación de reportar la huella de carbono de las baterías industriales de más de 2 kWh, las de medios de transporte ligeros (LMT) y las de vehículos eléctricos. La implementación será progresiva y se estructura en tres fases: i) transparencia inicial mediante declaraciones de huella de carbono, ii) introducción de clases de rendimiento en función de valores verificados y iii) establecimiento de umbrales máximos de carbono. Este mecanismo busca orientar al mercado hacia baterías con menor impacto climático, garantizar comparabilidad entre productos y reforzar la competitividad de los fabricantes que apuesten por procesos productivos más limpios (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023).

Un elemento transversal es la segunda vida de las baterías. Tras su primera comercialización, estas pueden ser objeto de reutilización, readaptación, refabricación o preparación para una nueva vida útil. El Reglamento establece que, en todos los casos en los que estas operaciones impliquen su reintroducción en el mercado, las baterías deben cumplir nuevamente con los requisitos regulatorios, lo que asegura un estándar uniforme de calidad, seguridad y sostenibilidad. Complementariamente, la Directiva (UE) 2019/771 garantiza que las baterías reacondicionadas destinadas a consumidores se rijan por contratos de compraventa que protejan los derechos del usuario en términos de conformidad, reparación, sustitución y garantías (Parlamento Europeo y Consejo, Directiva (UE) 2019/771, 2019).

La recogida y el reciclaje son otros componentes medulares del Reglamento. Se fijan objetivos obligatorios de recogida para las distintas categorías de baterías, así como metas de reciclaje para materiales críticos como cobalto, litio, níquel y plomo. Adicionalmente, se establecen porcentajes mínimos de contenido reciclado en nuevas baterías, con metas a 2031 y 2036, lo cual asegura que el sector transite hacia una economía circular real, reduciendo la dependencia de importaciones de materias primas y reforzando la autonomía estratégica de la Unión Europea. La recogida diferenciada evita que las baterías terminen en vertederos o flujos de residuos peligrosos, a la vez que garantiza un aprovechamiento eficiente de materiales de alto valor (Parlamento Europeo y Consejo, Reglamento (UE) 2023/1542, 2023).

[Visión Norte América referente California](#)

La adopción progresiva de marcos regulatorios que promueven la recuperación sostenible de baterías ha impulsado una solución legal pionera en California (Assembly Bill No. 2440, 2022) Esta ley, recientemente aprobada en septiembre de 2022, se consolida en un único régimen de Responsabilidad Ampliada del Productor (EPR) que abarca prácticamente todas las baterías vendidas en el estado.

Uno de los elementos más robustos del sistema es el establecimiento de metas de reciclaje obligatorias: un 60 % para baterías recargables y un 70 % para baterías primarias, a partir del 1

de enero de 2027. Esta exigencia busca generar un mercado secundario confiable y fomentar la recuperación de materiales de alto valor, incluidos metales como litio, níquel y cobalto. Para asegurar el cumplimiento, el departamento publicará cada año una lista de productores en conformidad donde los minoristas, importadores y distribuidores solo podrán comercializar baterías si el productor correspondiente aparece en ella. Esta medida establece la obligación de verificación previa a la venta, contribuyendo a limpiar el mercado e impedir la circulación de productos no conformes.

Además del control regulatorio, el programa incorpora un esquema de fiscalización financiera. Se establece un Covered Battery Recycling Fund, al que los operadores deben aportar para cubrir los costos directos de implementación y supervisión; así como un Covered Battery Recycling Penalty Account, que recibe las multas de hasta USD 10.000 diarios o USD 50.000 si el incumplimiento es intencional con el fin para financiar programas estatales.

El modelo de California permite contar con un marco EPR articulado donde se resalta: 1. Asegurar que los productores participen activamente en la vida completa de sus productos. 2. Fijar metas cuantificables para recuperación y reciclaje; 3. Regular estrictamente quién puede vender en función de cumplimiento. 4. contribuir estructuralmente mediante fondos y penalidades y 5. Extenderse a productos electrónicos con baterías integradas mediante tarifas al consumidor final.

Lo anterior implica que, comparado con los desarrollos europeos, muestra beneficios como la protección del mercado interno, la claridad institucional y la viabilidad financiera. Adicionalmente, plantea desafíos como la necesidad de capacidad regulatoria para revisar planes, auditar reportes y calcular tasas de reciclaje. Para países como Colombia el caso de California representa un instrumento de aprendizaje técnico, político y legal.

Visión Sur América referente Brasil

La noción de responsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos, desarrollada en Brasil a través de la Política Nacional de Residuos Sólidos (Ley n.º12.305, 2010), constituye uno de los referentes más innovadores de la gobernanza ambiental en América Latina.

Este principio, definido en los artículos 30 a 36 de la legislación brasileña, establece que la gestión de los productos y sus residuos debe asumirse de manera encadenada y diferenciada por fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores y titulares de los servicios públicos de aseo urbano, en un modelo que busca integrar los intereses económicos y sociales con la protección del medio ambiente (Ley n.º12.305, 2010).

Bajo esta perspectiva, la responsabilidad compartida no se limita a un marco normativo, sino que se configura como un sistema dinámico de obligaciones que promueve la circularidad, la valorización de materiales y la minimización de impactos negativos.

En el caso de las baterías, el marco brasileño es especialmente relevante porque incluye de forma explícita a este producto dentro de los sistemas de logística inversa obligatorios (Decreto n.º 11.413, 2023). Esto implica que los fabricantes, importadores y comercializadores tienen la obligación de organizar mecanismos para recolectar las baterías usadas, asegurar su disposición final ambientalmente adecuada y garantizar su trazabilidad en todo el ciclo de retorno.

Los consumidores, por su parte, están legalmente obligados a devolver estos productos en los puntos de entrega establecidos, mientras que los municipios deben coordinar con el sector privado la implementación de sistemas de recolección selectiva y reciclaje (Decreto n.º 11.413, 2023). De esta manera, el modelo brasileño establece una red de corresponsabilidad que integra a todos los agentes en un mismo sistema de gestión.

En Brasil la prioridad ha sido consolidar un marco de corresponsabilidad que permita conectar actores públicos y privados bajo principios de justicia ambiental y cohesión social. Este marco comparte la premisa de que la cadena de valor de las baterías debe diseñarse desde el origen

para garantizar sostenibilidad, prevenir impactos y maximizar la recuperación de materiales críticos como litio, cobalto y níquel.

Un elemento distintivo del modelo brasileño es la inclusión de disposiciones específicas sobre envases y embalajes, que deben fabricarse de manera que permitan su reutilización o reciclaje, limitando peso y volumen y priorizando materiales sostenibles (Ley n.º12.305, 2010). Esta medida amplía la visión de la responsabilidad compartida al no restringirla únicamente al producto principal (la batería), sino también a los elementos asociados a su comercialización, reconociendo que la huella ambiental se extiende más allá del objeto central de consumo. Al mismo tiempo, destaca los acuerdos sectoriales como instrumentos jurídicos que permiten adaptar las obligaciones de logística inversa a realidades locales y regionales, garantizando coherencia normativa sin debilitar las medidas de protección ambiental (Ley n.º12.305, 2010)

Al conectar la experiencia brasileña con la europea, se observa que el principio de responsabilidad compartida constituye un eje transversal que orienta la transición hacia modelos de economía circular. Brasil aporta una visión que integra justicia social al priorizar la inclusión de cooperativas de recicladores en los sistemas de recolección (Ley n.º12.305, 2010), mientras que la Unión Europea introduce herramientas de trazabilidad digital como el pasaporte de baterías, diseñado para garantizar transparencia y competitividad en el mercado interior (Parlamento Europeo y Consejo, 2023). Esta convergencia de enfoques demuestra que la sostenibilidad de las baterías no puede limitarse a la dimensión tecnológica, sino que debe abarcar la dimensión social, económica y regulatoria.

En síntesis, el modelo brasileño de responsabilidad compartida constituye una referencia valiosa para países que buscan estructurar políticas públicas de gestión de baterías y residuos peligrosos. Su capacidad de integrar actores públicos y privados, de establecer obligaciones para cada eslabón de la cadena y de articular mecanismos de inclusión social, lo convierten en un marco replicable y adaptable a otras realidades nacionales. Vinculado a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 y 11, este marco normativo representa un paso hacia la

consolidación de sistemas urbanos sostenibles, resilientes y preparados para los desafíos de la transición energética.

Lo visión de varios hemisferios implica que la transición hacia un modelo energético sostenible basado en baterías no puede comprenderse de manera aislada, sino en relación con los compromisos internacionales que orientan la acción climática y el desarrollo sostenible. En este sentido, el Acuerdo de París (UN, 2015) establece un marco vinculante que compromete a los estados a mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 °C, con esfuerzos adicionales para limitarlo a 1,5 °C, siendo el uso de energías eléctricas en vehículos de servicio público, elementos clave para alcanzar estos objetivos. De manera complementaria, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible reconoce la necesidad de transformar los sistemas de energía y movilidad bajo principios de equidad y resiliencia, destacando el ODS 7 sobre energía asequible y no contaminante, y el ODS 11 sobre ciudades y comunidades sostenibles, que constituyen referencias transversales en la formulación de políticas de gestión integral de (UN A/RES/70/1, 2016).

Al concatenar los marcos regulatorios de China, la Unión Europea, California y Brasil con estas agendas globales, se consolida una ruta estratégica que no solo fortalece la sostenibilidad tecnológica y ambiental, sino que también vincula la transición energética con metas universales de justicia climática, inclusión social y desarrollo urbano resiliente, para ver el resumen consolidado ver la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de marcos regulatorios de la disposición de baterías eléctricas en China, Unión Europea, California y Brasil

Dimensión	China (MIIT, 2024)	Unión Europea (UE 2023/1542, 2023)	California (Assembly Bill No. 2440, 2022)	Brasil (Ley n.º12.305, 2010)
Alcance	Se centra en baterías de vehículos eléctricos (VE), aunque incluye otras químicas (plomo-ácido, litio). Ley de Economía Circular.	Cubre todas las categorías de baterías (portátiles, LMT, industriales, automoción y VE), a lo largo de todo el ciclo de vida.	Crea un régimen EPR para “baterías cubiertas”; consolida y amplía obligaciones previas.	Establece logística inversa obligatoria para baterías y otros productos priorizados. Define responsabilidad compartida a lo largo de la cadena productiva.
EPR / Responsabilidad del productor	Los fabricantes de VE deben establecer sistemas de recogida y trazabilidad digital.	EPR con obligaciones y requisitos de diseño, información, gestión y fin de vida.	Obligación de planes individual/colectivo, financiados por productores, con aprobación estatal.	Responsabilidad compartida entre fabricantes, importadores, distribuidores, comercio, consumidores y municipios.
Metas / reciclaje	Estándares de recuperación 90 % litio, 98 % Cu/Al/metales raros, los fabricantes están obligados a recolectar.	Tasas de recuperación de materiales o elementos como Cu, Co, Li, Ni).	Metas mínimas: 60% recargables / 70% primarias (desde 2027).	Define metas vía instrumentos de logística inversa y acuerdos, operados con certificados e indicadores
Recuperación	Exige uso de materiales secundarios certificados.	Objetivos obligatorios de contenido reciclado Co, Pb, Li, Ni porque son elementos escasos en el territorio.	No fija porcentaje de contenido reciclado en la ley, se centra en recogida/reciclaje y acceso al mercado condicionado al cumplimiento.	Promueve circularidad, el Dec. 11.413 crea instrumentos financieros para impulsar recuperación y trazabilidad.
Huella de carbono	Plataforma nacional de trazabilidad. No exige huella de carbono, aunque sí límites ambientales en reciclaje.	Declaración de huella de carbono y pasaporte digital de baterías (VE) obligatorios con transparencia para usuario y reguladores.	Sin exigencia, se centra en EPR operativo y metas.	Se logra a través de trazabilidad por logística inversa y registros.
Reutilización	Promueve reutilización en almacenamiento estacionario, pero requiere certificación CGP para productos reciclados.	Reconoce reutilización, readaptación y refabricación, para determinar cuándo una batería “se comercializa de nuevo” y cuales requisitos debe cumplir.	El énfasis legal es recogida y reciclaje seguro.	Prioriza reusó/reciclaje y valorización, municipios y sector privado articulan cadenas de retorno.
Comercialización	Solo empresas autorizadas por MIIT pueden operar reciclaje. La certificación CGP (2023) condiciona acceso al mercado de materiales reciclados.	Venta condicionada al cumplimiento de las normativas para nuevas y de segunda vida.	Lista anual de productores conformes, minoristas/distribuidores solo venden si el productor está en la lista de autorización.	Permite restricciones por acuerdos, planes locales. Prevalecen los acuerdos nacionales sobre subnacionales.
Fiscalización y sanciones	Licencias ambientales estrictas con consecuencias en cierre de plantas no conformes, restricciones a importación de residuos no limpios.	Supervisión por autoridades de mercado y ambientales.	Multas hasta US\$10.000/día o US\$50.000 si hay perjuicio.	Instrumentos de control y certificados de reciclaje, obligaciones de información a autoridades.
Rol de municipios y sector social	Menor participación comunitaria directa, aunque se promueve cooperación pública/privada en la recogida.	Coordinación con regímenes de residuos.	Implementación estatal central (CalRecycle) + red de puntos de entrega; minoristas con obligaciones.	Los municipios deben organizar recogida selectiva y priorizar cooperativas de recicladores, bajo inclusión socio ambiental.
Implementación	Ley Economía Circular (2008) - Política Técnica (2015) - Plan EPR (2016) - Medidas Interinas (2018) - CGP mark (2023) - Estándares recuperación (2024).	En vigor con fases (actos delegados / especificaciones técnicas) hasta 2027.	CalRecycle debe adoptar reglas, la operación plena tiene metas a partir de 2027.	Decreto 11.413/2023 fortalece instrumentos e indicadores para acelerar implementación.

Innovación	Sello verde de calidad para materiales reciclados, plataforma nacional de trazabilidad digital.	Pasaporte de baterías.	EPR con metas claras y verificación de mercado.	Créditos, certificados de logística inversa para incentivar la inversión privada.
------------	---	------------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia con base en la información presentada en el marco teórico

Revisión marco colombiano hacia la transición energética

Colombia ha conformado un amplio marco normativo y de política pública orientado a impulsar la transición hacia un sistema de transporte más limpio y eficiente. Este articula instrumentos normativos formales como leyes, decretos y resoluciones, documentos de política (DNP, 2018), planes estratégicos (ENME, 2018), (ENTS, 2022), mapas de ruta de la (UPME, 2020) y mecanismos de incentivos fiscales y arancelarios que, juntos, buscan la modernización del parque automotor, la electrificación y la reducción de emisiones.

Esta construcción se encuentra en armonía con los procesos adelantados a nivel internacional: la Unión Europea avanza hacia un marco integral de ciclo de vida para baterías (regulación sobre sostenibilidad, huella de carbono y pasaporte de baterías), China consolida estándares técnicos estrictos y certificación (CGP) y requisitos de recuperación, California ha puesto en práctica un EPR operativo con metas de recogida/reciclaje, Brasil enfatiza la responsabilidad compartida y la logística inversa con inclusión social. Colombia, desde su ENME y ENTS, converge con esos principios (circularidad, trazabilidad, estandarización) pero se encuentra en fase de implementación de muchos instrumentos técnicos y del fortalecimiento institucional para su ejecución efectiva.

Para lograr estos objetivos Colombia ha fomentado el desarrollo de estrategias con enfoque bajo en carbono y resilientes con el cambio climático, que habiliten la transición hacia el transporte sostenible como la obligatoriedad de que las flotas públicas y de transporte masivo integren progresivamente tecnologías limpias, así como beneficios para los usuarios en impuestos, revisión técnico-mecánica y seguros obligatorios.

A continuación, se destaca la normatividad más relevante al respecto:

Ley 1964 de 2019 “Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones” (Ley 1964, 2019); Ley 2099 de 2021 “Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones” (Ley 2099, 2021); Ley 2169 de

2021 “Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones” (Ley 2169, 2021); y la hoja de ruta del hidrógeno 2021 donde Colombia se compromete a alcanzar la carbono neutralidad en el año 2050.

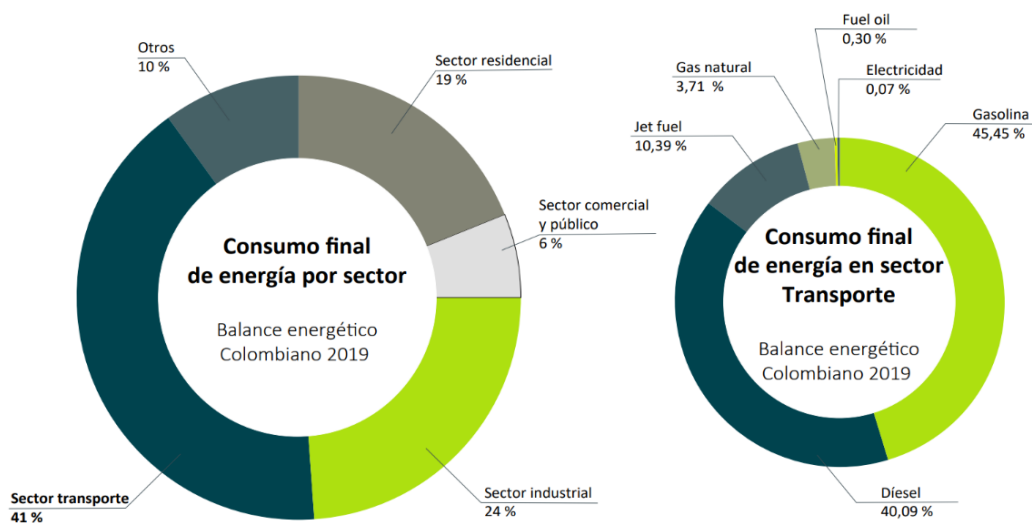
El hidrógeno de bajas emisiones y sus derivados se espera que sean una herramienta más para una descarbonización de la economía que atiende razones beneficio - costo. El hidrógeno tendrá aplicaciones en las que la electricidad no es viable o desde un punto de vista de costo, ambiental o técnico (La hoja de ruta del hidrógeno en Colombia, 2021). A través de estos, el Gobierno brinda beneficios e incentivos y establece metas con el fin de promover el transporte sostenible. Ver Figura 1.



Figura 1: Pilares de la Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia

Para los fines de este análisis, centrado en el sector transporte y en particular en el transporte público, el consumo energético nacional refleja una fuerte dependencia de los combustibles fósiles. La gasolina concentra el 45,45 % del consumo final, seguida por el diésel con el 40,09 %, el jet fuel con el 10,39 %, el gas natural con el 3,71 %, el fuel oil con el 0,30 % y la electricidad con apenas el 0,07 %. En total, el 95,9 % de la demanda energética del sector proviene de derivados del petróleo, lo que revela la escasa penetración de fuentes limpias en la movilidad del

país. Esta situación resulta especialmente preocupante debido a la incertidumbre sobre la disponibilidad futura de hidrocarburos, la alta volatilidad de sus precios en el mercado y los efectos negativos asociados a su uso, entre los que destacan las emisiones de GEI y los impactos en la calidad ambiental y la salud pública.



Fuente: Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS), Colombia 2022

De esta manera, el transporte se consolida como uno de los sectores prioritarios de mitigación, no solo por su alta participación en las emisiones nacionales, sino por el potencial de articular beneficios múltiples en calidad del aire, salud pública, competitividad y resiliencia. La transición hacia VE, sustentada en un marco regulatorio en expansión y estrategias de largo plazo, constituye una de las apuestas de Colombia para reducir emisiones de GEI y avanzar hacia un modelo energético y de movilidad sostenible, en concordancia con las mejores prácticas internacionales.

Las estrategias que ha empezado a definir Colombia fija metas, responsabilidades institucionales y plazos de implementación, hacia la descarbonización del transporte público, la introducción de estándares de eficiencia energética y etiquetado vehicular, así como la definición

de lineamientos para la disposición final de baterías y el desarrollo de esquemas de segunda vida. Tales instrumentos se articulan con los compromisos del país en la Agenda 2030 y el Acuerdo de París, que fijan metas de reducción de emisiones del 51 % para 2030 y la neutralidad climática para 2050.

Marco Institucional

El marco institucional de este estudio se centra en TransMilenio S.A., el operador del sistema de transporte masivo más grande de Bogotá, y uno de los actores clave en la transición hacia la movilidad eléctrica en la ciudad.

Información General

TransMilenio S.A. está ubicada en Bogotá, Colombia, y opera bajo la forma de empresa industrial y comercial del Estado, adscrita a la Alcaldía Mayor de Bogotá. Fue creada en el año 2000 y coordina la planeación, contratación, regulación y control del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), incluyendo la gestión de la flota de buses eléctricos, en el marco de la Secretaría Distrital de Movilidad.

Sector Económico Según CIU

El sector económico principal de TransMilenio S.A. corresponde en la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU) al código 4921 – Transporte de pasajeros, específicamente enfocado en el transporte terrestre urbano y suburbano. Además, actividades relacionadas con la operación de terminales, estaciones y vías complementarias se encuentran bajo el código 5221 – Actividades de estaciones, vías y servicios complementarios para el transporte terrestre. Las actividades de gestión de residuos de baterías y economía circular también se relacionan con el sector de Servicios Complementarios y Ambientales urbanísticos, conforme la normatividad nacional (Fonti, 2025).

Nichos de Mercado y Principales Productos/Procesos

TransMilenio atiende principalmente a:

- Usuarios de transporte público urbano en Bogotá (más de 2,5 millones diariamente).
- Proveedores y operadores de buses (empresas privadas tercerizadas).
- Empresas de energía y servicios ambientales (para la gestión y disposición final de tecnologías como baterías de buses eléctricos). (Mudu, 2021)

Sus productos y servicios abarcan:

- Operación de corredores troncales y zonales del SITP.
- Integración modal del transporte (buses, TransMiCable, bicicletas públicas).
- Implementación y gestión de flota de buses eléctricos incluyendo el seguimiento al ciclo de vida de baterías.
- Procesos de licitación, monitoreo y control de la calidad y seguridad operacional. (Mudu, 2021)

La gestión de baterías incluye procesos de:

- Adquisición y operación de flota eléctrica.
- Mantenimiento predictivo, monitoreo digital y recambio de baterías.
- Implementación de planes de disposición final y reciclaje, de conformidad con la Ley 1672 de 2013 y el Decreto 284 de 2018 sobre RAEE, así como los estándares y buenas prácticas internacionales. (ICLEI, 2023)

Estructura Organizacional

TransMilenio ha transitado de una estructura funcional a una matricial para aumentar la eficiencia y adaptarse a los nuevos retos, como la incorporación de buses eléctricos y la gestión ambiental de residuos tecnológicos. Entre las dependencias clave destacan:

- Gerencia de Operaciones.
- Gerencia Técnica (incluye equipos especialistas en tecnologías limpias y electrificación).
- Gerencia de Riesgos y Entorno (incluye gestión ambiental y social, importante en la gestión y disposición de baterías).
- Oficina Asesora de Planeación (que realiza la supervisión transversal, gestión integradora de proyectos e innovación en procesos operativos y ambientales).
- Gerencia Jurídica y de Contratación, fundamental para la integración de los requisitos ambientales y de gestión de residuos en los contratos de operación y abastecimiento. (ACOSTA, 2025)

La empresa coordina sus acciones con la Secretaría Distrital de Movilidad, la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) y el Ministerio de Ambiente para la disposición final de baterías, asegurando cumplimiento legal y trazabilidad total de los residuos generados por la flota eléctrica (Fonti, 2025).

Procesos Claves Relacionados al Estudio

El área objeto del estudio, gestión de las baterías de buses eléctricos, es transversal y abarca desde la planeación (adquisición y seguimiento a la vida útil de las baterías), la operación y mantenimiento, hasta la disposición final y su eventual aprovechamiento bajo criterios de economía circular. La integración entre áreas técnicas, ambientales, logísticas, jurídicas y financieras asegura la articulación de estos procesos con visión de sostenibilidad a largo plazo. (ICLEI, 2023)

En resumen, estudiar a TransMilenio S.A. permite identificar los retos y oportunidades de implementar mejores prácticas internacionales en la disposición final de baterías de buses eléctricos en Bogotá, eje clave para consolidar un transporte público efectivo, moderno y sostenible, alineado con los estándares ambientales y las políticas públicas locales y nacionales (Mudu, 2021).

Metodología

Enfoque de Investigación

Esta investigación se desarrollará bajo un enfoque mixto, dado que:

- **Enfoque Cualitativo:** por medio de este se permitirá analizar en profundidad las prácticas internacionales (China, Unión Europea, California, Brasil) y comprender los marcos normativos, políticos y sociales asociados a la gestión de baterías de buses eléctricos.
- **Enfoque Cuantitativo:** Debido a que se utilizarán datos de tipo estadístico y documental (por ejemplo, tasas de reciclaje, emisiones reducidas, capacidad instalada de buses eléctricos, proyecciones de mercado), además de encuestas o entrevistas estructuradas a actores clave en Bogotá (operadores de transporte, autoridades ambientales y empresas de gestión de residuos).

Alcance de la Investigación

El alcance de la investigación se concentra en un estudio no experimental, transversal y aplicado que busca describir y analizar las mejores prácticas internacionales en movilidad eléctrica y gestión de baterías de autobuses eléctricos para identificar aprendizajes que puedan ser adaptados al contexto de Bogotá. Esta investigación examina marcos normativos, tecnologías disponibles y percepciones de actores clave con el fin de fortalecer la planificación y ejecución de proyectos de transporte público sostenible, sin manipular variables, con recolección de datos en un solo momento y orientada a generar recomendaciones prácticas para la mejora ambiental y técnica en la gestión de baterías, contribuyendo a un modelo de economía circular en la ciudad.

Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación se concentra en cuatro tipos: Diseño no experimental, transversal, descriptivo-correlacional y aplicado.

- Diseño no experimental: no hay manipulación deliberada de variables independientes.

- Diseño transversal: un solo momento de recolección de datos para análisis.
- Diseño descriptivo-correlacional: describe las características del fenómeno y busca asociaciones entre variables.
- Diseño aplicado: con multas de intervención y mejora práctica específica en la gestión de baterías para movilidad eléctrica en el transporte público bogotano.

Definición de Variables

A continuación, se presentan las variables y dimensiones a tener en cuenta en la metodología de investigación.

Tabla 2. Definición de variables, dimensiones, definición conceptual y definición operacional.

Variable	Dimensiones	Definición conceptual	Definición operacional
Marco Normativo y Políticas Públicas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alcance normativo (nacional, internacional). 2. Especificidad técnica (disposición, reciclaje, trazabilidad). 3. Nivel de cumplimiento. Grado de adaptación local. 	Normas, leyes, decretos y políticas que regulan la gestión y disposición final de baterías para movilidad eléctrica.	Existencia, alcance y alcance técnico-jurídico de normativas nacionales e internacionales aplicables, y grado de cumplimiento y adaptación local.
Prácticas Internacionales en Movilidad Eléctrica y Gestión de Baterías	<ol style="list-style-type: none"> 1. Modelos de gestión aplicados (responsabilidad extendida del productor, economía circular, etc.). 2. Tecnologías utilizadas. Resultados ambientales (reducción de emisiones, reciclaje efectivo). 3. Resultados sociales (beneficios comunitarios, creación de empleos). 	Experiencias y modelos de gestión exitosos en ciudades líderes a nivel global.	Características de sistemas implementados, tecnologías usadas, modelos de economía circular aplicados y resultados ambientales y sociales reportados.
Tecnologías y Procesos para Gestión de Baterías	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de tecnologías (recolección, reciclaje, segunda vida, disposición final). 2. Infraestructura disponible. 3. Nivel de innovación tecnológica. 4. Eficiencia y sostenibilidad del proceso. 	Tecnologías disponibles para recolección, reciclaje, reutilización y disposición final adecuada de baterías.	Tipos de tecnologías utilizadas en Bogotá y Colombia, nivel de desarrollo, infraestructura y procesos aplicados.
Impacto Ambiental y Social	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indicadores de contaminación y riesgo ambiental. 2. Impactos en salud pública asociados. 3. Nivel de aceptación social o resistencia. 	Consecuencias ecológicas y sociales derivadas de la gestión o mala gestión de las baterías.	Indicadores de contaminación potencial, impactos reportados en salud pública y aceptación social.
Movilidad eléctrica en el transporte público	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incorporación tecnológica 2. Impacto ambiental 3. Marco normativo 	Proceso de transición hacia un sistema de transporte público basado en buses eléctricos, con el fin de reducir emisiones contaminantes y promover la sostenibilidad urbana.	Medición de la adopción de buses eléctricos, análisis de emisiones y revisión de políticas de movilidad sostenible.
Gestión del ciclo de vida de las baterías	<ol style="list-style-type: none"> 1. Regulación y políticas 2. Infraestructura y procesos 3. Economía circular 	Conjunto de prácticas normativas, técnicas y ambientales para garantizar el manejo adecuado de las baterías desde su uso hasta su disposición final o reutilización.	Identificación de la normativa RAEE aplicable, disponibilidad de infraestructura y existencia de procesos de reciclaje y reutilización.
Percepción y conocimiento de actores locales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nivel de conocimiento 2. Barreras percibidas 3. Disposición al cambio 	Grado de comprensión y aceptación por parte de actores clave en Bogotá sobre la gestión de baterías y la movilidad eléctrica como parte de la sostenibilidad del transporte público.	Aplicación de encuestas/entrevistas a operadores de transporte, autoridades ambientales y empresas de gestión de residuos.

Fuente: Elaboración propia

Población y Muestra

La población a evaluar se dividirá en dos partes, por un lado, se tendrán en cuenta actores institucionales y decisores y, por otro lado, actores técnicos y profesionales.

Los actores institucionales y decisores están conformados por funcionarios y tomadores de decisión vinculados específicamente a la gestión de flotas eléctricas y la regulación de residuos en Bogotá, entre ellos se encuentran funcionarios del Ministerio de Ambiente, Secretaria Distrital de Movilidad, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), directivos y jefes de TransMilenio S.A, responsables ambientales y representantes de empresas autorizadas de gestión y reciclaje de baterías.

En cuanto los actores técnicos y profesionales corresponden a gestores ambientales, académicos especializados en movilidad/reciclaje, técnicos de mantenimiento de flotas eléctricas, personal operativo de patios de buses y personales técnicos de empresas de reciclaje.

Se estima una muestra de aproximadamente 50 y 100 individuos entre ambas poblaciones con la finalidad de obtener variedad de percepciones.

Selección de métodos o instrumentos para recolección de información

Para la presente investigación se utilizarán diferentes métodos e instrumentos para la recolección de la información, los cuales se describen a continuación:

Revisión documental y bibliográfica

Esta revisión se enfocó en la revisión de las normativas nacionales, acuerdos y prácticas internacionales. Esta revisión permite comparar variables como normativa, procesos de reciclaje, impactos ambientales y modelos de gestión.

Entrevistas semiestructuradas

Estas entrevistas buscan identificar percepciones, barreras y oportunidades de implementación de modelos de gestión de baterías. La guía de entrevista incluye preguntas abiertas y categorías de análisis alineadas con las variables del estudio (sostenibilidad ambiental, viabilidad económica, marco normativo) y están dirigidas a funcionarios del Ministerio de

Ambiente, Secretaría de Movilidad, TransMilenio S.A., empresas de reciclaje y operadores de buses eléctricos.

Técnicas de análisis de datos

El presente estudio parte del reconocimiento de que la gestión de baterías en el sector transporte, y en particular en el transporte público eléctrico, requiere un marco regulatorio robusto y mecanismos efectivos de verificación de cumplimiento. En esa medida, la evaluación se concibe como un ejercicio de revisión regulatoria, cuyo propósito es únicamente constatar el acatamiento formal de la normativa vigente, los esquemas de responsabilidad del productor (EPR), los sistemas de trazabilidad, las metas de recolección y reciclaje, la regulación de la segunda vida y los estándares de emisiones. También contrastar datos operativos, identificar brechas de implementación y generar recomendaciones para la mejora continua. Este enfoque investigativo permite analizar la coherencia entre los compromisos normativos y los resultados alcanzados, considerando la experiencia internacional y las buenas prácticas adoptadas por la Unión Europea, California, Brasil y China, para orientar la transición hacia un modelo energético sostenible y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Los modelos preliminares de listas de verificación diseñados para evaluar el cumplimiento normativo en el ciclo de vida de las baterías desde su introducción al mercado hasta la segunda vida y la disposición final se estructuran en torno a cinco pilares fundamentales. Estos son: la responsabilidad ampliada del productor (EPR), como eje que define obligaciones sobre el diseño, comercialización y gestión posconsumo; la recolección, orientada a garantizar sistemas eficientes y accesibles de retorno de productos; la reutilización, que fomenta la prolongación de la vida útil mediante esquemas de segunda vida y reacondicionamiento; la recuperación, centrada en maximizar la extracción de materiales críticos y valiosos a través de procesos de reciclaje; y las emisiones, que integran tanto la medición de la huella de carbono como la

reducción de impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida. Estos pilares constituyen el marco analítico para verificar la efectividad de la normativa y la coherencia de su aplicación práctica.

EPR

- ¿Está inscrito en el registro nacional de productores?
- ¿Presenta planes de gestión aprobados por la autoridad ambiental?
- ¿Cumple metas anuales de recolección establecidas por la norma?
- ¿Informa públicamente sobre tasas de reciclaje y trazabilidad?
- ¿Aporta financieramente a sistemas de logística inversa colectivos/individuales?
- ¿Implementa diseño ecológico (ecodiseño, reducción de metales pesados)?

Recolección

- ¿Existen puntos de recolección accesibles?
- ¿Se garantiza la trazabilidad de cada batería recolectada?
- ¿Se diferencia entre baterías de vehículos livianos y buses?
- ¿Se incluyen cooperativas de recicladores (caso Brasil)?

Reutilización

- ¿Se registran operaciones de reacondicionamiento / reutilización?
- ¿Las baterías reacondicionadas cumplen requisitos técnicos de seguridad?
- ¿Existen contratos de venta con garantías para consumidores (caso UE, Dir. 2019/771)?
- ¿Se han creado sistemas digitales, pasaporte de baterías, QR, para trazabilidad?
- ¿La normativa limita usos inseguros (ej. baterías de segunda mano caso China 2024)?

Recuperación

- ¿Las tasas de recuperación de materiales cumplen porcentajes mínimos?
- Litio $\geq 90\%$ (China, MIIT 2024).
- Polvo de electrodos $\geq 98\%$ (China, MIIT 2024).
- Cobalto, níquel, plomo según UE 2023/1542.
- ¿Se reporta el % de contenido reciclado en nuevas baterías?
- ¿Las instalaciones cumplen normas ambientales (vertederos, emisiones, seguridad)?
- ¿Se aplican auditorías externas a los recicladores certificados?

Emisiones

- ¿Se calcula y reporta la huella de carbono de baterías según tamaño y tipo (UE)?
- ¿Existen auditorías de verificación de datos de huella de carbono?
- ¿Se proyectan escenarios de reducción de GEI con la transición tecnológica?
- ¿Los datos son comparables con estándares internacionales (ISO 14067, PAS 2050)?

Una vez recopilada la información a través de listas de chequeo orientadas a verificar el cumplimiento normativo en el ciclo de vida de las baterías, el siguiente paso consiste en aplicar un conjunto de técnicas y herramientas de análisis que permitan transformar los registros en hallazgos verificables. El proceso inicia con un análisis descriptivo, que facilita observar tendencias generales, frecuencias de cumplimiento y áreas críticas de incumplimiento en relación con los pilares de EPR, recolección, reutilización, recuperación y emisiones.

En conjunto, estas técnicas no solo permiten verificar el grado de cumplimiento regulatorio, sino también interpretar las dinámicas del sistema, identificar oportunidades de mejora y formular recomendaciones basadas en evidencia para fortalecer la gestión sostenible de baterías en el país.

La verificación del cumplimiento en el ciclo de vida de las baterías combina técnicas de análisis cualitativas y cuantitativas que permiten contrastar documentos, medir indicadores, identificar brechas y evaluar la efectividad de los sistemas de gestión. Estas herramientas posibilitan transformar la información recolectada en evidencia comparable y trazable, facilitando la interpretación de resultados y la formulación de recomendaciones estratégicas alineadas con la sostenibilidad y los ODS.

Tabla 3. *Técnicas de análisis y sus respectivos objetivos, variables, fuentes de datos y productos*

Técnica de análisis	Objetivo	Variables de análisis	Fuentes de datos	Producto esperado
Revisión documental	Verificar correspondencia entre documentos y requisitos normativos.	Artículos de ley cumplidos/no cumplidos, obligaciones de EPR, reportes de recolección, trazabilidad documental.	Normas nacionales e internacionales, reportes de productores, resoluciones, planes sectoriales.	Matriz de cumplimiento.
Análisis descriptivo	Medir nivel de cumplimiento.	% de baterías recolectadas, % reciclaje por material, % contenido reciclado.	Reportes anuales, bases de datos de autoridades, indicadores ambientales.	Gráficas de tendencias, o indicadores.
Correlación	Contrastar información de diferentes fuentes para identificar brechas.	Coherencia entre importaciones y recolección, diferencias entre lo reportado y lo fiscalizado.	DIAN, MinAmbiente, registros de productores, datos de recicladores.	Informe de brechas y trazabilidad real vs. reportada.

Entrevistas y encuestas estructuradas	Evaluar barreras y percepciones de cumplimiento.	Nivel de conocimiento normativo, costos de implementación, dificultades operativas.	Actores clave (productores, recicladores, consumidores).	Patrones de cumplimiento/incumplimiento.
Red de actores	Identificar efectividad de sistemas de logística inversa.	Flujos de materiales, roles en la cadena, informalidad en gestión de residuos.	Asociaciones de recicladores o mismos productores.	Listado de redes de actores.
Indicadores de cumplimiento	Medir desempeño.	Transparencia, trazabilidad, impacto ambiental, inclusión social, alineación con ODS.	Normativa internacional, indicadores propios o sectoriales.	Índice de cumplimiento normativo por empresa o sector.

Fuente: Elaboración propia

Buenas practicas

La investigación, de tipo observacional, descriptivo, transversal y prospectivo, tuvo como propósito identificar buenas prácticas internacionales aplicables a Colombia para fortalecer la gestión sostenible de baterías en el marco de la movilidad eléctrica. Se realizó un análisis comparativo entre los principales marcos regulatorios: la Unión Europea (Reglamento (UE) 2023/1542), California (Assembly Bill No. 2440, 2022), Brasil (Ley 12.305 de 2010 y Decreto 11.413 de 2023) y China (MIIT, 2024). A nivel nacional se revisaron la Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS, 2022), la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (2020) y documentos CONPES vinculados con sostenibilidad y cambio climático, considerando seis dimensiones: marco normativo, políticas públicas, transporte sostenible, incentivos, planes de acción y agenda ambiental.

El análisis reveló una convergencia de principios regulatorios que pueden servir de referencia para Colombia. La Unión Europea lidera con un sistema integral de Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) y trazabilidad digital mediante el pasaporte de baterías; California promueve la recolección y el reciclaje con metas obligatorias y sanciones económicas; Brasil impulsa la corresponsabilidad de toda la cadena a través de su Política Nacional de Residuos Sólidos; y China fortalece la eficiencia tecnológica con estándares de recuperación del 90 % de litio y 98 % del polvo de electrodo. En contraste, Colombia ha avanzado en la planeación estratégica de su

transición energética, pero aún carece de instrumentos normativos y de infraestructura suficientes para la recolección, trazabilidad y segunda vida de las baterías.

A partir de estas referencias, se propone que Colombia adopte un sistema integral de gestión de baterías que combine los mecanismos de trazabilidad y transparencia europeos, las metas obligatorias de reciclaje californianas, la corresponsabilidad social y productiva brasileña y los estándares de eficiencia chinos. Para ello, se requieren auditorías regulatorias, indicadores de desempeño (KPIs) y mecanismos de control que evalúen la reducción de emisiones de GEI, el cumplimiento de la EPR y la circularidad del ciclo de vida de las baterías.

Tabla 4. Comparación de buenas prácticas internacionales

País	Postura	Buena práctica	Fuente / Marco legal	Resultado esperado
China	Gubernamental	Establecer estándares técnicos de recuperación (Li 90%, polvo de electrodos 98%) y certificación CGP.	MIIT (2024), Ley de Promoción de la Economía Circular (2008).	Recuperación de materiales críticos, trazabilidad y clústeres industriales.
China	PMO	Centros industriales de reciclaje, acreditación técnica y trazabilidad digital.	MIIT (2024).	Estandarización de procesos y control de calidad.
China	Estratégica	Planificación territorial, incentivos fiscales, apertura a materias primas secundarias.	MIIT (2024).	Resiliencia industrial y competitividad global.
Unión Europea	Gubernamental	Marco regulatorio integral, pasaporte digital, huella de carbono, límites de sustancias.	Reglamento (UE) 2023/1542.	Ciclo de vida completo, trazabilidad del mercado.
Unión Europea	PMO	Auditorías de huella de carbono, pasaportes interoperables, etiquetado ecológico.	Reglamento (UE) 2023/1542.	Transparencia y competencia sostenible.
Unión Europea	Estratégica	Subvenciones industriales, objetivos climáticos, compras públicas verdes.	Reglamento (UE) 2023/1542.	Reducción de huella carbono e impulso al mercado verde.
California (EE.UU.)	Gubernamental	EPR obligatorio, registro de productores, fondos y sanciones.	Assembly Bill No. 2440 (2022).	Financiamiento sostenible del reciclaje y regulación de mercado.
California (EE.UU.)	PMO	Lista pública de productores conformes, auditorías, fondos de reciclaje.	AB 2440 (2022).	Cumplimiento verificable y supervisión efectiva.
California (EE.UU.)	Estratégica	Programas de I+D en reciclaje y compras estatales sostenibles.	AB 2440 (2022).	Industria local fuerte y autosuficiencia tecnológica.
Brasil	Gubernamental	Responsabilidad compartida, logística inversa obligatoria, certificados de reciclaje.	Ley 12.305/2010, Decreto 11.413/2023.	Inclusión social y circularidad productiva.
Brasil	PMO	Formalización de cooperativas, contratos sectoriales y certificación.	Decreto 11.413/2023.	Aumento de tasas de recolección y trazabilidad.
Brasil	Estratégica	Certificados de reciclaje como incentivo privado y desarrollo regional.	Ley 12.305/2010.	Inversión privada en circularidad y empleo verde.
Colombia	Gubernamental	Integración ENME (2019) y ENTS (2022), incentivos fiscales, interoperabilidad.	ENME (2019), ENTS (2022).	Aceleración de adopción de VE y transición energética.
Colombia	PMO	Pilotos de buses eléctricos, registros de baterías, auditorías regulatorias.	ENTS (2022).	Ejecución territorial efectiva y control normativo.
Colombia	Estratégica	Metas nacionales de recolección y reciclaje, alianzas público-privadas.	ENME (2019), CONPES.	Cierre de ciclo de valor y reducción de GEI.

Fuente: Elaboración propia.

La adopción de estas buenas prácticas está construida bajo los compromisos de la Agenda 2030 y el Acuerdo de París. Integrar innovación tecnológica, inclusión social y sostenibilidad ambiental podría fortalecer la competitividad del país y su liderazgo regional en movilidad limpia, marcando un paso decisivo hacia una economía circular energética y baja en carbono.

A continuación, se presenta una tabla de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) orientada al seguimiento y evaluación de la gestión sostenible de baterías en el marco de la movilidad eléctrica. Estos indicadores permiten medir el nivel de cumplimiento normativo, la eficiencia de las estrategias institucionales y el impacto ambiental asociado a la transición energética. Su diseño integra referentes internacionales como el Reglamento (UE) 2023/1542, la Assembly Bill No. 2440 de California, la Ley n.º 12.305/2010 de Brasil y las Condiciones Estándar MIIT 2024 de China, adaptados al contexto colombiano y alineados con la Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS, 2022), la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (2020) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7, 11, 12 y 13).

Los KPIs propuestos constituyen una herramienta técnica para la toma de decisiones, el diseño de buenas prácticas y la verificación del progreso hacia un modelo energético circular y bajo en carbono.

Tabla 5. Indicadores claves de desempeño

Dimensión	Indicador (KPI)	Descripción / Objetivo	Fórmula o Método de Cálculo	Unidad	Frecuencia de Medición	Meta 2030
Ambiental	Tasa de recolección de baterías fuera de uso	Medir el porcentaje de baterías eléctricas recolectadas frente al total comercializado.	$(\text{Baterías recolectadas} / \text{Baterías comercializadas}) \times 100$	%	Anual	≥ 85 %
Ambiental	Tasa de reciclaje de materiales críticos (litio, cobalto, níquel)	Evaluar eficiencia en recuperación de materiales valiosos.	$(\text{Toneladas recicladas} / \text{Toneladas recolectadas}) \times 100$	%	Semestral	≥ 90 %
Ambiental / Regulatoria	Cumplimiento de requisitos EPR	Verificar implementación de esquemas de Responsabilidad Extendida del Productor.	$\text{N}^\circ \text{ de productores con EPR activo} / \text{Total de productores}$	%	Anual	100 %
Técnica / Operativa	Baterías con trazabilidad digital activa (pasaporte ambiental)	Evaluar adopción de sistemas de seguimiento de ciclo de vida.	$\text{N}^\circ \text{ de baterías registradas en sistema} / \text{Total de baterías en circulación}$	%	Trimestral	≥ 70 %
Económica	Costo promedio de gestión por batería (COP)	Estimar costo de recolección, transporte y disposición segura.	$\text{Costo total de gestión} / \text{N}^\circ \text{ baterías gestionadas}$	COP	Trimestral	↓ 15 % (vs línea base 2025)
Social / Institucional	Incorporación de recicladores y actores locales	Medir inclusión de cooperativas o MIPYMES en logística inversa.	$\text{N}^\circ \text{ recicladores vinculados} / \text{Total de actores en sistema}$	%	Anual	≥ 40 %
Energética	Aprovechamiento de segunda vida	Cuantificar porcentaje de baterías destinadas a reutilización o reconfiguración energética.	$(\text{Baterías reusadas} / \text{Total recolectadas}) \times 100$	%	Semestral	≥ 30 %
Climática	Reducción estimada de GEI por reciclaje y segunda vida	Calcular emisiones evitadas respecto a disposición final.	$(\text{GEI evitados} / \text{GEI línea base}) \times 100$	%	Anual	≥ 25 %
Regulatoria / Cumplimiento	Índice de cumplimiento normativo	Consolidar evaluación integral de cumplimiento frente a legislación nacional e internacional.	$(\text{Obligaciones cumplidas} / \text{Total obligaciones verificadas}) \times 100$	%	Anual	≥ 90 %
Estrategia / Innovación	Inversión en I+D de tecnologías de reciclaje y almacenamiento	Medir el esfuerzo de innovación en economía circular.	$\text{Monto invertido} / \text{Total inversión del sector}$	%	Anual	≥ 10 %
ODS Integrado (7, 11, 12, 13)	Índice de sostenibilidad en gestión de baterías (ISGB)	KPI sintético que combina eficiencia, trazabilidad, cumplimiento y reducción de GEI.	Promedio ponderado de indicadores clave	Índice 0–1	Anual	≥ 0.8

Informe de resultados de la encuesta: Movilidad eléctrica y gestión sostenible de baterías en Bogotá

Este informe presenta el análisis de los resultados de la encuesta aplicada a distintos actores del ecosistema de movilidad y manejo de baterías en Bogotá. El objetivo es exponer las percepciones, conocimientos, barreras y oportunidades relacionadas con la gestión sostenible de baterías y su ciclo de vida, así como aspectos normativos y tecnológicos relevantes para la ciudad.

Metodología

Se analizaron 50 respuestas recibidas de diversos actores¹, incluyendo operadores de transporte, gestores de residuos, entidades públicas, fabricantes/proveedores y otros. Las respuestas reflejan experiencia, conocimiento normativo, vacíos en normativas, protocolos existentes y preparación técnica post-consumo. Para esta investigación se empleó análisis cuantitativo de variables clave para obtener tendencias y frecuencias.

Resultados cuantitativos

- Total de respuestas: 50.
- Principales tipos de entidades participantes:
 - Operador de transporte: 18
 - Gestores de residuos:10
 - Entidades públicas:14
 - Fabricantes/proveedores:5
 - Otros:3

¹ Para ver en detalle las respuestas de los entrevistados, ver el siguiente documento: https://universidadeaneducomy.sharepoint.com/:x:/g/personal/jorduza47406_universidadean_edu_co/EUg6ulhVBJpEsWqNqkPRyTMBvAP6LhJnH8dTTPbhhNzUZw?e=Yed2my

- Se observa que un 60% aproximadamente identifica vacíos normativos que dificultan la aplicación.
- La claridad normativa fue evaluada con promedio de 3.16 (escala 1-5), indicando una percepción moderada de claridad.
- El nivel promedio de desarrollo tecnológico percibido es 2.6, mostrando avances, pero aún retos tecnológicos.
- El conocimiento sobre el ciclo de vida y riesgos de baterías tiene un promedio de 2.84, indicando una buena pero mejor capacitación.
- Los protocolos están "en desarrollo" o formalizados, dependiendo del actor.
- Liderazgo en gestión se percibe disperso entre recicladores, gobierno y empresas.

Hallazgos principales

- Existe una percepción de vacíos normativos en responsabilidades, infraestructura y costos que dificultan la implementación integral.
- Los operadores de transporte tienen protocolos en desarrollo, pero requieren mayor formalización.
- Las barreras tecnológicas aún incluyen la ausencia de plantas locales, costos elevados y falta de normativa técnica específica.
- Los actores claves para liderar la gestión son fabricantes/importadores, gobierno nacional y empresas recicladoras certificadas.
- Hay diversidad en las percepciones y preparación tecnológica, apuntando a la necesidad de capacitación continua.

Recomendaciones

- Implementar un esquema de responsabilidad extendida del productor, obligando a fabricantes/importadores a financiar el tratamiento de baterías.

- Crear incentivos financieros para promover plantas de reciclaje locales y proyectos de reutilización (segunda vida).
- Fortalecer programas técnicos de formación para operadores y gestores ambientales.
- Mejorar la coordinación interinstitucional con mesas de trabajo permanentes entre entidades públicas, operadores y recicladores.
- Desarrollar normativa técnica especializada que atienda vacíos operativos detectados.

Conclusiones

- ✓ **Estado intermedio de desarrollo normativo y tecnológico:** Los resultados reflejan que Bogotá se encuentra en una fase intermedia en cuanto a claridad normativa y desarrollo tecnológico para la gestión sostenible de baterías. A pesar de los avances iniciales, existen percepciones claras de vacíos normativos y ausencia de protocolos formalizados que dificultan la implementación integral de un sistema de gestión sostenible.
- ✓ **Importancia del liderazgo compartido:** La gestión eficiente de baterías requiere un enfoque colaborativo entre múltiples actores, donde fabricantes/importadores asuman una responsabilidad activa, complementada por el rol regulador y facilitador del gobierno, así como la participación de recicladores y operadores que están en contacto directo con la operación diaria. Este liderazgo compartido es fundamental para cerrar brechas normativas y operativas.
- ✓ **Necesidad de incentivos financieros y estructurales:** La encuesta revela barreras significativas relacionadas con la financiación de la infraestructura requerida, especialmente en la creación o fortalecimiento de plantas de reciclaje y mecanismos de reutilización de baterías (segunda vida). Sin políticas claras de responsabilidad extendidas y esquemas de incentivos, la sostenibilidad económica del modelo será limitada.

- ✓ **Capacitación y fortalecimiento técnico:** El conocimiento sobre el ciclo de vida y la preparación post-consumo muestran niveles variables, lo que indica que aún es necesario fortalecer programas de formación y capacitación continua para todos los operadores involucrados, desde transportistas hasta gestores de residuos y entidades públicas, garantizando un manejo adecuado que minimice los riesgos ambientales y de seguridad.
- ✓ **Coordinación institucional y política pública:** La fragmentación y dispersión en la gestión reflejan la ausencia de un modelo consolidado y la necesidad de mesas de trabajo interinstitucionales permanentes que promuevan la coordinación efectiva entre los actores, incluidas las entidades reguladoras, operadores, recicladores y fabricantes. Este trabajo conjunto facilitará la generación de políticas públicas coherentes y el desarrollo de normativas especializadas que respondan a los vacíos detectados.
- ✓ **Potencial para la economía circular:** Aunque extrapolando los datos se perciben dificultades, la transición hacia modelos circulares de gestión de baterías presenta un alto potencial para Bogotá, especialmente con la promoción de la reutilización y el reciclaje local, lo que no solo conlleva beneficios ambientales, sino también oportunidades económicas y sociales si se logra estabilizar la cadena de valor.

Referencias

- ACOSTA, C. D. (2025). *COMITÉ SECTORIAL DE GESTIÓN Y DESEMPEÑO DEL SECTOR MOVILIDAD*. Bogotá.
- Assembly Bill No. 2440. (2022). Responsible Battery Recycling Act of 2022. *Assembly Bill No. 2440 (Responsible Battery Recycling Act of 2022)*. California, Estados Unidos: California Assembly.
- China. (2008, Agosto 29). Ley de fomento de la economía circular. China: República Popular China.
- CMNUCC. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. ONU.
- Decreto n.º 11.413. (2023, Febrero 13). Decreto n.º 11.413. *Regulamenta a logística reversa no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasil: Diário Oficial da União.
- Decreto 1564. (2017, Septiembre 25). Decreto 1564 de 2017. Bogotá.
- DNP. (2018, Marzo 15). ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN COLOMBIA. *CONPES 3918*. Bogotá, Colombia: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>. Retrieved from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- ENME. (2018). Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica. *Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá, Colombia: República de Colombia.
- ENTS. (2022). Estrategía Nacional de Transporte Sostenible. *Ministerio de Transporte*. Colombia: Gobierno de Colombia.
- Fonti, A. (2025, Mayo 19). *MOBILITY PORTAL LATINOAMERICA*. Retrieved from MOBILITY PORTAL LATINOAMERICA: <https://mobilityportal.lat/colombia-buses-electricos-costo-total-2/>
- Han, H., Qinyu, Q., Zongwei, L., & Fuquan, Z. (2017). Impact of recycling on energy consumption and greenhouse gas emissions from electric vehicle production: The China 2025 case. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 114 - 125.
- ICLEI - Sustainable Mobility. (2024). *Ecomobility*. Retrieved from <https://sustainablemobility.iclei.org/ecomobility-initiative/>
- ICLEI. (2023, Febrero 23). *Conversapolis - Recuperación Verde Incluyente en Ciudades*. Retrieved from Conversapolis - Recuperación Verde Incluyente en Ciudades: <https://transformative-mobility.org/wp-content/uploads/2023/04/Conversapolis-Recuperacion-Verde-Incluyente-en-Ciudades.pdf>
- International Energy Agency IEA. (2022). *International Energy Agency IEA*. Retrieved from International Energy Agency IEA: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/electric-vehicles-initiative>
- IPCC. (2021, Octubre). PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DEL. Bogotá, Colombia, Colombia.
- IPCC. (2022). *Global Warming of 1.5 °C*. Retrieved from IPCC.ch: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Chapter_1_HR.pdf
- La hoja de ruta del hidrógeno en Colombia. (2021, Septiembre 30). Hoja de ruata del hidrógeno en Colombia. *División de Energía y su División de Cambio Climático y Sostenibilidad*. Ministerio de Energía.
- Ley 1083, C. d. (2006). Ley 1083 de 2006. *Por medio de la cual se establecen normas sobre planeación urbana sostenible*. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.
- Ley 1844, C. d. (2017). Ley 1844 de 2017 "Acuerdo de París". Bogotá, Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.
- Ley 1931, C. d. (2018). Ley 1931 de 2018. *Por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático*. Bogotá, Colombia.
- Ley 1955, C. d. (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022. Bogotá, Colombia.

- Ley 1964. (2019, Julio 11). POR MEDIO DE LA CUAL SE PROMUEVE EL USO DE VEHICULOS ELECTRICOS EN COLOMBIA Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES. *Mintransporte y Minambiente*. Gobierno de Colombia.
- Ley 2099. (2021, Julio 10). POR MEDIO DE LA CUAL SE DICTAN DISPOSICIONES PARA LA TRANSICION ENERGETICA, LA DINAMIZACION DEL MERCADO ENERGETICO, LA REACTIVACION ECONOMICA DEL PAIS Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES. Gobierno de Colombia.
- Ley 2169. (2021, Diciembre 22). POR MEDIO DE LA CUAL SE IMPULSA EL DESARROLLO BAJO EN CARBONO DEL PAÍS MEDIANTE EL ESTABLECIMIENTO DE METAS Y MEDIDAS MÍNIMAS EN MATERIA DE CARBONO NEUTRALIDAD Y RESILIENCIA CLIMÁTICA Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Gobierno de Colombia.
- Ley n.º12.305. (2010, Agosto 2). Lei n.º 12.305. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasil: Diário Oficial da União.
- MIIT. (2024). Standard Conditions for the Comprehensive Utilization of Used Power Batteries of New Energy Vehicles. Beijing, China: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013, Julio 19). *minambiente.gov.co*. Retrieved from [minambiente.gov.co: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1672-2013.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1672-2013.pdf)
- MinTransporte. (2019). Política Nacional de Movilidad Sostenible. Bogotá.
- Mudu, M. (2021, Agosto). *Aprendizajes de una Experiencia de Electrificación en el Transporte Público de Bogotá, Colombia*. Retrieved from *Aprendizajes de una Experiencia de Electrificación en el Transporte Público de Bogotá, Colombia*: <https://www.ledslac.org/wp-content/uploads/2022/01/Caso-de-Estudio-Bogota-2021-09-FINAL-con-logos1-1-1.pdf>
- Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. New York, Estados Unidos.
- Natarajan, S., & Vanchiappan, A. (2018). Burgeoning Prospects of Spent Lithium-Ion Batteries in Multifarious Applications. *Advanced Energy Materials*, 8.
- OCDE. (2011). *Green Growth and Transport*. OCDE.
- Onat, N. C., & Kucukvar, M. (2022). A systematic review on sustainability assessment of electric vehicles: Knowledge gaps and future perspectives. *Environmental Impact Assessment Review*, 97.
- ONU. (n.d.). *Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy*. Retrieved from *Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy*: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/energy>
- Parlamento Europeo y Consejo. (2006). Directiva 2006/66/CE. *Relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Parlamento Europeo y Consejo. (2019). Directiva (UE) 2019/771. *Relativa a determinados aspectos de los contratos de compraventa de bienes*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Parlamento Europeo y Consejo. (2023). Reglamento (UE) 2023/1542. *Relativo a las pilas y baterías y sus residuos*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2006). Reglamento (CE) n.º 1907/2006. *Relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH)*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2008). Reglamento (CE) n.º 1272/2008. *Sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP)*. Diario Oficial de la Unión Europea.
- PIGCCME. (2021). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero Energético 2050. Bogotá, Colombia: Ministerio.
- Res 910, M. A. (2008, junio 24). Resolución 910 de 2008. Colombia, Colombia.

- Rodríguez-Peña, A. (2025). Corporate entrepreneurship and the sustainable development goals: exploring the connection. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 14-33.
- UN. (2015). Acuerdo de París. *Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. París, Francia.
- UN A/RES/70/1. (2016). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Transformas nuestro mundo*. New York, Estados Unidos: Asamblea General de las Naciones Unidas.
- United Nations. (n.d.). ODS 11. Retrieved from Sustainable Development Goals: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>
- UPME. (2020). Plan Energético Nacional PEN 2020 -2050 . *Planeación Energética para el desarrollo sostenible*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Observatorio de Movilidad de Bogotá. (2024). Avances y desafíos: Bogotá hacia la transición de tecnologías de cero y bajas emisiones en transporte. Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado de <https://observatorio.movilidadbogota.gov.co/actualidad/avances-y-desafios-bogota-hacia-la-transicion-de-tecnologias-de-cero-y-bajas-emisiones>
- TransMilenio. (2023). En Bogotá ya ruedan 259 buses eléctricos... Recuperado de <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/152106/en-bogota-ya-ruedan-259-buses-electricos-de-1485-adjudicados-por-transmilenio/>
- Universidad Nacional de Colombia. (2011, 12 de marzo). Buses y camiones, los peores contaminantes de Bogotá. Agencia de Noticias UN. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/buses-y-camiones-los-peores-contaminantes-de-bogota-2>

Anexos

Anexo I. Guía de entrevista semi estructurada

Movilidad eléctrica y gestión sostenible de baterías en el transporte público de Bogotá Tipo de aplicación

Dirigido a: funcionarios del sector público (Secretaría de Movilidad, UAESP, MinAmbiente), operadores de SITP/TransMilenio, gestores de residuos y expertos en electromovilidad.

Método: encuesta semiestructurada (mixta: escala Likert + preguntas abiertas).

Duración estimada: 10–15 minutos.

Sección 1: Información general del encuestado

Propósito: contextualizar las respuestas según el rol del participante.

Nombre de la entidad o empresa: _____

Cargo o rol dentro del sistema de transporte o gestión ambiental: _____

Tipo de organización:

Entidad pública

Operador de transporte

Empresa de gestión de residuos o reciclaje

Fabricante / proveedor de baterías

Otro: _____

Años de experiencia en el sector:

Menos de 3 años

3–5 años

6–10 años

Más de 10 años

Sección 2. Marco normativo y políticas locales

Propósito: evaluar el conocimiento y percepción sobre el marco regulatorio vigente.

¿Conoce las normas nacionales que regulan la movilidad eléctrica y la gestión de residuos peligrosos como las baterías?

- [] Sí

- [] Parcialmente

- [] No

En una escala del 1 al 5, ¿cómo calificaría la claridad del marco normativo colombiano sobre la disposición final de baterías de buses eléctricos?

(1 = Muy confuso / 5 = Muy claro)

¿Considera que existen vacíos o dificultades para aplicar las normas actuales en Bogotá?

Sí

No

Si su respuesta es “Sí”, indique cuáles: _____

Desde su perspectiva, ¿qué tipo de instrumentos o políticas serían más efectivos para fortalecer la regulación?

Incentivos económicos

Normas técnicas más estrictas

Coordinación interinstitucional

Programas de economía circular
Otro: _____

Sección 3. Experiencias internacionales y aprendizajes

Propósito: identificar referentes y buenas prácticas.

¿Conoce ejemplos de ciudades o países con avances destacados en movilidad eléctrica?

- Sí

- No

Si su respuesta es “Sí”, mencione algunos: _____

¿Qué considera más destacable de esas experiencias?

Políticas públicas y regulaciones claras

Infraestructura y operación eficiente

Gestión ambiental de baterías y materiales

Incentivos económicos o fiscales

Participación del sector privado

¿Qué aprendizajes o modelos considera aplicables al contexto de Bogotá? _____

Sección 4. Tecnologías y procesos de disposición de baterías

Propósito: identificar capacidades y brechas tecnológicas locales.

¿Su organización cuenta con protocolos o alianzas para la gestión o disposición final de baterías de buses eléctricos?

- Sí

- En desarrollo

- No

¿Qué tipo de disposición o tratamiento considera más viable en Colombia?

Reciclaje local especializado

Exportación para tratamiento internacional

Reutilización en almacenamiento temporal

Otro: _____

¿Qué barreras tecnológicas o logísticas identifica para la gestión segura de baterías usadas?

En una escala de 1 a 5, evalúe el nivel de desarrollo tecnológico de Colombia frente a las tendencias globales:

(1 = Muy rezagado / 5 = A la par de los líderes)

Sección 5. Percepción y conocimiento de actores clave

Propósito: explorar comprensión y compromiso con la sostenibilidad.

¿Cómo calificaría su nivel de conocimiento sobre el ciclo de vida y riesgos ambientales de las baterías de buses eléctricos?

(1 = Bajo / 5 = Alto)

¿Considera que las empresas operadoras están preparadas para asumir la gestión postconsumo de baterías?

Sí

Parcialmente

No

¿Qué actores deberían liderar la disposición final de baterías en el país?

- Operadores de transporte
- Fabricantes o importadores
- Gobierno local
- Gobierno nacional
- Empresas recicladoras certificadas

¿Qué tipo de apoyo considera prioritario para fortalecer la sostenibilidad del transporte público eléctrico en Bogotá?

- Capacitación técnica
- Asistencia financiera o incentivos
- Normas claras de responsabilidad postconsumo
- Infraestructura de gestión y reciclaje

Sección 6. Recomendaciones

Propósito: recopilar aportes cualitativos para orientar la formulación de políticas.

Desde su experiencia, ¿qué acciones recomendaría para mejorar la gestión de baterías de buses eléctricos en Bogotá?

¿Qué estrategias podrían fortalecer la adopción de movilidad eléctrica sostenible en el transporte público?