ean universidad

Acreditada en Alta Calidad
Res. nº 023654 del Mineducación. 10/12/21, vigencia 10/12/27



El modelo chino como referente de política pública para la gestión de baterías de iones de litio en Colombia

Modalidad:
Misión Internacional

Flor Ángela Ramírez Camacho
José Alejandro Gómez Acero
Sara Katherine Marín Velasquez

©Universidad Ean SNIES 2812 | Vigilada Mineducación | **Personería Jurídica Res. nº. 2898** del Minjusticia - 16/05/69

El modelo chino como referente de política pública para la gestión de baterías de iones de litio en Colombia

Flor Ángela Ramírez Camacho

José Alejandro Gómez Acero

Sara Katherine Marín Velasquez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Administración de Empresas

Director (a):

Alejandro Kerpel Abisambra

Modalidad:

Misión Internacional

Universidad EAN

Facultad de Administración, Finanzas, y Ciencias Económicas

Maestría en Administración de Empresas

Bogotá, Colombia

29/09/2026

Tabla de Contenido

Lista de Tablas 5

Lista de Figuras 6

Resumen Ejecutivo 7

Abstract 9

1. Contexto y Desafío Estratégico 11

1.1 Ejes temáticos de la exploración del equipo: vigilancia tecnológica y tendencias de innovación 11

Eje temático 1: Tendencias globales en gestión de baterías de iones de litio 12
Eje temático 2: El ecosistema de política pública en China para la gestión de baterías 12
Eje temático 3: Colombia, estado actual del ecosistema de gestión de baterías 13

1.2 Análisis del ecosistema de innovación en China 17

El sistema regulatorio chino 18
Los actores más relevantes para esta investigación 20
Fortalezas y vacíos del modelo chino 21
Otros referentes internacionales a nivel regulatorio: Unión Europea, Canadá y Brasil 21

1.3 Normograma - Diagnóstico en el contexto colombiano 25

Capacidades actuales y brechas de Colombia 27

1.4 Definición del problema / oportunidad de innovación (marco HMW) 28

2. Hallazgos Relevantes en China 30

2.1 Metodología de la exploración de campo 30

3. Recomendaciones de Política Pública 33

Fase 1: Base Administrativa 34

Ajustar el umbral y la clasificación arancelaria que hoy dejan a la mayoría de los importadores fuera de la obligación 34

Coordinar el nivel nacional con el nivel distrital 35

Fase 2: Infraestructura de Información 36

Trazabilidad: adoptar un instrumento tipo pasaporte de batería 36

Resolver el acceso cerrado a la información del sistema de gestión de la batería 37

Fase 3: Confianza e incentivos de mercado 37

Certificación técnica para la segunda vida de las baterías 37

Incentivos fiscales concretos, no solo obligaciones 38

Un incentivo dirigido directamente al propietario del vehículo 39

Aprender de lo que no ha funcionado en otros países 39

Ruta de implementación 42

4. Conclusiones 44

Respuesta a la pregunta de investigación 44

Limitaciones del estudio 45

Líneas de trabajo futuro 46

Referencias 47

Lista de Tablas

Tabla 1. Estimación de la oportunidad económica no capturada en la capacidad instalada de reciclaje……16

Tabla 2. Comparación de marcos regulatorios internacionales para la gestión de baterías de vehículos eléctricos……22

Tabla 3. Normograma del marco regulatorio colombiano para la gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos……25

Tabla 4. Responsables, horizontes temporales, costos estimados e indicadores de seguimiento por recomendación……40

Lista de Figuras

Figura 1. Matrículas de vehículos eléctricos y proyección de baterías en fin de vida útil en Colombia (2012-2044)……15

Figura 2. Canales de disposición de baterías de vehículos eléctricos en China: formal e informal……...19

Figura 3. Ruta de implementación de las recomendaciones de Política Pública……42

Resumen Ejecutivo

Este trabajo de investigación analiza el marco de política pública para la gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos, tomando como referente principal el ecosistema regulatorio chino, el más avanzado del mundo en esta materia. A partir del diagnóstico de sus propios resultados, fortalezas y vacíos, la investigación se complementó con el análisis de otros marcos normativos internacionales, entre ellos el de la Unión Europea, Canadá y Brasil, que aportan lecciones adicionales aplicables al contexto colombiano.

El diagnóstico normativo de Colombia mostró que, si bien el país cuenta con una resolución vigente desde 2022 y un principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) calificado como uno de los más robustos de la región, ese marco tiene vacíos concretos: ausencia de un sistema de trazabilidad, un umbral de recolección que deja fuera a la mayoría de los importadores de vehículos eléctricos, falta de estándares para certificar una batería reacondicionada, y fragmentación entre el nivel normativo nacional y el distrital. Las observaciones de la Misión Internacional China 2026 en Xiaomi y BYD, junto con la investigación documental posterior, reforzaron este diagnóstico desde otro ángulo, porque mostraron que la falta de claridad sobre la gestión de baterías al final de su vida útil no es exclusiva de Colombia, sino un vacío que continúa incluso en el mercado que hoy lidera la industria.

Como resultado, este trabajo propone un conjunto de recomendaciones normativas adaptadas al contexto colombiano: adoptar un instrumento de trazabilidad tipo pasaporte de batería, ajustar el umbral y la clasificación arancelaria aplicables a vehículos eléctricos, establecer una certificación técnica para la segunda vida de las baterías, resolver el acceso cerrado a la información del sistema de gestión de la batería, introducir incentivos fiscales concretos, establecer un depósito reembolsable dirigido al propietario del vehículo, y articular el nivel normativo nacional con el distrital.

Palabras clave: Política pública; Baterías de iones de litio; Responsabilidad extendida del productor; Trazabilidad; Vehículos eléctricos.

Abstract

This research analyzes the public policy framework for the management of lithium-ion batteries in electric vehicles, taking the Chinese regulatory ecosystem, the most advanced in the world in this field, as its main reference. Based on the diagnosis of its own results, strengths, and gaps, the research was complemented with an analysis of other international regulatory frameworks, including those of the European Union, Canada, and Brazil, which provide additional lessons applicable to the Colombian context.

Colombia's regulatory diagnosis showed that, although the country has had a resolution in effect since 2022 and an extended producer responsibility principle regarded as one of the most robust in the region, that framework has concrete gaps: the absence of a traceability system, a collection threshold that excludes most electric vehicle importers, a lack of standards for certifying a refurbished battery, and fragmentation between the national and district regulatory levels. Observations from the China International Mission 2026 at Xiaomi and BYD, together with follow-up documentary research, reinforced this diagnosis from another angle, showing that the lack of clarity regarding end-of-life battery management is not exclusive to Colombia, but a gap that persists even in the market that currently leads the industry.

As a result, this work proposes a set of regulatory recommendations adapted to the Colombian context: adopting a traceability instrument similar to a battery passport, adjusting the threshold and tariff classification applicable to electric vehicles, establishing a technical certification for battery second life, resolving the restricted access to battery management system information, introducing concrete fiscal incentives, establishing a refundable deposit aimed at the vehicle owner, and coordinating the national regulatory level with the district level.

Keywords: Public policy; Lithium-ion batteries; Extended producer responsibility; Traceability; Electric vehicles.

1. Contexto y Desafío Estratégico

Colombia enfrenta una situación de la cual muy poco se ha hablado, y es que el mismo proceso que busca descarbonizar su movilidad urbana está generando silenciosamente un problema ambiental de gran escala para el cual el país todavía no está preparado. A medida que el parque de vehículos eléctricos crece, también crece el inventario de baterías de iones de litio que comenzarán a llegar al final de su vida útil de forma gradual en los próximos años y de manera masiva hacia finales de la década de 2030, sin que se hayan identificado normas específicas para su gestión y reciclaje, infraestructura suficiente ni un modelo claro de quién es el responsable de ese proceso. Este trabajo de investigación analiza ese desafío desde la perspectiva de la política pública, tomando como referente principal el ecosistema chino, el más avanzado del mundo en esta materia, para identificar qué lecciones y también qué oportunidades pueden ser útiles para Colombia en esta fase inicial de su mercado de vehículos eléctricos.

1.1 Ejes temáticos de la exploración del equipo: vigilancia tecnológica y tendencias de innovación

Partiendo de un análisis preliminar sobre la economía circular de las baterías de iones de litio provenientes de vehículos eléctricos, se identificaron tres ejes temáticos que estructuran el análisis de este trabajo de investigación. Cada uno responde a una pregunta diferente: ¿qué está pasando en el mundo con las baterías de iones de litio?, ¿cómo lo está resolviendo China? y ¿en qué punto se encuentra Colombia? Los tres convergen en la necesidad de una política pública articulada que prevenga una crisis.

Eje temático 1: Tendencias globales en gestión de baterías de iones de litio

La demanda mundial de baterías de iones de litio se duplicó prácticamente entre 2021 y 2022, pasando de 330 GWh a 550 GWh, un crecimiento impulsado en gran medida por la expansión del mercado de vehículos eléctricos a escala global (International Energy Agency [IEA], 2024). Al mismo tiempo, los precios han caído de manera sostenida, de más de 400 dólares por kilovatio-hora en 2012 a 111 dólares en 2024, lo que ha acelerado la adopción de vehículos eléctricos, pero también ha incrementado el volumen de baterías que eventualmente necesitarán una ruta de disposición responsable al final de su vida útil (IEA, 2024).

En paralelo, el ecosistema tecnológico está en transición. Contemporary Amperex Technology Co., Limited (CATL), el mayor fabricante de baterías del mundo con una participación de mercado cercana al 38 % en 2024 (CnEVPost, 2025), lanzó en 2025 su línea comercial de baterías de iones de sodio bajo la marca Naxtra, con densidades energéticas cercanas a las de las baterías de litio convencionales y una vida útil proyectada de más de 10.000 ciclos de carga (Zhou et al., 2025). Esta tecnología emergente usa sodio, el cual, a diferencia del litio, es un material abundante y distribuido globalmente, lo que podría reducir a largo plazo la presión sobre las cadenas de suministro de litio y cobalto. Sin embargo, esta tecnología emergente no altera el diagnóstico de este trabajo: las baterías de iones de litio ya instaladas en los vehículos que circulan hoy en Colombia seguirán siendo iones de litio durante toda su vida útil, y son por tanto el foco central de este análisis.

Eje temático 2: El ecosistema de política pública en China para la gestión de baterías

China construyó durante la última década el sistema de gestión de baterías de iones de litio más completo del mundo, combinando regulación nacional, incentivos provinciales, trazabilidad digital y una red de recicladores certificados. El Ministerio de Industria y Tecnología

de la Información (MIIT) actúa como ente rector, estableciendo los estándares técnicos, entre ellos la recuperación mínima del 90 % del litio y el 98 % del níquel, cobalto y manganeso para procesos de reciclaje (Shanghai Metals Market, 2024), y administrando un sistema de lista blanca que certifica qué empresas pueden operar formalmente en el sector (Yang et al., 2025). Los fabricantes e importadores tienen obligación legal de recuperar las baterías que introducen al mercado, y el incumplimiento acarrea sanciones.

Sin embargo, el modelo chino también tiene fisuras relevantes para mercados emergentes, como el de Colombia. A pesar de todo el aparato normativo, el 75 % del reciclaje de baterías en China sigue ocurriendo fuera del sistema formal, en talleres informales que pagan más por las baterías usadas porque no asumen los costos ambientales que sí deben asumir los recicladores certificados (Yang et al., 2025; Zhang et al., 2025). Este desequilibrio de incentivos económicos, donde la informalidad es más rentable para el propietario del vehículo, es el talón de Aquiles del modelo y una advertencia directa para cualquier país que intente replicarlo sin atender simultáneamente los incentivos al consumidor.

Eje temático 3: Colombia, estado actual del ecosistema de gestión de baterías

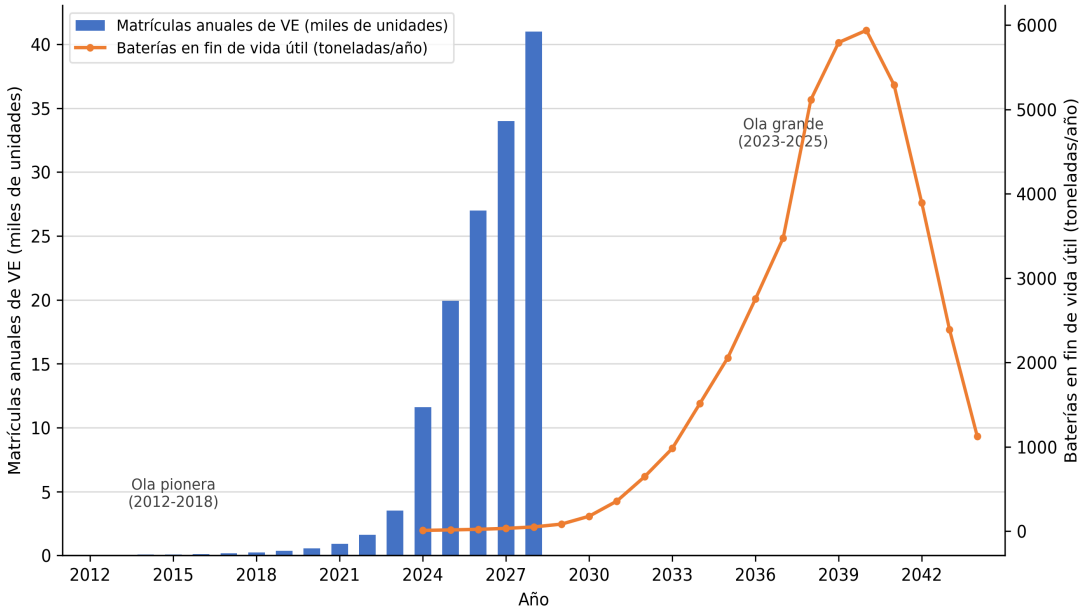
Colombia tiene una ventana de oportunidad para construir el sistema, antes de que el volumen de baterías en desuso crezca. Al cierre de 2024 el país registraba 19.183 vehículos eléctricos, más 18.920 unidades en motocicletas y patinetas eléctricas y 121.424 vehículos híbridos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2025). Durante 2025, el volumen de matrículas superó al acumulado de todos los años previos, una señal de que el mercado está acelerando más rápido de lo que cualquier proyección anticipaba (Asociación Nacional de Movilidad Sostenible [ANDEMOS], 2025). La vida útil real de una batería de iones de litio depende sobre todo de cómo se cargue. BYD, una de las dos empresas visitadas durante la Misión Internacional

que da origen a este trabajo (ver capítulo 2), fue el punto de partida para profundizar en la vida útil real de su batería. Según su comunicado oficial más reciente, la marca respalda su Blade Battery, de química LFP, con una garantía de 8 años o 250.000 kilómetros y un mínimo de 70 % de capacidad retenida, pero calcula una vida de servicio de unos 1,2 millones de kilómetros (BYD, 2026). La industria, por su parte, proyecta que la frontera práctica de la química LFP llegará a 10-12 años hacia 2030, con casos individuales que superan los 15 años según el patrón de carga (E-Mobility Engineering, 2026). El mercado colombiano, sin embargo, no corre sobre una sola química. Junto a la LFP de BYD conviven baterías con níquel, cuya vida en ciclos es menor que la de la LFP (Yang et al., 2025) y para las cuales Tesla recomienda, en las versiones que así lo indican, limitar la carga diaria a cerca del 80 % (Tesla, s. f.). Ante esa mezcla, este trabajo toma la química LFP como escenario central, por ser la de la empresa visitada durante la misión y la que cuenta con información oficial verificable, aunque los vehículos con baterías con níquel podrían agotar su batería, algo antes de lo aquí proyectado. Eso cambia la lectura del problema: la primera generación de vehículos eléctricos que llegó al país entre 2012 y 2018 apenas empieza a generar, en el horizonte 2026-2028, un volumen mínimo de baterías en desuso, ligado sobre todo a fallas tempranas dentro de garantía y no al agotamiento natural de la batería, cuyo grueso llegará más bien entre 2028 y 2036. La verdadera magnitud del problema, la que corresponde a la explosión comercial de 2023 a 2025, se traslada aún más lejos en el tiempo: hacia el final de la década de 2030, con un pico proyectado alrededor de 2038-2040, según una curva de retiro propia, calibrada con la vida útil reportada por BYD (2026) y E-Mobility Engineering (2026), que adopta el enfoque de distribución de retiro de Yang et al. (2025).

La Figura 1 ilustra esta dinámica de dos olas: las matrículas históricas y proyectadas de vehículos eléctricos en Colombia, junto con la proyección de toneladas de baterías que llegarían a fin de vida útil cada año hasta 2044.

Figura 1

Matrículas de vehículos eléctricos y proyección de baterías en fin de vida útil en Colombia (2012-2044)



Nota. Elaboración propia con base en Ministerio de Transporte de Colombia (2025), ANDEMOS (2025), BYD (2026), E-Mobility Engineering (2026) y el enfoque de distribución de retiro de Yang et al. (2025), con una curva propia. Las matrículas se proyectaron solo hasta 2028 porque extender esa proyección a más años habría sido demasiado especulativo, dado lo reciente y volátil que ha sido la entrada de nuevas marcas al mercado colombiano (como Tesla en 2026).

Por esta razón, la caída que muestra la gráfica después de 2040 no representa una disminución real esperada en el volumen de baterías en desuso, sino un artefacto de que el modelo deja de recibir matrículas nuevas después de 2028; si el mercado colombiano sigue creciendo más allá de ese año, como es previsible, el volumen real podría mantenerse elevado por más tiempo del que muestra esta gráfica. La curva asume una vida útil concentrada entre 10 y 18 años, con pico a los 13, y un peso medio de 300 kg por batería. El total acumulado a 2024 (19.183 vehículos) es dato oficial; el reparto por año entre 2012 y 2024 es una estimación

ajustada a ese total, y el supuesto de 2026 a 2028 es conservador, dado que el mercado ha crecido más rápido que las proyecciones (ANDEMOS, 2025).

Colombia ya cuenta con avances prometedores, aunque insuficientes. Dos empresas, Altero e Innovación Ambiental (INNOVA), cuentan con licencia ambiental para procesar baterías de iones de litio (Álvarez, 2023), con una capacidad instalada conjunta cercana a las 200 toneladas por mes que actualmente opera al 25-30 % de su capacidad por falta de volumen de baterías llegando al sistema formal (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GIZ] & World Resources Forum, 2025). BATx opera como especialista en diagnóstico y segunda vida de baterías de vehículos eléctricos. Sin embargo, hasta donde pudimos verificar, ningún importador tiene información visible y accesible para sus clientes sobre qué hacer con la batería cuando esta llegue al final de su vida útil, y la normativa vigente presenta vacíos que se detallan en la sección 1.3 de este documento.

Esa capacidad ociosa tiene un valor económico concreto que hoy no se está capturando. La Tabla 1 traduce ese 70-75 % de capacidad sin usar en una estimación de la oportunidad económica que representa para el sector formal de reciclaje colombiano.

Tabla 1

Estimación de la oportunidad económica no capturada en la capacidad instalada de reciclaje

Concepto	Valor
Capacidad instalada conjunta (Altero + INNOVA)	200 toneladas/mes ≈ 2.400 toneladas/año
Utilización actual reportada	25 % - 30 % (GIZ & World Resources Forum, 2025)
Volumen procesado actualmente (estimado)	≈ 600 - 720 toneladas/año
Capacidad instalada sin usar (punto medio)	≈ 1.740 toneladas/año
Margen neto de referencia por tonelada procesada	≈ USD 710/tonelada (ingresos por black mass y metales, menos costo de procesamiento; GLG, 2026)

Concepto	Valor
Oportunidad económica no capturada (estimada)	≈ USD 1,23 millones/año

Nota. Elaboración propia. Capacidad y utilización según GIZ & World Resources Forum (2025). Margen de referencia por tonelada según GLG (2026), un valor de mercado global aplicado aquí como aproximación, ya que en nuestra búsqueda no encontramos datos publicados específicos para el mercado colombiano. El volumen procesado actualmente se estimó aplicando el porcentaje de utilización reportado a la capacidad instalada, y no proviene de un registro de toneladas procesadas.

Esta cifra debe leerse como una aproximación de orden de magnitud, no como una proyección financiera precisa: el margen de USD 710 por tonelada proviene de precios internacionales de mercado y de una operación a escala industrial, mientras que Altero e INNOVA operan en un contexto colombiano con costos logísticos, laborales y de acceso a mercados de metales distintos. Aun así, el ejercicio deja un punto claro para la política pública: cerrar la brecha de trazabilidad no es solo una obligación ambiental, es dejar sobre la mesa más de un millón de dólares anuales en ingresos potenciales para una industria de reciclaje colombiana que ya existe y que hoy opera muy por debajo de su capacidad.

1.2 Análisis del ecosistema de innovación en China

Entender el ecosistema chino de gestión de baterías de iones de litio requiere ir más allá de las cifras de producción y mirar cómo está organizado el sistema que permite que esas baterías tengan una ruta de disposición responsable al final de su ciclo. China no construyó simplemente una industria de reciclaje grande, sino una arquitectura de política pública con varios niveles interdependientes que hacen posible esa escala, aunque, como se verá, todavía con vacíos importantes en la práctica.

El sistema regulatorio chino

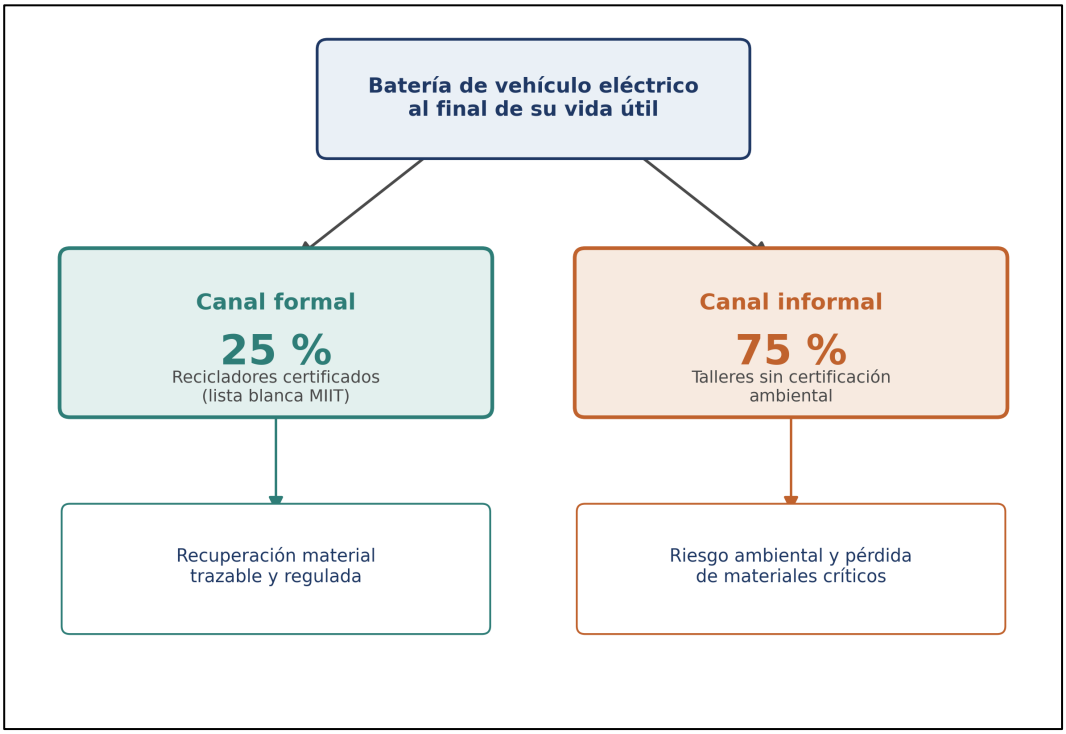
El nivel central lo ocupa el MIIT (Ministerio de Industria y Tecnología de la Información), que administra el sistema de empresas certificadas o “lista blanca” para el reciclaje de baterías y exige a los fabricantes e importadores de vehículos eléctricos asumir la responsabilidad principal de la recolección de sus baterías al final de la vida útil (Yang et al., 2025). Esta responsabilidad extendida del productor no es aspiracional, ya que se enmarca en el plan piloto de responsabilidad extendida del productor para productos automotrices, expedido en 2021 por cuatro ministerios, entre ellos el MIIT, que asigna a los fabricantes la responsabilidad principal de la trazabilidad del reciclaje de las baterías de tracción (Ministerio de Industria y Tecnología de la Información et al., 2021).

Con todo, el propio marco regulatorio chino reconoce sus límites. Yang et al. (2025) describen el sistema de responsabilidad extendida del productor (REP) chino como aún en desarrollo, señalando dos problemas concretos: la heterogeneidad de diseños de batería entre fabricantes dificulta la logística de recolección, y muchos productores se resisten a compartir información técnica con los recicladores. El resultado es que, según cifras de 2023 del Development Research Center del Consejo de Estado (como se cita en Yang et al., 2025), solo alrededor del 25 % de las baterías que llegan al final de su vida útil en China entran a canales formales de reciclaje. El otro 75 % se mueve por circuitos informales, atraídos por márgenes más altos al no asumir costos ambientales.

Para visualizar mejor esta brecha, la Figura 2 esquematiza los dos canales por los que puede circular una batería en desuso y sus consecuencias.

Figura 2

Canales de disposición de baterías de vehículos eléctricos en China: formal e informal



Nota. Elaboración propia con base en Yang et al. (2025).

Este vacío de trazabilidad se explica en parte porque, según los estudios revisados, la norma nacional china no obliga ni incentiva directamente al propietario de un vehículo eléctrico a entregar su batería al sistema formal. La obligación recae sobre el fabricante, no sobre el consumidor, así que cuando el usuario decide vender su batería usada, tiende a elegir el canal que más le pague, que suele ser el informal. Esta es, probablemente, la lección más directamente aplicable para Colombia.

Los actores más relevantes para esta investigación

Build Your Dreams (BYD) lideraba el mercado eléctrico colombiano en enero de 2025, con el 49 % de las matrículas (GIZ & World Resources Forum, 2025). Ese liderazgo cambió de manos durante 2026: la entrada de Tesla al país desplazó a BYD al segundo lugar, con Tesla acumulando 41,6 % de las matrículas eléctricas entre enero y agosto de 2026 frente a 21,6 % de BYD (El Colombiano, 2026). Aun así, BYD sigue siendo uno de los referentes más importantes para este trabajo, no por su posición actual en el mercado sino por ser una de las dos empresas visitadas durante la Misión Internacional. Su tecnología Blade Battery, una configuración de celdas de fosfato de hierro y litio de alta estabilidad, está presente en varios de los modelos de la marca que circulan en el país. Un estudio sobre los modelos de reciclaje de baterías y los incentivos contractuales en China (Feng et al., 2024) documenta que BYD autoriza a sus concesionarios a recolectar las baterías usadas y coopera con GEM, una recicladora certificada externa, para construir una red de valor de reciclaje de materiales, remanufactura de baterías y fabricación de vehículos eléctricos. Un análisis de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de los modelos de negocio circular para el reciclaje de baterías de litio en China (Chen et al., 2026) coincide en que ese tipo de cooperación entre fabricante y recicladores certificados es clave para capturar el valor material de las baterías en desuso.

La escala del mercado chino de baterías se refleja también en la investigación académica reciente. Un estudio del Beijing Institute of Technology publicado en Nature Communications (Zhang et al., 2025) calcula que China necesitará una tasa de recolección de al menos el 84 % de las baterías en desuso para estabilizar el suministro de materiales críticos hacia 2060, dado que, si se cumplen las metas de despliegue de vehículos eléctricos, la demanda proyectada de cobalto y manganeso llegaría a superar en 54 y 116 veces, respectivamente, la producción registrada en 2022. No es una meta que la industria se haya fijado por su cuenta, sino el resultado

de un ejercicio de modelamiento a nivel país que ilustra la magnitud del reto: la brecha entre el 25 % que hoy se recolecta formalmente y el 84 % que se necesitaría es enorme.

Fortalezas y vacíos del modelo chino

La fortaleza del modelo chino está en su escala y en la combinación de regulación con infraestructura real. Según cifras de la Agencia Internacional de Energía, China concentraba en 2023 más del 80 % de la capacidad mundial de reciclaje de baterías, muy por delante de Europa y Estados Unidos, cada uno por debajo del 2 %, y las proyecciones de la misma agencia anticipan que esa participación se mantendrá cerca del 70 % hacia 2030, incluso contando toda la capacidad anunciada en otros países (IEA, 2024), resultado de años de política industrial activa que creó demanda para los materiales reciclados al mismo tiempo que construía la infraestructura para procesarlos.

Pero, como ya se mencionó, hay una lección que China no anticipó bien y que resulta especialmente relevante para Colombia: la informalidad. A pesar de todo el aparato regulatorio, tres de cada cuatro baterías en desuso siguen procesándose fuera del sistema certificado. Es razonable esperar que esas prácticas conlleven un riesgo de contaminación de suelos y aguas subterráneas, lo que erosionaría directamente los beneficios ambientales que se esperaban de la transición eléctrica. Esto confirma que tener una ley de responsabilidad extendida del productor no es, por sí solo, suficiente si no va acompañada de incentivos que lleguen hasta el último eslabón de la cadena: el consumidor.

Otros referentes internacionales a nivel regulatorio: Unión Europea, Canadá y Brasil

La Tabla 2 condensa esta comparación en los cinco criterios más relevantes para el contexto colombiano.

Tabla 2

Comparación de marcos regulatorios internacionales para la gestión de baterías de vehículos eléctricos

Criterio	China	Unión Europea	Canadá	Brasil
Marco normativo específico para baterías EV	Sí, dentro del sistema REP nacional	Sí, Reglamento (UE) 2023/1542, vigente desde 2023	No, regulación fragmentada por provincia	No, solo cubre plomo-ácido; PL 2327/2021 en trámite
Instrumento de trazabilidad	Sistema de lista blanca de recicladores certificados	Pasaporte de Batería, obligatorio desde febrero de 2027	No identificado a nivel federal en las fuentes revisadas	No identificado en las fuentes revisadas
Responsabilidad extendida del productor	Sí, desde 2021 (Pilot Implementation Plan)	Sí, consolidada desde 2006, reforzada en 2023	Sí, pero administrada por provincia (ej. Call2Recycle)	Parcial, solo para plomo-ácido
Incentivo fiscal específico	No	No de forma directa	No	Sí, Programa Mover (Ley 14.902/2024)
Vacío principal identificado	75 % del reciclaje aún ocurre por canales informales	Cargas de cumplimiento desproporcionadas para pymes	Falta de certeza regulatoria (quiebra de Li-Cycle, 2025)	Sin norma específica para baterías de litio según las fuentes revisadas

Nota. Elaboración propia con base en de Waal (2025), Soavi et al. (2026), Shqairat et al. (2025), Meegoda et al. (2025), Ministerio de Industria y Tecnología de la Información et al. (2021), Reuters (2025) y Furlanetto et al. (2025).

China sigue siendo el referente comparativo principal de este trabajo porque es, hasta donde pudimos verificar, el sistema con mayor recorrido de operación a gran escala. Mientras el instrumento más avanzado de la Unión Europea, el Pasaporte de Batería, apenas entrará en vigor en 2027 y todavía no tiene evidencia de funcionamiento real, China ya lleva años procesando millones de baterías bajo su marco regulatorio. Eso permite observar tanto lo que funciona como lo que falla en la práctica, algo que ningún marco normativo todavía sin

implementar puede ofrecer. Otros referentes internacionales aportan piezas puntuales que complementan este análisis, comenzando por la Unión Europea.

El Reglamento (UE) 2023/1542, que entró en vigor de forma escalonada desde agosto de 2023, reemplaza a la antigua Directiva de Baterías de 2006 y establece responsabilidad extendida del productor, jerarquía de gestión de residuos y metas obligatorias de contenido reciclado, incluido el litio, para las baterías nuevas a partir de 2031 (de Waal, 2025). Uno de sus instrumentos más innovadores es el Pasaporte de Batería, un registro digital obligatorio desde febrero de 2027 que documentará el estado de salud, la composición y la ruta de reciclaje de cada batería a lo largo de toda su vida útil, con niveles de acceso diferenciados para fabricantes, recicladores y autoridades (Soavi et al., 2026), exactamente el tipo de instrumento de trazabilidad concreto que Colombia no tiene todavía y que bien podría inspirar una recomendación puntual más adelante en este documento.

Sin embargo, el Reglamento europeo tampoco está exento de tensiones en su implementación. Un estudio con catorce entrevistas a actores de la industria en Francia, Bélgica, Alemania, Países Bajos, Suiza, Marruecos y Estados Unidos (Shqairat et al., 2025) documenta que los propios fabricantes ven incentivos más débiles en la UE que en Estados Unidos, por la Inflation Reduction Act, o en China, y que la definición de “operador económico” en el Reglamento es tan amplia que no distingue entre una multinacional y una pyme, generando cargas de cumplimiento desproporcionadas para las empresas más pequeñas, un recordatorio de que ni siquiera el marco regulatorio más avanzado del mundo llega perfectamente diseñado desde el papel a la práctica.

El caso de Canadá, mencionado como referente en la etapa de exploración, resulta instructivo por razones casi opuestas. El país no cuenta con una ley federal de gestión de baterías

de vehículos eléctricos: en su lugar, cada provincia regula por su cuenta, y el productor se encarga de administración y reciclaje, la organización que opera la mayoría de los programas provinciales, desde el de Columbia Británica, con meta de cierre de fases para 2026, hasta los de Ontario, Quebec, Manitoba, Saskatchewan y Nueva Escocia (Meegoda et al., 2025). El propio estudio advierte, sin embargo, que esa infraestructura fue construida pensando en baterías de litio de consumo (electrónica, herramientas) y que el marco específico para baterías de vehículos eléctricos todavía no está bien establecido, ni en la ley ni en la práctica operativa.

La quiebra de Li-Cycle en mayo de 2025, una recicladora de baterías con sede en Toronto, muestra lo frágil que puede ser esta industria. Según Reuters (2025), la empresa necesitaba financiamiento adicional para mantener sus operaciones y había enfrentado sobrecostos y problemas técnicos, y la oferta de compra de Glencore buscó compensar sus problemas operativos y financieros. Las causas fueron, por tanto, sobre todo operativas y financieras. Aun así, el caso sugiere que la inversión en reciclaje es sensible a la falta de reglas estables, y que Colombia, con su fragmentación normativa entre el nivel nacional y el distrital, debería resolverla antes de que el volumen de baterías crezca.

Más cerca de nuestra región, el caso de Brasil ofrece un punto de comparación todavía más directo que el de la Unión Europea o China. Brasil tampoco tiene una ley específica para el reciclaje de baterías de vehículos eléctricos: su normativa vigente, la Resolución Conama 401/2008 y la Política Nacional de Residuos Sólidos, cubre baterías de plomo-ácido, pero no las de iones de litio (Furlanetto et al., 2025). Hay un proyecto de ley en trámite, el PL 2327/2021, que busca extender esa cobertura, pero aún no se ha aprobado, y los propios investigadores reconocen que no basta con ampliar la norma existente porque las baterías de litio tienen necesidades distintas de transporte, almacenamiento y reciclaje. Brasil sí cuenta, sin embargo, con un incentivo fiscal, ligado a estándares de reciclaje, que Colombia todavía no tiene: el

Programa Mover, creado por la Ley 14.902/2024, reduce el impuesto sobre productos industrializados que cumplan estándares de reciclaje.

1.3 Normograma - Diagnóstico en el contexto colombiano

El diagnóstico del contexto colombiano para este trabajo de investigación no es el de una empresa individual sino el de un sector-país, entendido como el ecosistema de actores públicos y privados que hoy tiene alguna responsabilidad sobre las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos, ya sea porque las importan, las gestionan, las regulan o eventualmente tendrán que procesarlas. El punto de partida es el marco normativo vigente (ver Tabla 3).

Tabla 3

Normograma del marco regulatorio colombiano para la gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos

Norma	Año	Entidad	Qué regula en general	Qué dice (o no dice) sobre baterías de iones de litio de vehículos eléctricos
Resolución 1297 (derogada)	2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Sistemas de recolección selectiva de pilas y acumuladores. Responsabilidad del productor en posconsumo.	No contemplaba baterías de vehículos, que excluía de forma expresa. Aplicaba a pilas domésticas y acumuladores de pequeño formato. Fue derogada a partir del 1 de enero de 2023 por la Resolución 851 de 2022, pero es el antecedente más antiguo del principio de REP en Colombia.
Ley 1672	2013	Congreso de la República	Marco legal para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).	Establece la responsabilidad extendida del productor para todo el ciclo de vida de los productos eléctricos y electrónicos. Las baterías de vehículos eléctricos podrían clasificar bajo esta ley, pero no están definidas explícitamente como RAEE.
Decreto 1079	2015	Ministerio de Transporte	Reglamento único del sector transporte, incluyendo	Las baterías de iones de litio están clasificadas bajo el código UN 3480 de Naciones Unidas como mercancía peligrosa, lo que regula su transporte entre centros de servicio y plantas de

Norma	Año	Entidad	Qué regula en general	Qué dice (o no dice) sobre baterías de iones de litio de vehículos eléctricos
			mercancías peligrosas.	tratamiento. Es la norma más concreta que afecta la logística inversa de estos residuos.
Ley 1964	2019	Congreso de la República	Promueve el uso de vehículos eléctricos, exenciones tributarias, incentivos para cargadores y flota oficial.	No menciona la gestión de baterías al final de la vida útil. Su énfasis es en la adopción del vehículo eléctrico, no en la gestión de sus residuos. Este vacío es uno de los más señalados por investigadores colombianos (Alarcón Silva, 2023).
Ley 2169	2021	Congreso de la República	Fortalece la acción climática de Colombia, establece la NDC de reducción del 51 % de emisiones para 2030.	Crea el marco de política climática dentro del cual se justifica la transición eléctrica. No regula baterías directamente, pero obliga al Estado a medir y reportar emisiones del sector transporte, lo que incluye las externalidades del fin de vida de las baterías.
Resolución 0851	2022	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece lineamientos y requisitos para sistemas de recolección y gestión de RAEE (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2022).	Es la norma bajo la cual se gestionan actualmente las baterías de iones de litio de vehículos eléctricos en Colombia, aunque no fue diseñada específicamente para esta categoría de baterías. Sin embargo, tiene un umbral crítico: la obligación de implementar un sistema de recolección solo aplica a importadores que superen 3.000 unidades anuales. La mayoría de importadores de vehículos eléctricos en Colombia no supera ese umbral, por lo que técnicamente están exentos (GIZ & World Resources Forum, 2025).
Resolución 0799	2025	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Regula la gestión de baterías usadas de plomo-ácido provenientes de vehículos.	Importante como precedente: establece metas de recolección progresivas hasta el 90 %, obliga a productores e importadores a financiar sistemas de recolección y crea el principio de trazabilidad. No aplica a baterías de iones de litio, pero sienta el modelo normativo que debería extenderse a este tipo de baterías (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2025).

Nota. Elaboración propia con base en Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), Congreso de la República de Colombia (2013, 2019, 2021), Ministerio de Transporte de Colombia (2015), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2022, 2025) y

GIZ & World Resources Forum (2025). En el normograma revisado no identificamos ninguna norma que regule de forma específica, integral y obligatoria la gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos al final de su vida útil. Las normas existentes se aplican por analogía, por ejemplo tratándolas como residuos electrónicos generales cuando en realidad requieren un tratamiento diferente. Tampoco identificamos un sistema de trazabilidad, estándares de segunda vida, incentivos al consumidor para entregar la batería ni claridad sobre qué entidad tiene la responsabilidad primaria de vigilar el cumplimiento.

El vacío normativo no es solo horizontal, entre categorías de residuos, sino también vertical, entre niveles de gobierno. Bogotá adoptó en 2023, mediante el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) Distrital 30, su propia Política Pública de Movilidad Motorizada de Cero y Bajas Emisiones, con horizonte a 2040, que incluye entre sus pilares "promover un modelo de economía circular de baterías eléctricas" (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2023, p. 52). Sin embargo, más de un año después de su adopción, esa política seguía a la espera de los instrumentos concretos de implementación, un ejemplo pequeño pero revelador de un patrón más amplio: Colombia no solo tiene vacíos en lo que dice la norma, sino también en la coordinación entre quién la dicta y quién finalmente la ejecuta.

Capacidades actuales y brechas de Colombia

El diagnóstico no es completamente negativo. Colombia tiene activos reales sobre los que puede construir. Altero opera con tecnología propia de reciclaje en seco, sin químicos y cero emisiones, con plantas en Guarne (Antioquia), Bogotá y Barranquilla, y solo Altero, sin contar a INNOVA, creció en un 69,8% en volumen de baterías procesadas en 2024, alcanzando 150 toneladas (GIZ & World Resources Forum, 2025). BATx ha demostrado viabilidad técnica y económica del modelo de segunda vida a través del piloto con Auteco en Cartagena, que en

2024 redujo 88 kilogramos de residuos peligrosos, 2.016 kilogramos de CO_2 y generó un ahorro de 2.656 kilovatios-hora (Sánchez Monsalve, 2025). Y el documento publicado en 2025 por la GIZ y el World Resources Forum con participación del Ministerio de Ambiente, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), ANDEMOS y los principales actores del sector (GIZ & World Resources Forum, 2025) ofrece una hoja de ruta sectorial que representa el trabajo más avanzado que identificamos en Colombia sobre el tema.

Las brechas, sin embargo, son estructurales. Hasta donde pudimos verificar, ningún importador de vehículos eléctricos en Colombia tiene un programa visible de comunicación al consumidor sobre qué hacer con la batería cuando esta llegue al final de su vida útil, la información disponible se concentra en los beneficios del vehículo y los incentivos tributarios, pero el posconsumo es territorio desconocido para la mayoría de los compradores. Algunas marcas exigen que sus baterías sean exportadas a sus países de origen para ser procesadas, lo que bloquea el desarrollo de capacidad local de reciclaje y captura el valor de los materiales críticos fuera de Colombia (GIZ & World Resources Forum, 2025). La ausencia de un sistema de trazabilidad significa que hoy no hay una fuente pública que permita saber con precisión cuántas baterías hay en circulación, en qué estado están y cuándo comenzarán a generar residuos a escala, una información indispensable para cualquier política pública seria.

1.4 Definición del problema / oportunidad de innovación (marco HMW)

A partir del diagnóstico del ecosistema colombiano y de los aprendizajes de la exploración del modelo chino, el equipo formula el siguiente reto de innovación en política pública que orienta el desarrollo de este trabajo de investigación.

¿Cómo podría Colombia adaptar los mecanismos de política pública del ecosistema chino e internacional de gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos para prevenir una futura crisis de residuos y promover la economía circular en el país?

Este reto articula tres tensiones que el trabajo de investigación busca resolver. Primero, la tensión entre urgencia y preparación: aunque el pico de la crisis de residuos no llegará sino hasta el final de la década de 2030, la ventana para construir el sistema (trazabilidad, certificación, incentivos) es precisamente ahora, mientras el volumen de baterías en desuso todavía es bajo y la informalidad no se ha consolidado como la norma. También está la tensión entre escala y viabilidad, dado que el modelo chino funciona a una escala que Colombia no puede replicar directamente, por lo que las lecciones deben ser seleccionadas y adaptadas, no trasplantadas. Y, por último, la tensión entre lo técnico y lo institucional, ya que, si bien el problema tiene una dimensión técnica real relacionada con el reciclaje de las baterías, la solución que este trabajo de investigación propone es de naturaleza normativa e institucional, porque es ahí donde Colombia tiene un vacío más urgente y aplicable dentro del alcance de este trabajo.

Las respuestas a este reto se construyeron a partir de las visitas empresariales y académicas de la Misión Internacional China 2026 y, en mayor medida, de la investigación documental complementaria, y se desarrollan en los capítulos 2 y 3 de este documento.

2. Hallazgos Relevantes en China

2.1 Metodología de la exploración de campo

El equipo realizó dos visitas de campo dentro de la Misión Internacional China 2026: a las instalaciones de Xiaomi en Beijing el 9 de junio de 2026, y a las de BYD en Shenzhen el 16 de junio del mismo año. Ambas visitas tuvieron una duración aproximada de una hora y siguieron el formato de un recorrido institucional guiado por personal de atención a visitantes, no una entrevista técnica estructurada con acceso a departamentos regulatorios o de sostenibilidad corporativa.

Esta limitación metodológica es relevante para interpretar correctamente los hallazgos que se presentan a continuación: la ausencia de información técnica detallada durante las visitas no permite concluir que Xiaomi y BYD desconocen internamente cómo gestionan sus baterías al final de la vida útil, sino únicamente que los puntos de contacto específicos asignados durante el recorrido no tenían esa información disponible, o no la compartieron.

En Xiaomi, el recorrido incluyó la exhibición comercial de los modelos SU7 Ultra y YU7, secciones generales sobre la construcción de las baterías con enfoque más comercial que técnico, y el paso por la planta automatizada de ensamblaje. En BYD, el recorrido fue similar pero sin acceso a planta de producción.

Ese vacío informativo es, en sí mismo, un hallazgo. Ni en Xiaomi ni en BYD, dos de los actores más grandes del mercado chino y, en el caso de BYD, la marca que lideraba el mercado colombiano de vehículos eléctricos en enero de 2025, con el 49 % de las matrículas (GIZ & World Resources Forum, 2025), el equipo logró obtener información clara sobre política de gestión de baterías al final de su vida útil, programas de responsabilidad extendida del productor, protocolos

de diagnóstico de estado de salud o el funcionamiento del mercado informal de reciclaje. La información sobre gestión de fin de vida útil de las baterías, en otras palabras, no está disponible de forma accesible ni siquiera para un visitante institucional dentro de las propias instalaciones del fabricante.

En BYD, lo poco que sí se obtuvo fue de gran importancia para la investigación: la persona de contacto explicó que la compañía cuenta con vehículos eléctricos que poseen un sistema de carga ultrarrápida y que, en caso de que la batería original falle, BYD puede entregar al comprador una batería nueva la primera vez que esto ocurre. Pero inmediatamente recalcó que esta situación casi nunca se presenta, porque el perfil del comprador de vehículo eléctrico en China no es el de alguien que conserva el auto por mucho tiempo, sino el de alguien que lo renueva antes de los cinco años.

Este dato adquiere un sentido más amplio si se lee así. Si el reemplazo de batería por falla es un evento poco común porque los propietarios cambian de vehículo antes de que ocurra, buena parte del problema de la gestión de fin de vida útil simplemente se traslada en el tiempo, hacia el momento en que ese vehículo de segunda mano llega al final de su vida útil real, posiblemente en manos de un propietario distinto y con menos trazabilidad. Se trata de una inferencia del equipo, y es consistente con la cifra que ya se mencionó, según la cual solo un 25 % de las baterías en desuso en China entra a canales formales de reciclaje.

La información que el equipo no obtuvo en la visita se logró reconstruir después mediante investigación documental sobre la normativa china vigente. China cuenta con un marco de seguridad técnica mucho más desarrollado que su marco de trazabilidad de fin de vida útil. La norma GB 38031-2025, que entró en vigor el 1 de julio de 2026, exige que las baterías de tracción para vehículos eléctricos no presenten riesgo de incendio ni explosión durante al menos dos

horas tras un evento de fuga térmica, y su norma complementaria a nivel de vehículo completo, GB 18384-2025, entró en vigor la misma fecha. A esto se suma que, desde el 1 de septiembre de 2026, China aplica un impuesto al consumo del 2 % sobre baterías de litio (que subirá al 4 % desde 2027), poniendo fin a una exención vigente desde 2015, mientras eximirá de este impuesto a las baterías de sodio-ion y de estado sólido hasta 2028 como incentivo a tecnologías emergentes (APA Engineering, 2026; CnEVPost, 2026).

Es decir, el aparato regulatorio chino sí está actuando con fuerza y rapidez en materia de seguridad técnica y de política fiscal para orientar la innovación hacia nuevas químicas de batería, pero no está resolviendo con la misma fuerza la trazabilidad y la responsabilidad de fin de vida útil, que sigue siendo, como ya se documentó, un punto ciego del sistema.

Esta misma falta de transparencia se repite, con matices, en el mercado colombiano. En enero de 2026, BYD le solicitó públicamente al gobierno de Colombia, como una de sus cinco prioridades para el sector, la creación de un marco de economía circular con lineamientos claros sobre segundo uso, reciclaje, trazabilidad y responsabilidad extendida para las baterías (Lorduy, 2026), una declaración pública notable si se tiene en cuenta que el mismo fabricante cuyo personal no pudo explicarle al equipo, durante la visita a su planta en Shenzhen, cómo gestiona sus baterías al final de la vida útil, le está pidiendo al Estado colombiano precisamente la claridad normativa que su propio personal de atención a visitantes no pudo transmitir durante la visita. En el caso de Deepal, el otro fabricante chino con presencia creciente en Colombia, no encontramos ningún posicionamiento público sobre el tema, ni siquiera en el nivel de la petición regulatoria que sí hizo BYD, lo cual podría ser otro dato, un silencio frente a la declaración pública de su competidor.

La gestión de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil no es un problema que China, ni sus fabricantes, hayan resuelto y que Colombia simplemente deba copiar, sino uno que China está resolviendo de forma parcial y desigual, con fortalezas claras en seguridad técnica y política industrial, pero con vacíos persistentes en trazabilidad, información pública e incentivos al consumidor, y esos mismos vacíos parecen viajar con los fabricantes cuando entran a mercados como el colombiano.

3. Recomendaciones de Política Pública

Los hallazgos de las dos secciones anteriores permiten construir un diagnóstico bastante claro: Colombia no parte de cero, pero tampoco está cerca de tener un marco completo para la gestión de baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil. Cuenta con la Resolución 851, vigente desde 2022, con metas de recolección generales de RAEE que, por clasificación arancelaria, aplican también a las baterías de ion litio, un ecosistema naciente de gestores y recicladores (Altero, Innova, BATx, Tronex, entre otros), y un principio de responsabilidad extendida del productor que, según el propio Banco Interamericano de Desarrollo (Hernández et al., 2024)**,** ya es uno de los más robustos de la región.

Pero también tiene vacíos concretos y bien documentados, tanto por la literatura internacional como por el propio Ministerio de Ambiente y el informe sectorial de GIZ y World Resources Forum (2025). Según esas fuentes, no existen estándares técnicos que permitan certificar que una batería reacondicionada es apta para una segunda vida, lo que alimenta la desconfianza del consumidor. El umbral de 3.000 unidades anuales que activa la obligación de recolección fue diseñado para productos de consumo masivo, como pilas domésticas, y resulta demasiado alto para el mercado de vehículos eléctricos: con apenas unas 20.000 unidades matriculadas en todo el país durante 2025 repartidas entre varias marcas (ANDEMOS, 2025), la

gran mayoría de los importadores individuales queda, en la práctica, por debajo de ese umbral y fuera de la obligación. Tampoco se identifica una trazabilidad real que permita seguirle el rastro a una batería desde que entra al país hasta su disposición final. Y el vacío no solo lo señalan los investigadores y el propio Estado: el sector privado, con BYD como ejemplo, le ha pedido públicamente al gobierno colombiano la claridad normativa que hoy no tiene (Lorduy, 2026).

Las recomendaciones que siguen no pretenden ser exhaustivas ni originales por completo. Se apoyan, de manera deliberada, en lo que ya funciona en otros países y en lo que la propia industria colombiana ha señalado como prioritario, adaptado a las condiciones institucionales del país.

Para que estas recomendaciones sean útiles más allá del papel, se presentan agrupadas en tres fases, ordenadas según qué tanto depende cada una de que la anterior ya esté resuelta.

Fase 1: Base Administrativa

Esta primera fase agrupa los ajustes que no dependen de infraestructura técnica ni de inversión significativa, y que sientan las bases sobre las cuales operan las demás recomendaciones.

Ajustar el umbral y la clasificación arancelaria que hoy dejan a la mayoría de los importadores fuera de la obligación

La Resolución 851 de 2022 obliga a implementar un sistema de recolección y gestión solo a quienes importen o fabriquen más de 3.000 unidades anuales. Es una cifra pensada para pilas de consumo masivo, no para baterías de vehículos eléctricos, y el resultado es que la gran mayoría de los importadores de vehículos eléctricos en Colombia queda técnicamente exenta de

la obligación (GIZ & World Resources Forum, 2025). A esto se suma un problema de clasificación, ya que todas las baterías de litio, sin importar su uso final, entran bajo la misma subpartida arancelaria, lo que impide que el Ministerio de Comercio o la ANLA sepan con precisión cuántas baterías de vehículos eléctricos ingresan realmente al país cada año. Una recomendación de bajo costo y alto impacto sería reemplazar el umbral de unidades por un umbral de 3.000 kilogramos de peso neto, manteniendo la misma cifra que ya usa la norma pero cambiando la unidad de medida. Esto es más apropiado para un producto donde una sola batería de vehículo eléctrico puede pesar entre 100 y 550 kilogramos (por ejemplo, 493 kg en el caso del Volkswagen ID.4, con una batería de 77 kWh; Dagnaw et al., 2026), lo que activaría la obligación con apenas 6 a 30 baterías importadas, según el modelo, en lugar de exigir 3.000 vehículos completos como ocurre hoy. Recomendamos también abrir una subpartida arancelaria específica para baterías de movilidad eléctrica.

Coordinar el nivel nacional con el nivel distrital

El diagnóstico normativo de este trabajo mostró que la Resolución 851 de 2022 no es la única política relevante. Bogotá adoptó en 2023, mediante el CONPES Distrital 30, su propia política de movilidad de cero y bajas emisiones, que incluye entre sus pilares promover un modelo de economía circular de baterías eléctricas, pero que más de un año después seguía sin instrumentos concretos de implementación. Antes de que Colombia piense en construir sistemas nuevos, valdría la pena que el Ministerio de Ambiente y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, que además ya participaron juntos en el proceso de construcción del informe sectorial de GIZ, articulen formalmente sus dos marcos, para que la ciudad con mayor concentración de vehículos eléctricos del país no termine con una política de papel desconectada de la norma nacional que sí tiene dientes regulatorios.

Si ese modelo de coordinación llega a funcionar, valdría la pena convertirlo en una plantilla replicable para otras ciudades como Medellín, que también verán crecer su parque de vehículos eléctricos en los próximos años y enfrentarán tarde o temprano el mismo reto.

Fase 2: Infraestructura de Información

Una vez resuelta la base administrativa, la siguiente fase construye la capacidad de saber qué baterías existen, dónde están y en qué estado se encuentran.

Trazabilidad: adoptar un instrumento tipo pasaporte de batería

El vacío más citado a lo largo de este trabajo, tanto en las fuentes internacionales como en el diagnóstico nacional, es la ausencia de un sistema que permita seguir a una batería desde que entra al país hasta que se recicla o se le da una segunda vida. El Reglamento europeo de baterías resolverá esto con el Pasaporte de Batería, un registro digital obligatorio desde febrero de 2027 que documentará el estado de salud, la composición y la ruta de reciclaje de cada unidad (Soavi et al., 2026). Colombia no necesita inventar un instrumento nuevo: podría adaptar ese modelo, aprovechando que el país ya cuenta con el Registro de Productores y Comercializadores de AEE (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia, 2020) como base institucional sobre la cual construir un sistema equivalente, específico para baterías de vehículos eléctricos. El reto no es tecnológico, es de voluntad regulatoria: exigir que cada batería importada quede vinculada a un identificador único, accesible tanto para el importador como para el gestor que eventualmente la reciba al final de su vida útil.

Resolver el acceso cerrado a la información del sistema de gestión de la batería

Un obstáculo técnico que se repite tanto en la literatura internacional como en el diagnóstico colombiano es el acceso al BMS (Battery Management System, o sistema de gestión de la batería), que registra su historial de carga, temperatura y estado de salud. Los gestores colombianos reportan que los fabricantes no comparten esta información, lo que dificulta el diagnóstico preciso de una batería usada (GIZ & World Resources Forum, 2025), lo cual coincide con un patrón más amplio de opacidad que el equipo observó directamente en Xiaomi y BYD: ni siquiera en un recorrido institucional dentro de sus propias plantas fue posible obtener claridad sobre la política de gestión de sus baterías al final de su vida útil. Aquí Colombia tiene poco margen de acción unilateral, porque depende de estándares de divulgación que los fabricantes definen a nivel global, pero sí podría exigir, como condición de homologación para la venta de vehículos eléctricos en el país, un nivel mínimo de interoperabilidad del BMS con las herramientas de diagnóstico de los gestores nacionales.

Fase 3: Confianza e incentivos de mercado

Con la información disponible de la fase anterior, esta última fase busca generar la confianza y los incentivos necesarios para que exista un mercado real de segunda vida de baterías, algo que hoy ocurre solo a pequeña escala por falta de certificación y de motivación económica.

Certificación técnica para la segunda vida de las baterías

Uno de los hallazgos más concretos del diagnóstico nacional es que los propios gestores colombianos, como Tronex y BATx, ya tienen la capacidad técnica para diagnosticar el estado de salud de una batería y determinar si es apta para una segunda vida, por ejemplo en sistemas

de almacenamiento de energía solar, pero no cuentan con un estándar nacional que respalde esa certificación ante el mercado, lo cual alimenta la desconfianza del consumidor hacia una batería reacondicionada, incluso cuando puede costar hasta un 60 % menos que una nueva (Dong et al., 2023). Colombia no tendría que partir de cero: ya existen estándares internacionales aplicables, como el ANSI/CAN/UL 1974:2023 o el IEC 63330-1:2024, y el país ya tiene experiencia reciente construyendo normas técnicas propias para RAEE con el ICONTEC. Adaptar uno de esos estándares internacionales al contexto colombiano, con el acompañamiento de ICONTEC y de la Universidad de Antioquia, que ya investiga en este campo a través del CIDEMAT, es una tarea de mediano plazo, pero no una tarea nueva desde el punto de vista institucional.

Incentivos fiscales concretos, no solo obligaciones

La experiencia de Brasil, con el Programa Mover, que reduce el Impuesto sobre Productos Industrializados a los vehículos que cumplan estándares de reciclabilidad, sugiere que un marco de solo obligaciones tiene límites (Furlanetto et al., 2025). Colombia podría explorar un mecanismo similar, condicionando algún beneficio tributario ya existente para vehículos eléctricos a que el fabricante o importador demuestre tener un plan de recolección y reciclaje verificable. Esto conecta también con un hallazgo empírico más amplio: el estudio de Compagnoni et al. (2025) sobre los efectos comerciales de la responsabilidad extendida del productor muestra que los países que adoptan este tipo de políticas no terminan exportando sus residuos hacia mercados con regulación más débil, sino hacia países con mayor capacidad tecnológica de reciclaje, lo cual respalda la idea de que fortalecer el marco de responsabilidad extendida del productor en Colombia, lejos de generar un problema de exportación irresponsable de residuos, podría en cambio incentivar la especialización de la industria nacional de reciclaje que ya existe, aunque todavía a pequeña escala.

Un incentivo dirigido directamente al propietario del vehículo

Ninguna de las seis recomendaciones anteriores llega hasta el propietario del vehículo, que es precisamente el último eslabón de la cadena y quien toma la decisión final sobre qué hacer con una batería en desuso. Colombia podría cerrar ese vacío con un mecanismo de depósito reembolsable dirigido directamente al consumidor: al comprar un vehículo eléctrico, el propietario pagaría un valor adicional que le sería devuelto por completo al momento de entregar su batería usada por un canal formal certificado. Este depósito quedaría vinculado a la batería a través del pasaporte de batería propuesto en la recomendación de trazabilidad, y no a la persona que hizo la compra original, de modo que si el vehículo cambia de dueño antes de que la batería llegue a su fin de vida útil, el derecho a la devolución se transfiere junto con el vehículo.

La evidencia respalda este enfoque. Hao et al. (2022) compararon mecanismos de depósito reembolsable contra mecanismos de premio-sanción para la recolección de baterías de vehículos eléctricos, y encontraron que el depósito reembolsable logra tasas de recolección más altas en casi todos los escenarios analizados. China misma experimentó con una versión de este mecanismo en Shenzhen desde 2018, aunque estructurada principalmente a nivel de fabricante y no del propietario final, que es justo la extensión que Colombia podría hacer para llegar más lejos que el propio referente chino.

Además de las tres fases, hay una lección que no encaja como un paso más en la secuencia porque debería tenerse presente en las tres al mismo tiempo:

Aprender de lo que no ha funcionado en otros países

Finalmente, dos lecciones negativas merecen mencionarse explícitamente porque son fáciles de pasar por alto. La primera es la de Canadá, donde no identificamos un marco federal

claro para baterías de vehículos eléctricos en las fuentes revisadas y donde ocurrió en 2025 la quiebra de Li-Cycle, una recicladora con sede en Toronto (Reuters, 2025). Reuters atribuye esa quiebra a problemas operativos y financieros, no a la regulación; aun así, la falta de certeza regulatoria no solo es un problema ambiental, también es un problema de inversión, porque difícilmente una empresa colombiana de reciclaje va a escalar su capacidad si no tiene claridad sobre las reglas de juego a diez o quince años.

La segunda es la de China, donde a pesar de tener uno de los marcos regulatorios más antiguos y desarrollados del mundo en esta materia, tres de cada cuatro baterías en desuso todavía se procesan por fuera del sistema formal, porque la obligación recae sobre el fabricante y, según los estudios revisados, no hay un incentivo directo que empuje al consumidor a devolver su batería por el canal correcto (Yang et al., 2025). Colombia debería diseñar, desde ahora, mecanismos que lleguen hasta el último eslabón de la cadena, el propietario del vehículo, y no asumir que basta con regular al productor.

La Tabla 4 asigna a cada una de las siete recomendaciones desarrolladas en este capítulo un responsable institucional, un horizonte temporal, un costo estimado y un indicador de seguimiento.

Tabla 4

Responsables, horizontes temporales, costos estimados e indicadores de seguimiento por recomendación

Recomendación	Responsable institucional	Horizonte temporal	Costo estimado	Indicador de seguimiento
Ajustar el umbral y la clasificación arancelaria	Ministerio de Ambiente y DIAN	Corto plazo (6-12 meses)	Bajo (cambio normativo, sin inversión en infraestructura)	Porcentaje de importadores de vehículos eléctricos cubiertos por la obligación de recolección

Recomendación	Responsable institucional	Horizonte temporal	Costo estimado	Indicador de seguimiento
Coordinar el nivel nacional con el distrital	Ministerio de Ambiente y Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá	Corto plazo (6 meses)	Bajo (articulación institucional, sin costo de capital)	Existencia de un acuerdo formal de articulación firmado entre ambos niveles
Trazabilidad: pasaporte de batería	Ministerio de Ambiente y ANLA	Mediano plazo (1-2 años)	Alto (requiere construir un sistema digital de registro)	Porcentaje de baterías de vehículos eléctricos con registro de trazabilidad activo
Resolver el acceso cerrado al BMS	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (homologación) y Ministerio de Ambiente	Mediano plazo (1-2 años)	Medio (negociación técnica con fabricantes, sin desarrollo propio)	Porcentaje de modelos de vehículos eléctricos homologados con interoperabilidad mínima del BMS
Certificación técnica para segunda vida	ICONTEC, con acompañamiento del Ministerio de Ambiente	Mediano plazo (18-24 meses)	Medio (desarrollo de norma técnica con ICONTEC)	Publicación de una norma técnica colombiana para baterías reacondicionadas
Incentivos fiscales concretos	Ministerio de Hacienda y DIAN	Mediano plazo (1-2 años)	Medio (costo fiscal por menor recaudo, no de implementación)	Porcentaje de importadores o fabricantes acogidos al incentivo tributario
Incentivo directo al propietario del vehículo	Ministerio de Ambiente y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo	Mediano-largo plazo (2-3 años, sujeto a piloto previo)	Alto (requiere fondo de depósito y administración del esquema)	Tasa de devolución de baterías usadas por parte de los propietarios de vehículos

Nota. Elaboración propia con base en las recomendaciones desarrolladas en este capítulo. La categoría de costo es una clasificación cualitativa y relativa entre las siete recomendaciones, según lo que genera el gasto en cada caso (un acto normativo, un desarrollo técnico o la construcción de un sistema), y no una estimación en montos, que no encontramos publicada para el contexto colombiano.

Vale la pena una advertencia adicional: costo bajo no es sinónimo de fácil implementación. Ajustar el umbral y coordinar el nivel nacional con el distrital son las dos recomendaciones de menor costo monetario, pero también las que más dependen de voluntad política y coordinación entre entidades que hoy operan de forma independiente. La resistencia burocrática a modificar una norma ya expedida, o a que dos niveles de gobierno cedan autonomía

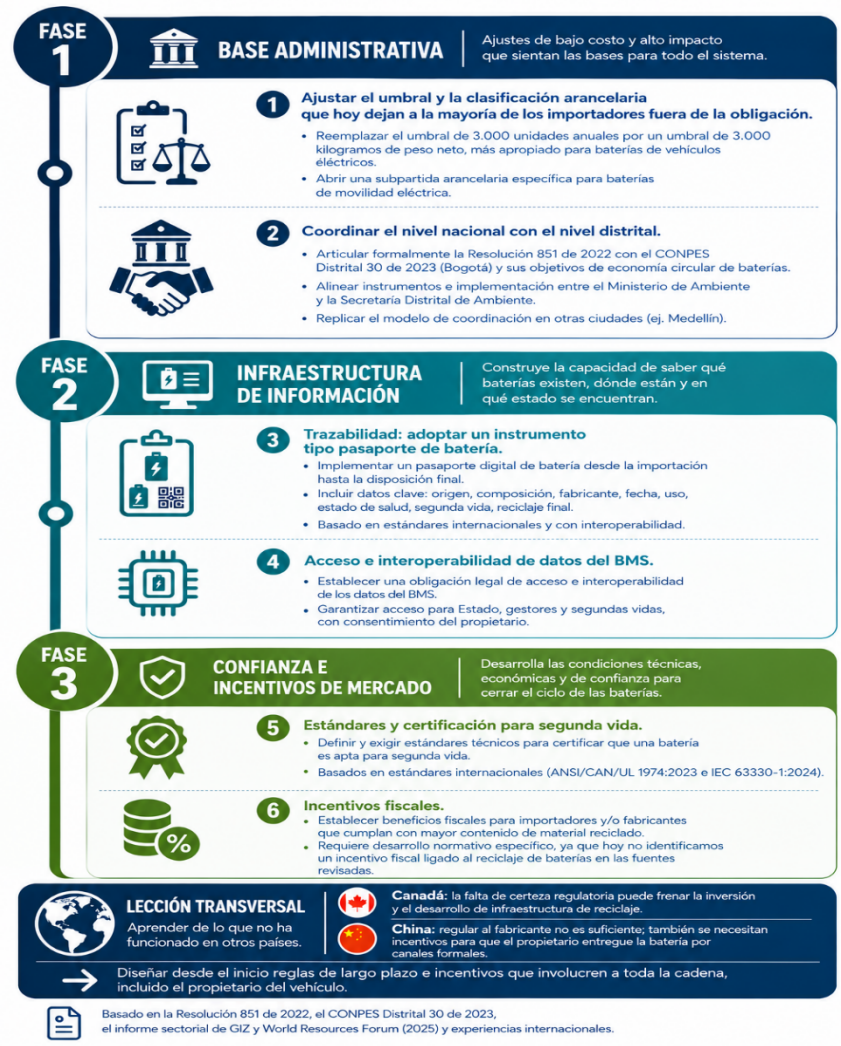
en favor de un marco conjunto, puede terminar siendo un obstáculo mayor que cualquier limitación de presupuesto.

Ruta de implementación

Para sintetizar visualmente esta ruta de implementación, la Figura 3 organiza las tres fases y la lección transversal descritas en esta sección.

Figura 3

Ruta de implementación de las recomendaciones de Política Pública



Nota. Elaboración propia con base en las recomendaciones desarrolladas en este capítulo. El incentivo dirigido al propietario del vehículo (séptima recomendación) se refleja en la lección transversal de la figura y no como un paso independiente.

4. Conclusiones

Respuesta a la pregunta de investigación

Este trabajo partió de una pregunta concreta: ¿cómo podría Colombia adaptar los mecanismos de política pública del ecosistema chino e internacional de gestión de baterías de iones de litio de vehículos eléctricos para prevenir una futura crisis de residuos y promover la economía circular en el país? La respuesta que se desprende del diagnóstico y las siete recomendaciones desarrolladas en el capítulo 3 no es un mecanismo único, sino un conjunto secuenciado de ajustes normativos e institucionales, varios de ellos de bajo costo relativo y otros que exigen inversión, como el pasaporte de batería y el incentivo al propietario: corregir el umbral y la clasificación arancelaria que hoy excluyen a la mayoría de los importadores de la obligación de recolección, adoptar un instrumento de trazabilidad tipo pasaporte de batería, resolver el acceso cerrado a la información del sistema de gestión de la batería, certificar técnicamente la segunda vida de las baterías, introducir incentivos fiscales para el productor y un depósito reembolsable dirigido, de forma novedosa, al propietario del vehículo, y coordinar el nivel normativo nacional con el distrital.

Ninguna de estas recomendaciones parece depender de tecnología que Colombia no tenga. El país ya cuenta con recicladores certificados (Altero, INNOVA) y con un especialista en segunda vida (BATx); lo que falta es el marco normativo que les permita operar a escala. En ese sentido, la respuesta a la pregunta de investigación es menos sobre qué construir y más sobre qué corregir en lo que ya existe. Además, como muestra la Figura 1, el grueso de las baterías en desuso llegaría hacia finales de la década de 2030, lo que deja un margen para implementar estas recomendaciones antes de que el problema alcance su mayor escala.

Limitaciones del estudio

Este trabajo tiene limitaciones que deben reconocerse con la misma honestidad con la que se presentaron los hallazgos. Primera, la información obtenida directamente en las visitas a Xiaomi y BYD fue limitada, como se explicó en la sección 2.1: el personal que atendió al equipo correspondía a áreas comerciales y de atención a visitantes, no a departamentos técnicos o regulatorios, por lo que buena parte del análisis del ecosistema chino se reconstruyó mediante investigación documental posterior a la misión, no mediante observación directa.

Segunda, la cuantificación de la oportunidad económica presentada en el capítulo 3 se apoya en un margen de referencia de mercado global (GLG, 2026), no en datos específicos del mercado colombiano, que no logramos encontrar publicados. Esa cifra debe leerse como una aproximación de orden de magnitud y no como una proyección financiera precisa para Altero o INNOVA.

Tercera, la proyección de toneladas de baterías en fin de vida útil presentada en la Figura 1 depende de supuestos declarados sobre la vida útil de la batería y la forma de la curva de retiro, construidos a partir de literatura internacional y de información oficial de BYD sobre su Blade Battery (BYD, 2026; E-Mobility Engineering, 2026; Yang et al., 2025), porque no encontramos series propias de este tipo ni registros publicados de degradación real de las baterías en uso en Colombia. Son supuestos razonables y transparentes, no mediciones, y la vida útil real de cada batería individual seguirá dependiendo del patrón de carga de su propietario.

Cuarta, el trabajo no incluyó una entrevista directa con BYD Colombia, Altero o INNOVA que permitiera contrastar el diagnóstico documental con la perspectiva de quienes ya operan en

el sector; esa conversación habría fortalecido considerablemente las recomendaciones, particularmente la de los incentivos fiscales y la del acceso al sistema de gestión de la batería.

Además, los vacíos de información que se señalan a lo largo de este trabajo, como los datos publicados sobre el mercado colombiano de reciclaje de baterías o sobre la degradación real de las baterías en uso, corresponden a lo que logramos encontrar mediante búsquedas en la web y en el buscador con inteligencia artificial de la biblioteca de la universidad. No se trató de una revisión sistemática de la literatura, por lo que no descartamos que exista información publicada que no hayamos identificado.

Líneas de trabajo futuro

A partir de estas limitaciones, quedan al menos tres líneas de investigación futura con valor claro para la política pública colombiana. La primera es un estudio de campo que reemplace los supuestos de la Figura 1 por datos primarios: una encuesta o registro voluntario entre importadores de vehículos eléctricos sobre el estado real de sus baterías más antiguas permitiría calibrar la curva de retiro con información colombiana, no solo internacional. La segunda es un análisis financiero detallado, con acceso directo a los estados de costos de Altero e INNOVA, que reemplace la aproximación de la Tabla 1 por una proyección de negocio verificable. La tercera es el seguimiento de la implementación del Pasaporte de Batería europeo a partir de su entrada en vigor en febrero de 2027, que ofrecerá, por primera vez, evidencia real sobre el funcionamiento de ese instrumento y podrá informar con mayor precisión si Colombia debería adoptar un mecanismo equivalente.

Referencias

Alarcón Silva, J. Y. (2023). *Reciclaje de baterías de vehículos eléctricos en Colombia* [Trabajo de investigación formativa, Especialización en Gestión de Desarrollo Administrativo]. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Militar Nueva Granada.

Álvarez, C. A. (2023, 9-10 de mayo). *Segunda vida de baterías de vehículos eléctricos - Colombia* [Presentación institucional]. Estrategias de economía circular en la gestión integral de baterías fuera de uso de vehículos eléctricos, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Buenos Aires, Argentina. https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/carlos_alvarez_-_colombia.pdf

Anthropic. (2026). *Claude* (claude-sonnet-4-6) [Modelo de lenguaje de gran escala]. Anthropic. https://claude.ai

APA Engineering. (2026, 14 de agosto). China tightens EV battery safety standards. *APA Engineering.* https://apaengineering.com/compliance-news/china-tightens-ev-battery-safety-standards-in-2026

Asociación Nacional de Movilidad Sostenible. (2025). *Informe de ventas del sector automotor colombiano 2025.* https://datastudio.google.com/u/0/reporting/ceb8deeb-3b00-4e08-8536-5a0f2ebb5cf2/page/pECHB

BYD. (2026, 20 de enero). *BYD extends warranty of Blade Battery to eight years or 250,000km.* BYD Media. https://media.byd.com/byd-extends-warranty-of-blade-battery-to-eight-years-or-250000km/

Chen, J., Vasilcovschi, N., Wang, L., & Wang, L. (2026). Integrating circular economy principles with business models for lithium-ion battery recycling in China: A SWOT and material value analysis. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *28*, Artículo 73. https://doi.org/10.1007/s10098-026-03424-9

CnEVPost. (2025, 11 de febrero). Global EV battery market share in 2024: CATL 37.9%, BYD 17.2%. *CnEVPost.* https://cnevpost.com/2025/02/11/global-ev-battery-market-share-2024/

CnEVPost. (2026, 17 de julio). China to impose consumption tax on lithium batteries, exempting sodium-ion and solid-state cells. *CnEVPost.* https://cnevpost.com/2026/07/17/china-to-impose-consumption-tax-lithium-batteries/

Compagnoni, M., Grazzi, M., Pieri, F., & Tomasi, C. (2025). Extended producer responsibility and trade flows in waste: The case of batteries. *Environmental and Resource Economics*, *88*(1), 43–76. https://doi.org/10.1007/s10640-024-00907-5

Congreso de la República de Colombia. (2013, 19 de julio). Ley 1672 de 2013, por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial n.º 48.856. https://www1.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825

Congreso de la República de Colombia. (2019, 11 de julio). Ley 1964 de 2019, por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial n.º 51.011. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1964-2019.pdf

Congreso de la República de Colombia. (2021, 22 de diciembre). 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. Diario Oficial n.º 51.896. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/ley_2169_2021.htm

Consensus. (2025). *Consensus* [Motor de búsqueda académica con inteligencia artificial]. Consensus NLP. https://consensus.app

Dagnaw, E. S., Aga, A. G., & Sufe, G. (2026). Energy efficient thermal and hydraulic performance analysis of a serpentine liquid cooled lithium ion battery pack for electric vehicles. *Scientific Reports*, *16*(1), Artículo 16082. https://doi.org/10.1038/s41598-026-46404-1

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit & World Resources Forum. (2025). *Recomendaciones para una estrategia sectorial para la gestión de baterías usadas de ion-litio en Colombia.* https://www.wrforum.org/wp-content/uploads/2026/01/2025_Estrategia-Gestion-de-ULIB-en-Colombia_ES.pdf

de Waal, I. M. (2025). The legal transition towards a more circular battery value chain: A critical analysis of the Batteries Regulation. *Transnational Environmental Law*, *14*(3), 553–581. https://doi.org/10.1017/S2047102525100034

Dong, Q., Liang, S., Li, J., Kim, H. C., Shen, W., & Wallington, T. J. (2023). Cost, energy, and carbon footprint benefits of second-life electric vehicle battery use. *iScience*, *26*(7), Artículo 107195. https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107195

El Colombiano. (2026, 8 de septiembre). *Uno de cada dos carros nuevos ya es eléctrico o híbrido: Tesla y BYD concentran más del 60% en 2026.* https://www.elcolombiano.com/negocios/vehiculos-electricos-hibridos-colombia-ventas-tesla-byd-electrolineras-2026-DA41142573

E-Mobility Engineering. (2026, 16 de marzo). *BYD Blade Battery & EV longevity: 10-15 year life push.* https://www.emobility-engineering.com/byd-battery-longevity-ev-uk/

Feng, L., Qu, M., Ng, A. K. Y., Jia, P., & Kuang, H. (2024). Battery recycling models selection and contractual incentives: From an information sharing perspective. *Journal of Cleaner Production*. Publicación anticipada en línea. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142583

Furlanetto, J., de Lara, M. V. C., Simionato, M., Nascimento, V. do, & Telli, G. D. (2025). An overview of lithium-ion battery recycling: A comparison of Brazilian and international scenarios. *World Electric Vehicle Journal*, *16*(7), Artículo 371. https://doi.org/10.3390/wevj16070371

GLG. (2026, 28 de mayo). *The economics around lithium-ion battery recycling are strong and growing.* https://glg.com/articles/the-economics-around-lithium-ion-battery-recycling-are-strong-and-growing

Hao, H., Xu, W., Wei, F., Wu, C., & Xu, Z. (2022). Reward-penalty vs. deposit-refund: Government incentive mechanisms for EV battery recycling. *Energies*, *15*(19), Artículo 6885. https://doi.org/10.3390/en15196885

Hernández, V. L., Hilbert, I., Castillero, L. G., Manhart, A., García, D., Nkongdem, B., Dumitrescu, R., Sucre, C. G., & Herrera, C. F. (2024). *Reciclaje y reúso de baterías de litio en América Latina y el Caribe: Revisión analítica de prácticas globales y regionales.* Banco Interamericano de Desarrollo. https://doi.org/10.18235/0005660

International Energy Agency. (2024). *Global EV Outlook 2024.* IEA. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024

Lorduy, J. (2026, 30 de enero). La firma china BYD hace peticiones al Gobierno para potenciar la venta de carros eléctricos en Colombia. *Portafolio.* https://www.portafolio.co/negocios/empresas/la-firma-china-byd-hace-peticiones-al-gobierno-para-que-mejore-la-venta-de-carros-electricos-en-colombia-487352

Meegoda, J. N., Watts, D., & Patil, U. (2025). Regulations and policies on the management of the end of the life of lithium-ion batteries in electrical vehicles. *Energies*, *18*(3), Artículo 604. https://doi.org/10.3390/en18030604

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010, 8 de julio). Resolución 1297 de 2010, por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial n.º 47.769.

https://cancilleria.gov.co/normograma/compilacion/docs/resolucion_minambientevdt_1297_2010.htm

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2022, 5 de agosto). *Resolución 851 de 2022, por la cual se establecen los requisitos y condiciones para la operación, evaluación y seguimiento de los Sistemas de Recolección y Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, y se dictan otras disposiciones.* https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=138637

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2025, 15 de agosto). Colombia regula la gestión responsable de baterías usadas — Resolución 0799 de 2025. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.* https://www.minambiente.gov.co/colombia-regula-la-gestion-responsable-de-baterias-usadas/

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia. (2020, 17 de abril). *Resolución 480 de 2020, por la cual se implementa el Registro de Productores y Comercializadores de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RPCAEE) y se establecen sus requisitos.* https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-480-de-2020-del-ministerio-de-comercio-industria-y-turismo/

Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Finanzas, & Ministerio de Comercio de la República Popular China. (2021, 26 de mayo). 四部委关于印发汽车产品生产者责任延伸试点实施方案的通知 [Aviso de los cuatro ministerios sobre la emisión del plan piloto de implementación de la

responsabilidad extendida del productor para productos automotrices]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/10/content_5616601.htm

Ministerio de Transporte de Colombia. (2015, 26 de mayo). Decreto 1079 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte. Diario Oficial n.º 49.523. https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/decreto_1079_2015.htm

Ministerio de Transporte de Colombia. (2025). *Informe de gestión vigencia 2024.* Ministerio de Transporte de Colombia. https://mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=64924&id_comunidad=portal

Reuters. (2025, 14 de mayo). Battery recycler Li-Cycle files for bankruptcy protection in Canada. *Reuters.* https://finance.yahoo.com/news/battery-recycler-li-cycle-files-024452657.html

Sánchez Monsalve, L. F. (2025). *Gestión integral de las baterías de ion de litio en desuso de la movilidad eléctrica del Grupo Auteco* [Trabajo de práctica académica, Ingeniería Ambiental]. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/99b5d3e5-e8bd-4ebc-873a-8672ad357e16

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2023). *CONPES Distrital 30 de 2023: Política Pública de Movilidad Motorizada de Cero y Bajas Emisiones 2023-2040.* Alcaldía Mayor de Bogotá. https://observatorio.movilidadbogota.gov.co/sites/default/files/2025-09/doc_conpes_d.c._30_pp_movilidad_0_v2.pdf

Shanghai Metals Market. (2024, 24 de diciembre). Confirmed! New changes are here! The 2024 edition of battery recycling regulations officially released. *Shanghai Metals Market.* https://news.metal.com/newscontent/103104248-confirmed-new-changes-are-here-the-2024-edition-of-battery-recycling-regulations-officially-released

Shqairat, A., Liarte, S., Marange, P., Nuur, C., & Chagnes, A. (2025). Implications of European Union regulation on the circular economy and stakeholder strategies in the electric vehicle lithium-ion battery sector. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *36*(1), 155–182. https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2024-0163

Soavi, F., Gregucci, A., Liverani, A., Mojtahedi, S., Petri, E., Mascetti, F., Capodarca, F., & Bel Hadj Jrad, E. (2026). The European battery regulation and digital battery passport: Prospects and challenges. *Batteries*, *12*(3), Artículo 97. https://doi.org/10.3390/batteries12030097

Tesla. (s. f.). High voltage battery information. En Model Y owner's manual. Recuperado el 28 de septiembre de 2026, de https://www.tesla.com/ownersmanual/modely/en_gb/GUID-7FE78D73-0A17-47C4-B21B-54F641FFAEF4.html

Yang, L., Liu, Y., Ju, Y., & Fujikawa, K. (2025). Forecasting the echelon utilization potential of end-of-life electric vehicle batteries: A province-level investigation in China. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *27*(8), 3469–3488. https://doi.org/10.1007/s10098-024-03072-x

Zhang, B., Xin, Q., Chen, S., Wang, B., Li, H., Wang, Z., & Bansal, P. (2025). Lithium-ion battery recycling relieves the threat to material scarcity amid China's electric vehicle

ambitions. *Nature Communications*, *16*, Artículo 6661. https://doi.org/10.1038/s41467-025-61481-y

Zhou, Y., Wang, J., Li, H., & Chen, X. (2025). Circular economy and sustainability in lithium-ion battery development in China and the USA. *World Electric Vehicle Journal*, *16*(10), Artículo 578. https://doi.org/10.3390/wevj16100578

Nota. Claude (Anthropic, 2026) fue utilizado como herramienta de apoyo en la estructuración, redacción y búsqueda de fuentes del presente documento. Consensus (Consensus, 2025) fue utilizado en la fase exploratoria inicial para identificar brechas y vacíos en la literatura académica sobre el tema. El contenido fue revisado, validado y ajustado por los autores.