

Policy Paper

Electrificación de vehículos de 2 y 3 ruedas en Colombia.



POLICY PAPER

RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE 2 Y 3 RUEDAS EN COLOMBIA

Ana María Orozco Idrobo, Juan Pablo Díaz y Luis Daniel Pico

Resumen

Este documento contiene recomendaciones de política pública en materia de la electrificación de los vehículos de 2 y 3 ruedas, de manera que se basa en un análisis de los impactos y de las oportunidades que hay al respecto. También, registra las experiencias y aprendizajes de un proyecto piloto exitoso adelantado por Polen Transiciones Justas, que incluye desafíos para el transporte, la energía, la seguridad vial, la planeación urbana y de transporte, entre otros aspectos. Esos desafíos suponen las nuevas formas de movilidad y las tecnologías que acompañan la transición energética del sector transporte. En el texto se presentan las recomendaciones de política pública para quienes toman decisiones, para reguladores y para actores estratégicos.

Agradecimientos:

La autora, los autores y Polen Transiciones Justas agradecen a las comunidades involucradas en el desarrollo de este proyecto piloto. Reconocen, también, el apoyo de la Junta de Acción Comunal del Barrio San Martín (Mingueo) en su implementación y el de la Universidad de La Guajira, de organizaciones, autoridades y de todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

“E-Rurality es un proyecto pionero en el departamento y está motivando a la transición energética”

Testimonio de habitante de La Guajira, enero de 2025.



Resumen	2
Agradecimientos	2
INTRODUCCIÓN	4
SECCIÓN I CONTEXTO NACIONAL PARA VEHÍCULOS DE 2 Y 3 RUEDAS	4
SECCIÓN II VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE 2 Y 3 RUEDAS E INFRAESTRUCTURA DE CARGA ..	9
Marco normativo para la movilidad eléctrica.....	11
SECCIÓN III e-Rurality: UN PILOTO DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ZONAS RURALES	12
Lecciones aprendidas	13
Barreras identificadas en la ruralidad	14
SECCIÓN IV IMPACTOS DE LA ELECTRIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE 2 Y 3 RUEDAS.....	15
Impacto energético y ambiental de la electrificación	15
Impacto económico de la electrificación	18
Impacto y beneficios sociales de la electrificación	21
Análisis de la seguridad vial y tasas de congestión	23
Incidencia en la planeación urbana	24
SECCIÓN V RECOMENDACIONES DE POLÍTICA Y CONCLUSIONES	25
Sobre la autora y los autores	28
Referencias	29
Anexo I. Profundización de la tasa de descuento para la transición energética en movilidad.....	31

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta las recomendaciones de política pública para la electrificación y la descarbonización del transporte terrestre de 2 y 3 ruedas en zonas urbanas y rurales en Colombia. Como parte de la metodología y en desarrollo de este documento se han hecho varias aproximaciones:

- Por un lado, el planteamiento, implementación y monitoreo de un proyecto piloto para vehículos de 2 y 3 ruedas en entornos rurales.
- Por otro, se han empleado modelos energéticos y herramientas de simulación (i.e, *Low Emission Analysis Platform*, LEAP), sobre todo, para el análisis de las posibles trayectorias de descarbonización y de impactos en el consumo energético y las eficiencias.

En los últimos años, las políticas energéticas, ambientales y de ascenso tecnológico para el sector transporte han coincidido en encontrar mecanismos, tecnologías y apuestas nacionales y globales hacia la descarbonización y mejora tecnológica. En Colombia, la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa (TEJ) provee los escenarios de descarbonización con un horizonte al 2050. Esta política nacional resalta el sector transporte por su potencial para la transición energética (MinEnergía, 2024).

De otra parte, la Estrategia de Movilidad Eléctrica propone acciones concretas para electrificar el transporte. Además, en términos ambientales, se estableció la meta de las Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de reducir la emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia en un 51 % para 2030 con respecto al escenario de referencia, con el objetivo a largo plazo de alcanzar la carbono-neutralidad en 2050. (Las NDC, en general, establecen los objetivos nacionales para lograr los acuerdos internacionales de reducción de emisiones de efecto invernadero, GEI). Sin embargo, las políticas orientadas a los vehículos de 2 y 3 ruedas en el marco de la transición energética, el ascenso tecnológico y la descarbonización son aún materia de desarrollo.

Este documento hace énfasis en las oportunidades y beneficios de la electrificación de los vehículos de 2 y 3 ruedas con un impulso al uso de energía renovable para estaciones de carga individuales, públicas y comunitarias. En ese sentido, este *policy paper* presenta los resultados de la modelación energética del transporte carretero, así como las experiencias obtenidas a partir de un proyecto piloto adelantado por Polen Transiciones Justas (TJ)

cuyas premisas iniciales se constituyeron en torno a la electrificación de vehículos de 2 y 3 ruedas y la co-construcción con la comunidad de una estación de carga compartida para generar energía solar fotovoltaica, es decir, energía limpia para la electromovilidad rural.

El resto de este documento se organiza en las siguientes secciones:

- La sección I presenta un contexto general de los vehículos de 2 y 3 ruedas en Colombia.
- La sección II describe los beneficios de la incorporación de energías renovables y presenta un resumen del marco regulatorio correspondiente.
- En la sección III, se caracteriza el proyecto piloto e-Rurality, que se orienta a mejorar la sostenibilidad y la accesibilidad de la movilidad eléctrica en zonas rurales.
- La sección IV muestra los impactos energéticos, ambientales, sociales, económicos, entre otros, de la electrificación del transporte.
- Finalmente, la sección V presenta las recomendaciones de política pública para la electrificación de los vehículos de 2 y 3 ruedas y las conclusiones.

SECCIÓN I CONTEXTO NACIONAL PARA VEHÍCULOS DE 2 Y 3 RUEDAS

La movilidad en el contexto nacional ha ido mostrando una tendencia acelerada por la elección de vehículos de 2 y 3 ruedas en Colombia como preferencia de viaje, al menos en la última década, en particular motocicletas. Actualmente, se registran en Colombia alrededor de 12,4 millones de vehículos de 2 y 3 ruedas de 19,9 millones de vehículos del total del parque automotor (RUNT, 2025). En relación al número de matrículas de motocicletas, el número anual en 2022, se registraron en el país, 1.000.838 (Mintransporte, 2023), en el 2024 hubo 816.513 nuevos registros (RUNT, 2025) y en el primer cuarto de 2025 (enero-abril), 325.425 motocicletas nuevas registradas (Andemos, 2025), ubicando a las motocicletas como el tipo de vehículo más registrado a nivel nacional, con un 79% de las nuevas matrículas del total en el 2024. Los históricos reflejan la evolución de este parque automotor, como lo muestran los reportes anuales del Ministerio de Transporte, en las **Figura 1-2**, como se observa a continuación:

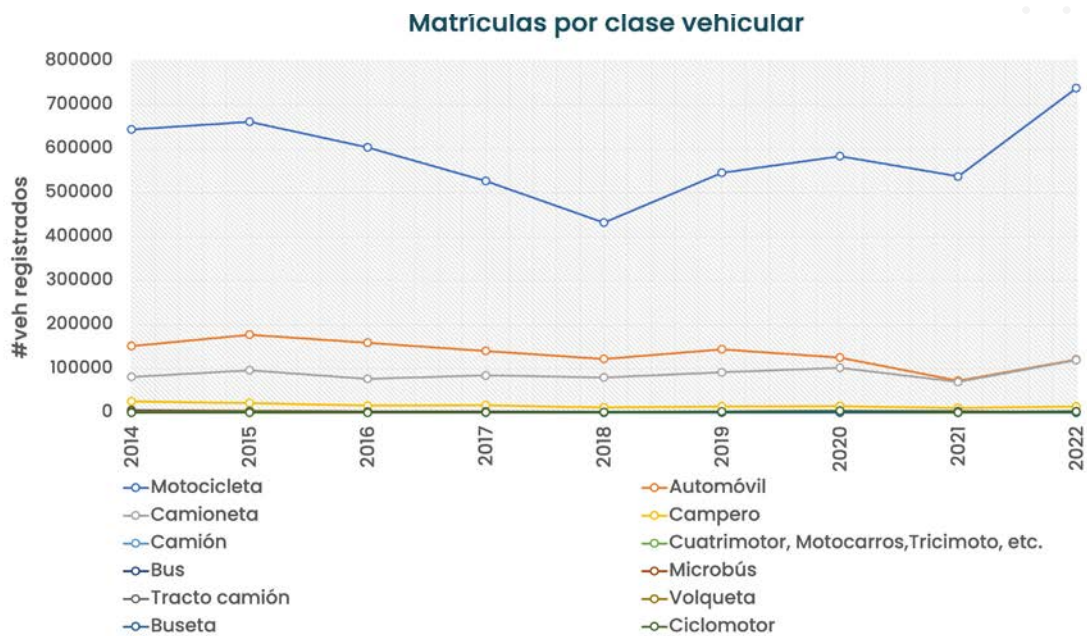


Figura 1. Evolución de las matrículas del parque automotor en Colombia 2014-2022.
Fuente: Elaboración propia con datos (MinTransporte, 2023).

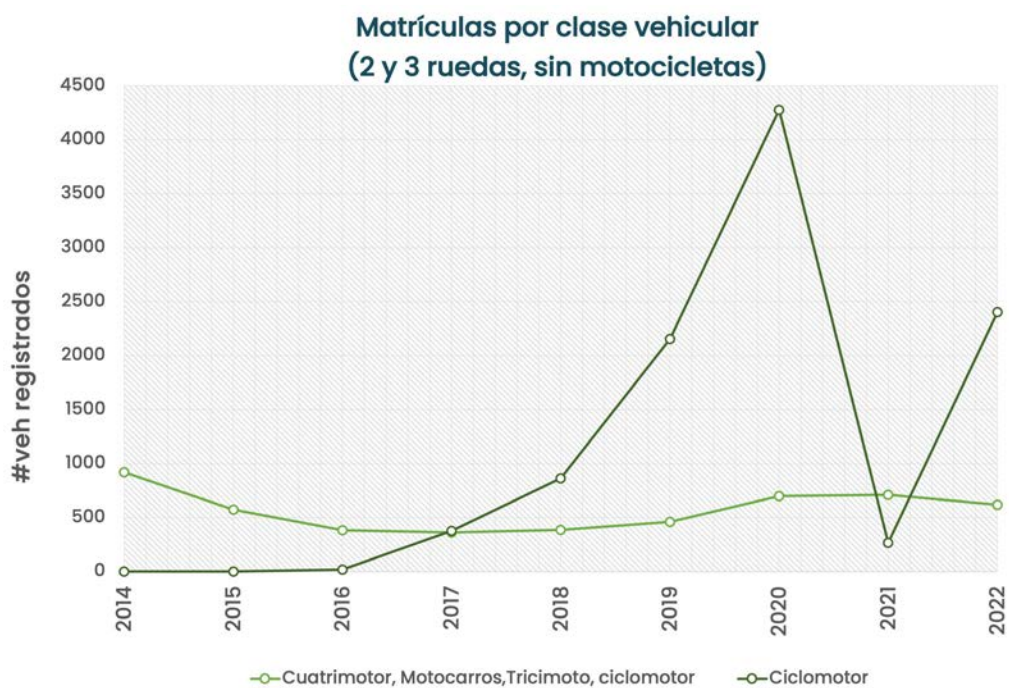


Figura 2. Evolución de las matrículas.
Fuente: Elaboración propia con datos (MinTransporte, 2023).

En términos del stock o del registro histórico agregado de número de vehículos, para el 2024 la distribución porcentual tuvo una mayoría en cantidad de vehículos de 2 y 3 ruedas, con un aproximado de 62% del total nacional, con más de

12 millones de motocicletas reportadas por el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT, 2025) y el Ministerio de Transporte como se observa en la **Figura 3**.

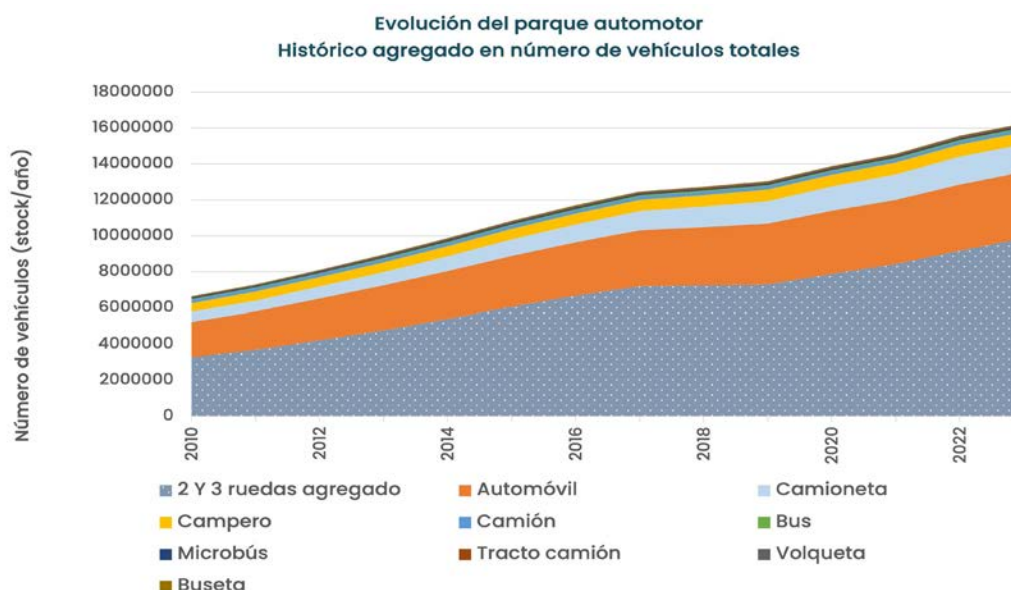


Figura 3. Evolución del parque automotor (stock)
Fuente: Elaboración propia con datos (MinTransporte, 2023).

Las cifras nacionales de vehículos de 2 y 3 ruedas existentes y en aumento por su tendencia creciente (véase **Figura 3**), conlleva a una reflexión y visión integral de las soluciones de movilidad para nuestros centros urbanos y rurales. Surgen en este contexto algunas preguntas, como, por ejemplo: ¿Cuáles son las causas del incremento acelerado del parque de 2 y 3 ruedas en los últimos años? ¿Cuáles son los impactos estimados en cambio modal, seguridad vial, tasas de congestión y tiempos de viaje promedio con el aumento masivo de movilidad individual? ¿Ofrece una oportunidad factible de descarbonización la reconversión de vehículos de 2 y 3 ruedas de combustión interna (CI) a eléctricos? Finalmente, ¿Qué rol juega la movilidad eléctrica en esta oportunidad de ascenso tecnológico? ¿y qué políticas públicas se prevén para ello? Estas son algunas de las interrogantes para quienes buscan generar impactos y regulaciones en la movilidad y el transporte sostenible, donde se resalta la naturaleza sistémica e interrelacionada de los diversos modos de transporte, esto representado en el *cambio modal* (o *modal shift*), es decir, la elección o preferencia de un modo específico sobre otro, la cual implica que, al generar más demanda o incentivo en un modo

específico, esto puede influenciar o desincentivar la elección de otro modo. Por ejemplo, el impulso del transporte público pretende atraer usuarios del vehículo privado.

En ese sentido, la elección de un modo para un viaje específico origen-destino, es una decisión en la que el usuario analizará sus opciones y elegirá el más “conveniente”, dados un conjunto de parámetros i.e. disponibilidad y calidad del transporte (público o privado), alternativas de viaje, costos, tiempos de viaje, entre otros criterios y con diversas ponderaciones, como se muestra la distribución de la función para cambio modal en la **Figura 4**. En esta concepción sistémica de ciudad y movilidad, existen diversos tipos de usuarios, modos de transporte, tipos de vehículos y en general, diversas formas de movernos.

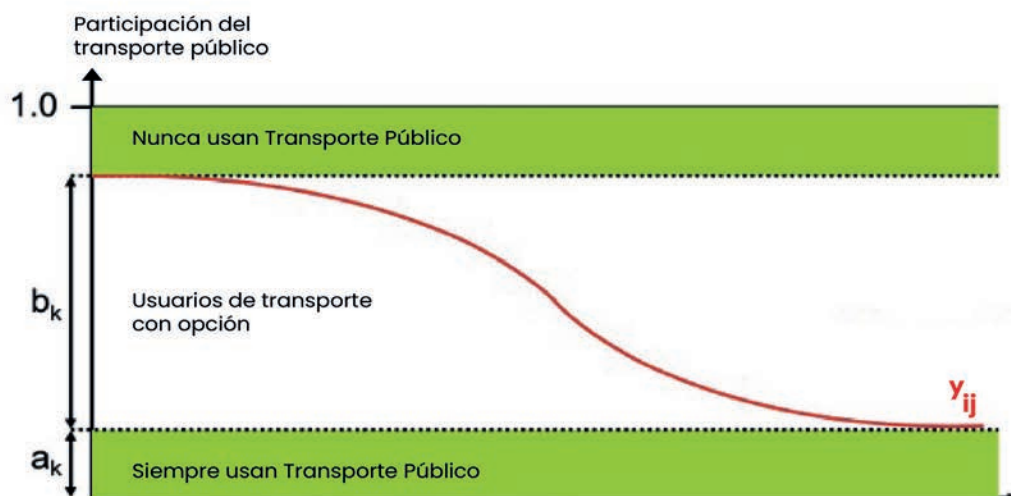


Figura 4. Función “Binary Logit” para el cambio modal.
Fuente: “Traffic management and control” (TUM, 2014).

Ahora bien, desde una mirada energética, el transporte en todos sus modos demanda anualmente la mayor cantidad de energía en Colombia. Para el 2021 (UPME, 2021) la Unidad de Planeación Minero Energética en el Balance Energético Colombiano (BECO), reportó con tendencias en aumento, que el transporte representó un 44% del consumo nacional final -demanda energética-, seguido de la industria (aproximadamente, 20%) y el sector residencial (un 17%), y otros sectores el porcentaje restante. Se presenta a continuación el histórico de la demanda final del transporte, por tipo de energético registrada por Minenergía y UPME, en el BECO (UPME, 2021) en la **Figura 5**, se observa la predominancia de los combustibles fósiles en el transporte. En un escenario tendencial (Minenergía, 2025), el incremento de combustibles fósiles aumenta aceleradamente, lo que podría dificultar alcanzar las metas nacionales de cambio climático.

Es por ello, que la electrificación se considera como una medida adecuada, de alto impacto y con gran potencial para la descarbonización del sector transporte y el ascenso tecnológico para aquellos segmentos que son viables. La electrificación del transporte, también llamada *electromovilidad* o *movilidad eléctrica*, es una medida que se proyecta con gran efectividad en términos energéticos y ambientales, dado que no requiere la “quema” de combustibles fósiles para su operación, en consecuencia, es una tecnología cero emisiones de tanque a rueda (*tank-to-wheel*, *TTW*). Estas razones ubican a la electromovilidad,

como una de las banderas mundiales de facto en la descarbonización, en la superación de la dependencia fósil, en el ascenso tecnológico y en la transición energética del transporte (IEA, 2025).

Histórico de la demanda energética del transporte en todos los modos por energético

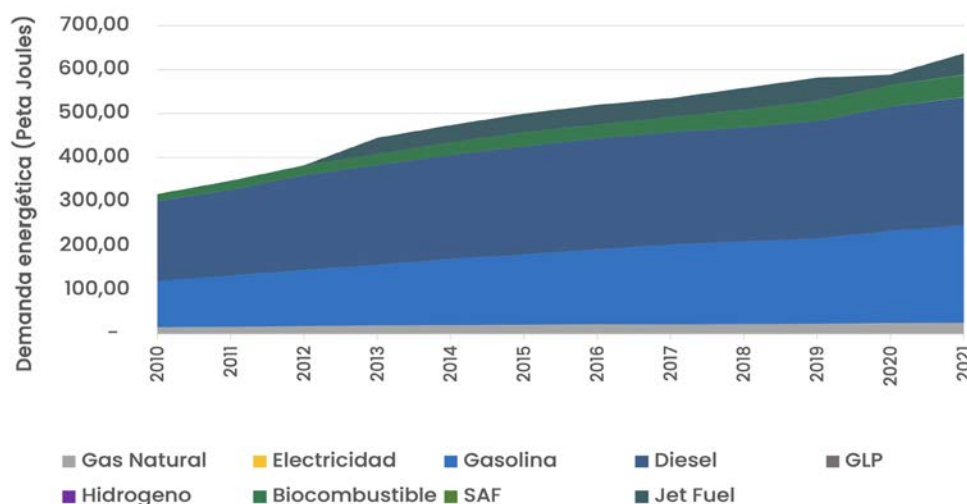


Figura 5. Demanda energética del transporte.

Fuente: Elaboración propia con datos (MinMinas, 2024b; UPME, 2021).

Un análisis energético y del crecimiento del parque de vehículos de 2 y 3 ruedas en Colombia, permite cuantificar la demanda de energía, es decir la cantidad de combustible líquido fósil históricamente consumido y sus emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. De acuerdo a la Figura 6, los vehículos de 2 y 3 ruedas ocupan el segundo lugar en términos de consumo energético después del transporte de carga (MinEnergía, 2024a). El modelo energético de la Hoja de Ruta para la Transición Energética (Minenergía, 2024a), estimó para 2023 la demanda energética para los vehículos de 2 y 3 ruedas en 107,79 petajoules (PJ) equivalentes a,

aproximadamente, 818 millones de galones de gasolina (Minenergía, 2024b) consumidos por viajes realizados por al menos 11 millones de vehículos de 2 y 3 ruedas. Este volumen representó un 18% la demanda del transporte terrestre a nivel nacional en el 2023; implicando un mayor consumo que los vehículos livianos de pasajeros, es decir, automóviles y camperos (véase **Figura 6**). En términos de emisiones GEI, un cálculo estimado para dicho consumo de gasolina arrojó unos 6,2 millones de toneladas de CO₂ (MtCO₂) para el mismo año (2023).

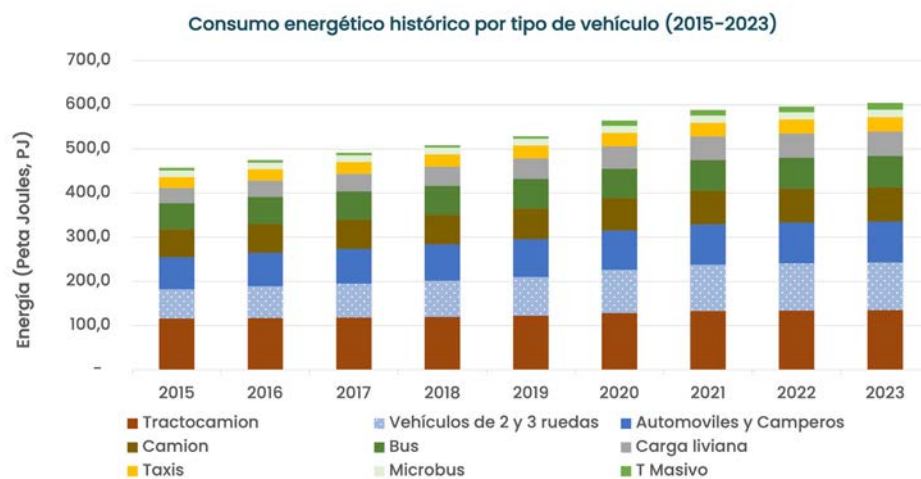


Figura 6. Demanda energética del transporte terrestre por tipo de vehículos.

Fuente: Elaboración propia con datos de (MinMinas, 2024; UPME, 2021).

Bajo este contexto y considerando las tendencias de crecimiento significativo, tanto del parque de 2 y 3 ruedas como de su consumo energético, la electrificación de este segmento se convierte en una medida sustancial para la descarbonización del transporte en Colombia, enmarcada bajo estrategias integrales de *movilidad sostenible* -no exclusivamente *movilidad eléctrica*-, que consideren medidas para la gestión de la demanda, la renovación de vehículos, medidas sobre la vida útil y la salida de los vehículos, entre otras acciones.

SECCIÓN II.

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS DE 2 Y 3 RUEDAS E INFRAESTRUCTURA DE CARGA

De manera orgánica, el segmento de 2 y 3 ruedas en Colombia ha mostrado una aceleración de la electromovilidad entre 2017 y 2018, años que registraron una variación de hasta un 400% en el aumento del parque eléctrico (stock eléctrico), pasando de 254 unidades en 2017 a 1270 unidades en 2018 a nivel nacional, como se muestra en la **Figura 7a**. En los siguientes años la tendencia tuvo un comportamiento creciente, registrando 3069 unidades eléctricas en el segmento de 2 y 3 ruedas en 2023. Si bien, estos valores representan menos del 1% del parque de 2 y 3 ruedas, es importante denotar la aceleración del mercado para estas categorías que incluyen, según Mintransporte: motocicletas, motocarros, ciclomotores, mototriciclos, cuadríciclo, cuatrimotos, tricimotores, entre otros.

Desde la perspectiva de las ventas de vehículos eléctricos, el Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía, 2024b) en los análisis de los escenarios de descarbonización del transporte plantea algunas trayectorias para diferentes tipos de vehículo, se observa en la **Figura 7b**, las proyecciones en el horizonte 2050, del potencial ascenso tecnológico de motocicletas dada la entrada de nuevos vehículos eléctricos de este tipo. Se aprecia que del 2030 en adelante, se espera un mercado en su mayoría eléctrico para estos vehículos (más de un 90% de la penetración en ventas se proyecta eléctrica). Esta tendencia, responde a las dinámicas del mercado, a las preferencias del consumidor y a futuras regulaciones del lado de la oferta y de la demanda para las motocicletas, que podría extrapolarse para el segmento de 2 y 3 ruedas en general.

A pesar que los vehículos de 2 y 3 ruedas en general, no requieren una infraestructura dedicada para la recarga, los puntos de carga disponibles en zonas urbanas y rurales, así como los costos de la energía en algunas regiones del país pueden ser barreras para un despliegue masivo de la electromovilidad de este segmento. Por lo tanto, la consideración de modelos de estaciones de carga, en combinación con energías renovables y modelos sociales, como estaciones compartidas, comunitarias e incluso sistemas de baterías intercambiables (battery swapping) pueden convertirse en los factores habilitantes para impulsar la penetración de la electromovilidad de 2 y 3 ruedas en entornos urbanos y rurales.

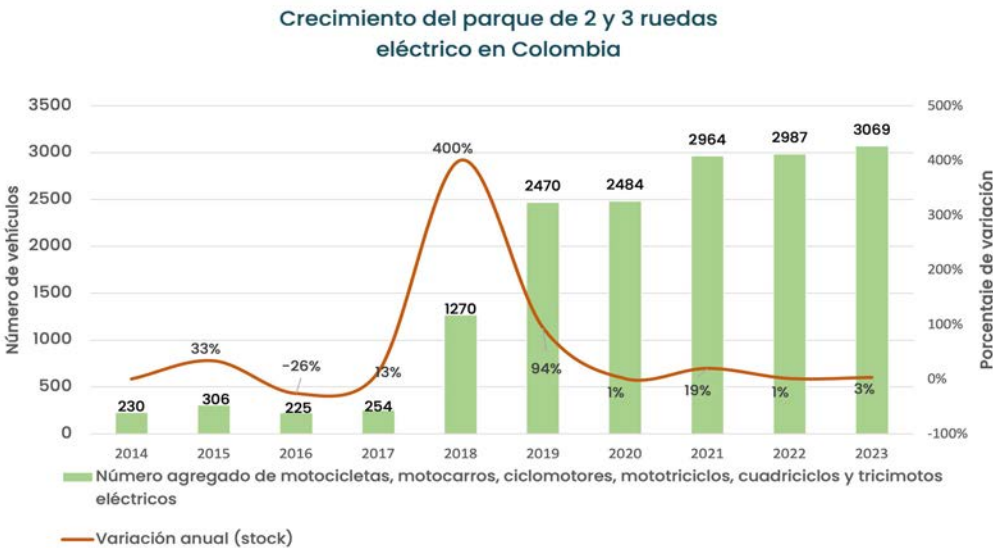


Figura 7a. Stock de vehículos de 2 y 3 ruedas eléctricos.
Fuente: Elaboración propia con datos de (Transporte en Cifras, 2023; RUNT 2025).

Proyección de porcentaje de ventas de motocicletas por energético

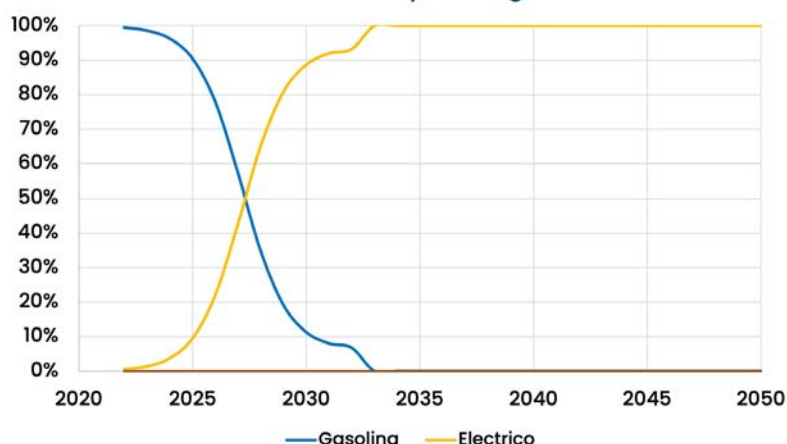


Figura 7b. Ventas proyectadas de vehículos de 2 y 3 ruedas eléctricos para Colombia.
Fuente: (MinEnergía, 2024b).

Desde esa perspectiva, el despliegue de infraestructura de carga, también llamada electrolineras, juegan un rol determinante en la masificación de la electromovilidad, pues más allá de proporcionar la energía para la propulsión, habilita las distancias, rutas y recorridos que los usuarios de la movilidad eléctrica requieren, dadas las restricciones en la autonomía de los vehículos. El documento de política pública “Estrategia Nacional para la Infraestructura de Carga” (MinEnergía, 2025a) propone algunos modelos de negocio y mecanismos de financiación, entre otros temas relacionados al despliegue de infraestructura de carga incorporando la generación de energías limpias en estaciones de carga, incluyendo gasolineras (MinEnergía, 2025b). En el contexto de los vehículos de 2 y 3 ruedas, el desarrollo de estaciones de carga dedicadas es variable, pues la mayoría de estos vehículos se puede alimentar de un toma corriente convencional de 110 Voltios (V) a 60 Hercios

(Hz) y un adaptador de voltaje, permitiendo cargas en casa o en lugares comerciales. Un modelo innovador de carga “instantánea” es el intercambio de baterías, el cual permite la portabilidad al usuario final de la batería del vehículo, la cual se intercambia en un banco de baterías con carga (con o sin paneles solares), disminuyendo drásticamente los tiempos de carga, un modelo novedoso y con alto potencial.

De manera similar, se ha propuesto en este proyecto piloto un modelo de “estaciones de carga solar compartidas” para regiones rurales y urbanas, donde se incorporen fuentes de energía renovable, particularmente solar fotovoltaica, como se observa en la **Figura 8**. Estas estaciones permiten disminuir el costo del kilovatio-hora dada la capacidad de autogeneración a partir de paneles solares y la ubicación estratégica que cuenta Colombia con respecto al recurso solar (MinEnergía, 2023c).



Figura 8. Fotografía aérea de la estación de carga compartida con un arreglo de paneles solares.
Fuente: Polen TJ, piloto en La Guajira.

Por lo tanto, a las bondades de la movilidad eléctrica se le suma el beneficio de la sustitución directa de combustibles líquidos fósiles por energía renovable y limpia, es decir, la descarbonización efectiva del segmento de 2 y 3 ruedas. Adicionalmente, es importante mencionar que los motores eléctricos no requieren aceites o lubricantes para su funcionamiento en comparación a los motores de combustión interna y al no tener un proceso de combustión (no se “quema” combustible) no hay emisión directa de gases de efecto invernadero, denominándose tecnología de cero emisiones en el tramo tanque a rueda.

No obstante, la generación de energía renovable puede presentar algunas barreras, como su alto costo para una capacidad instalada requerida (CAPEX) y las capacidades para el mantenimiento de la infraestructura (OPEX). Es allí cuando es necesario innovar con modelos que trascienden la dimensión tecnológica y energética para encontrar soluciones en el marco social y productivo: electrolíneas o las estaciones de carga comunitaria, como propone el proyecto piloto construido colaborativamente por Polen TJ y comunidades locales, el cual ha mostrado ser una alternativa viable para la infraestructura de carga y la movilidad eléctrica en general.

Por un lado, con respecto al uso del suelo o predio puede llegarse a acuerdos con figuras asociativas, como Juntas de Acción Comunal (JAC), asociaciones, fundaciones, entre otras, para permitir el usufructo de un predio de manera conjunta y con beneficio comunitario; modelo donde toda la comunidad puede verse beneficiada de la autogeneración de energía. También, la inversión y construcción de una electrolínea con paneles solares, cuenta con cierre financiero atractivo dada la sustitución de galones de combustible fósil por kilovatio-hora autogenerado, este ahorro es un valor agregado de la electromovilidad sobre otros combustibles tradicionales. Otro punto favorable es la administración, operación y mantenimiento de estas estaciones puede conducir a una transformación económica y productiva en las áreas de impacto. Evaluando el caso de éxito del proyecto piloto en mención, se evidencian impactos positivos para la comunidad que voluntariamente comenzó procesos de capacitación en temas relacionados con la instalación y mantenimiento de los paneles solares y los vehículos eléctricos de 2 y 3 ruedas (véase sección III). Finalmente, dada la naturaleza comunitaria de este tipo de soluciones, se pudo evidenciar la organización colectiva de los individuos (vecinos, emprendedores, etc.) para establecer mecanismos productivos alrededor de una

fuente de energía limpia y el uso de vehículos eléctricos de 2 y 3 ruedas.

Marco normativo para la movilidad eléctrica

Se presenta en esta subsección una breve reseña de las políticas públicas de la electromovilidad vigentes en el marco colombiano. La Tabla 1 muestra de manera no exhaustiva algunas normas y regulaciones que rigen la movilidad eléctrica de ámbito nacional.

POLÍTICA PÚBLICA	BREVE DESCRIPCIÓN
LEY 1964 DE 2019	También conocida como “Ley de Electromovilidad”, genera esquemas de promoción al uso de vehículos eléctricos y de cero emisiones.
ESTRATEGIA NACIONAL MOVILIDAD ELÉCTRICA	Define las acciones para acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica, teniendo como meta la incorporación de 600.000 vehículos al 2030 (NDC).
HOJA DE RUTA PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA	Establece las trayectorias, escenarios, políticas y recomendaciones para la descarbonización, cambio tecnológico y nuevos modelos económicos, alineados con políticas energéticas, climáticas, transformación social y productiva con horizonte 2050.
ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA	Presenta los análisis de viabilidad económica, mecanismos de financiación, proyecciones de oferta y demanda para la infraestructura de carga para vehículos eléctricos e híbridos y guías de implementación de estaciones de carga.
RESOLUCIÓN 40405 DE 2020	Se autoriza a las estaciones de servicio (combustible/ gasolineras) para que ofrezcan el servicio de carga de energía eléctrica destinada a vehículos híbridos y eléctricos, por medio de la instalación de puntos de carga

POLÍTICA PÚBLICA	BREVE DESCRIPCIÓN
RESOLUCIÓN 40223 DE 2021	Estándar de conector mínimo para Estaciones de carga
RESOLUCIÓN 40362 DE 2021	Aplica a la energía que efectivamente destinen a la carga o propulsión de vehículos eléctricos.
RESOLUCIÓN 40123 DE 2024	Establece la interoperabilidad de estaciones de carga a nivel de telecomunicaciones y protocolos de comunicación.

Tabla 1. Recopilación no exhaustiva del marco normativo y regulatorio para la movilidad eléctrica, orientado a vehículos de 2 y 3 ruedas.

Avances regulatorios para retrofit en la región

Como una medida complementaria de la electrificación, algunos países y sectores han considerado la reconversión de vehículos de combustión interna a eléctricos (retrofit) para algunos segmentos vehiculares. Se describe brevemente aquellos avances regionales para el retrofit. Sin embargo, es recomendable generar espacios de pruebas, estudios y ejercicios pilotos que contribuyan al análisis de la eficacia y viabilidad del retrofit.

- Chile cuenta con un reglamento técnico que establece requisitos para transformación de vehículos propulsados por motor de combustión interna a propulsión eléctrica.
- En Argentina, la Dirección Nacional de Registros de la Propiedad Automotor (DNRPA), autoridad sobre el parque automotor permite registrar vehículos reconvertidos a eléctricos. Uruguay es uno de los países pioneros en retrofit en la región. En el marco del “Plan MOVES”, se establecen la necesidad de la creación de un marco normativo para la reconversión.
- Uruguay es uno de los países pioneros en retrofit en la región. En el marco del “Plan MOVES”, se establecen la necesidad de la creación de un marco normativo para la reconversión.

- A nivel región, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) ha propuesto un marco regulatorio para promover el retrofit.
- Otros casos que han propuesto algunas iniciativas en torno a la reconversión son: Costa Rica, Brasil, Indonesia y Francia.

SECCIÓN III

e-Rurality: UN PILOTO DE MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ZONAS RURALES

En esta sección se presentan los principales resultados y hallazgos del piloto e-Rurality, que se orienta a mejorar la sostenibilidad y la accesibilidad de la movilidad eléctrica en la ruralidad. Se describen en esta sección los objetivos, parámetros y condiciones que dieron lugar al desarrollo del proyecto piloto e-Rurality. Sus premisas y aprendizajes han permitido tener un entendimiento no solo técnico, sino de los desafíos, las ventajas y las barreras del despliegue de movilidad eléctrica de 2 y 3 ruedas en un ámbito rural, comunitario y con un enfoque productivo.

Este proyecto se enfocó, de una parte, en estudiar y analizar el proceso de electrificación de vehículos de 2 y 3 ruedas en la ruralidad en el contexto de la transición energética; también, en identificar las barreras tecnológicas, sociales y económicas y en plantear posibles opciones para la adopción de la electromovilidad en comunidades rurales.

La **Figura 9** muestra a algunos beneficiarios y a un instructor en la casa comunal, lugar en el que se estableció el taller de vehículos de 2 y 3 ruedas y el techo solar que permitió la generación de energía en Mingueo, La Guajira.

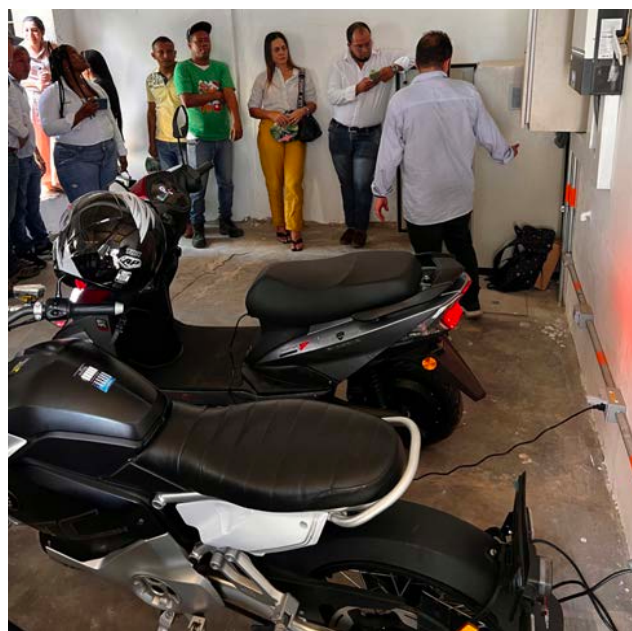


Figura 9. Fotografías de la estación de carga compartida, e-motos y banco de baterías.

Fuente: Polen, La Guajira (2024)

Información general del piloto:

- Municipio: Dibulla (Mingueo)
- Departamento: La Guajira
- Periodo: de abril de 2023 a julio de 2025.
- Desarrollo y ejecución: Polen TJ
- Beneficiarios directos: aprox. 20 personas.
- Beneficiarios indirectos: aprox. 420 personas.

Vehículos eléctricos:

- 3 e-motos nuevas
- 3 motos de combustión interna reconvertidas a eléctricas
- 1 motocarro (tuk-tuk) de combustión interna reconvertido a eléctrico

Infraestructura de carga:

- Capacidad de carga: 10 e-motos en simultáneo
- Estación de carga fotovoltaica con 12 paneles solares.
- Capacidad de generación: 6.75 kW
- Sistema de almacenamiento: baterías de litio

Procesos comunitarios gestionados:

- Instalación de un taller mecánico para el

mantenimiento de los vehículos

- Capacitaciones con la comunidad para mantenimiento y procesos electromecánicos
- Proceso asociativo en marcha
- Procesos productivos
- Reorientación laboral a extrabajadores del sector minero, amas de casa, emprendedoras/res, etc.
- Proceso de conformación de comunidad energética como siguientes pasos.

Lecciones aprendidas

De la ejecución del proyecto piloto e-Rurality, adelantado en un contexto rural y productivo con las comunidades, quedaron lecciones en varios ámbitos:

Lecciones en el ámbito técnico y tecnológico

- Limitaciones de los vehículos eléctricos en entornos rurales: las motocicletas eléctricas disponibles en el mercado nacional y adquiridas para el proyecto piloto presentaron algunas limitaciones de rendimiento para las condiciones extremas. Por ejemplo, se evidenció un “sobreesfuerzo” mecánico en potencia y en el torque, relacionado con la topografía montañosa y de difícil acceso. Algunas de las motos reconvertidas se adaptaron a los requerimientos de potencia y autonomía en la ruralidad.

- A pesar de un buen rendimiento inicial, se observaron, con el tiempo, desgaste y fallas mecánicas en algunas partes, dado el requerimiento de alto desempeño, sobre todo en escenarios con condiciones de terreno desafiantes. A la exigencia del terreno se sumó el mal estado de las vías terciarias.

- Componentes como los controladores electrónicos, el cableado y las baterías resultaron vulnerables a la exposición constante a humedad y salinidad, condiciones típicas de la Costa Caribe.

- En recorridos de largas distancias (>100 km), se presentó calentamiento excesivo de componentes electrónicos (i.e. controladores) y cableado, perceptibles para el usuario. En esos casos, se requirió adaptar un sistema de enfriamiento externo adicional..

Lecciones en el ámbito social

- Seguridad y percepción del usuario: se evidenció la necesidad de incorporar sistemas de asistencia avanzada (ADAS) en vehículos de 2 y 3 ruedas. La ausencia de ruido del motor (propio de los vehículos eléctricos) generó situaciones no seguras para los usuarios, como bajarse del vehículo sin apagarlo, que podría conducir a situaciones de riesgo, a accidentes por movimiento involuntario o a contacto con componentes eléctricos del vehículo.

- Baja confianza y prejuicios sobre la tecnología eléctrica: con el proyecto piloto, con pruebas funcionales y con estrategias de socialización, se logró vencer recelos y algunas creencias equivocadas: la “incapacidad de operar bajo lluvia, la baja potencia o la poca resistencia y durabilidad”. En las comunidades existía un alto grado de desconocimiento sobre la electromovilidad, su uso y beneficios.

- Capacitación comunitaria: se hicieron actividades en materia de transferencia de conocimiento a algunas personas del sector en temas de movilidad eléctrica, reconversión de vehículos de combustión a eléctricos y mantenimiento básico. Esta generación de capacidades fortaleció la confianza de la población, al contar con apoyo técnico local para atender fallas y hacer ajustes; incluso, mantenimientos básicos a los vehículos.

- Validación de autonomía: se evidenció, mediante viajes de pruebas (recorridos de unos 156 km), la capacidad de recorrer trayectos interurbanos y rurales con autonomía

suficiente.

- Mediante el uso comunitario de la estación solar, se pudo validar el impacto en la relación costo-beneficio de la electricidad y el galón de gasolina y sus beneficios en el ahorro.

- El uso de la estación con energía solar brindó otras facilidades; por ejemplo, tener energía eléctrica en el predio de su instalación, que no contaba, de antemano, con este servicio. Un caso de éxito tanto para la electromovilidad, como para el uso de fuentes de energía renovable.

Barreras identificadas en la ruralidad

A partir de la ejecución del proyecto piloto, se hicieron evidentes algunas barreras y dificultades en varios aspectos:

Barreras en el ámbito técnico y tecnológico

- Limitaciones de infraestructura de recarga: aunque los vehículos de 2 y 3 ruedas en su mayoría pueden cargarse con tomas de 110 V, el servicio o cobertura eléctrica es, en algunas zonas rurales, deficiente, inestable o inexistente. Eso obliga a recurrir a estaciones de carga. La falta de disponibilidad de estas estaciones y el tiempo requerido para la recarga desincentivan la adopción de esta tecnología.

- Tiempos prolongados de recarga: los vehículos evaluados en el ejercicio tienen tiempos de recarga de entre 5 y 6 horas, en promedio. Esa condición representa una barrera significativa para usuarios que dependen del vehículo como medio transporte o como herramienta de trabajo y productividad (por ejemplo, en el agro y el comercio). La necesidad de detener la operación durante varias horas para recargar afecta de manera negativa la percepción de utilidad del vehículo eléctrico.

Barreras en el ámbito económico y financiero

- Alto costo de adquisición: el precio inicial de los vehículos eléctricos, en este contexto, se percibe como inaccesible. Además, es importante destacar el aspecto de la bancarización: aunque no se conocen cifras públicas sobre este elemento en la población que adquiere vehículos de 2 y 3 ruedas, es crítico considerar tal factor en la perspectiva de la masificación de la electromovilidad en este segmento.

- Dependencia de repuestos importados: aunque los distribuidores cuentan con inventario, los tiempos mínimos de reposición oscilaron entre 15 días y 3 meses, dados

tiempos de importación y nacionalización. Esta barrera puede ser una oportunidad para los fabricantes nacionales, autopartistas y actores de la cadena de valor y distribución de repuestos y partes.

- El alto costo de la energía (kilovatio-hora) en algunas regiones en Colombia, como en la región Caribe; esto puede impactar en forma negativa la adopción de la tecnología eléctrica, pues, con un sistema de carga de un vehículo en casa, el consumo de energía mensual puede incrementarse y, con ello, el valor del servicio público domiciliario de energía.

- El costo de las tecnologías para la generación de energía limpia, como paneles solares y micro-centrales hidroeléctricas, para usuarios en zonas rurales son inaccesibles. A los precios de adquisición, se suman los de transporte e instalación.

Barreras en el ámbito regulatorio

- Existen vacíos en las normativas de seguridad específicas para cada tipo de vehículo de 2 y 3 ruedas: varían las características y condiciones de las diferentes tipologías de vehículos de 2 y 3 ruedas, igual que los requerimientos de infraestructura, regulación, los estándares y reglamentos técnicos.

- La falta de reglamentación de retrofit hace necesaria la evaluación de la viabilidad y posterior regulación de la reconversión de combustión interna a electricidad, de los vehículos de 2 y 3 ruedas, que contemple estándares y certificaciones para garantizar un proceso de reconversión seguro.

Barreras en el ámbito social

- Falta de personal y de servicio técnico local: en muchas zonas rurales y en municipios aledaños no hay personal calificado en movilidad eléctrica. Esto genera desconfianza sobre la sostenibilidad de estos vehículos. No obstante, esta falencia puede ser una oportunidad para las regiones de impulsar la formación técnica y especializada indispensable en zonas rurales y en centros urbanos.

- Desinformación: se desconocen el funcionamiento y los beneficios de los vehículos eléctricos en la ruralidad. La falta de socialización conduce a que poco se acepte y poco penetre la tecnología eléctrica.

- Temores en relación con la autonomía y la falta de una red disponible de estaciones de carga: la incertidumbre sobre el rendimiento de las baterías y la ausencia de estaciones de carga en rutas rurales ralentizan la decisión de ascenso tecnológico.

- “Tiempos de carga son tiempos muertos”: la necesidad de detener la operación durante varias horas para recargar conduce a una percepción de desconfianza en la utilidad del vehículo. Eso sucede, en especial, en áreas donde el transporte se ha convertido en una herramienta de trabajo y que permite alcanzar una mayor productividad.

SECCIÓN IV IMPACTOS DE LA ELECTRIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE 2 Y 3 RUEDAS

Impacto energético y ambiental de la electrificación

La electrificación brinda grandes beneficios en el transporte. En esta sección, se describen sus potenciales bondades: reducción efectiva de combustibles fósiles, aumento de la eficiencia energética por kilómetro recorrido, en comparación con la tecnología de combustión interna y beneficios ambientales asociados a los sistemas eléctricos.

i) Reducción de combustibles líquidos fósiles

Los elementos que se exponen en esta subsección se derivan de lo presentado en la **Figura 10**. Esta figura muestra cifras históricas relacionadas con la demanda energética de los vehículos de 2 y 3 ruedas (UPME, 2021): el consumo de energía final del parque automotor de 2 y 3 ruedas (escenario tendencial y proyecciones de los escenarios nacionales de la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa) y el potencial ahorro de combustible (escenario con retrofit). Mediante esta información, es posible analizar varias premisas del consumo energético vehicular, representado en galones de gasolina anuales, en órdenes de miles de millones de galones por año, correspondientes a la demanda energética de gasolina para vehículos de 2 y 3 ruedas:

Consumo energético del parque de 2 y 3 ruedas Histórico y proyecciones

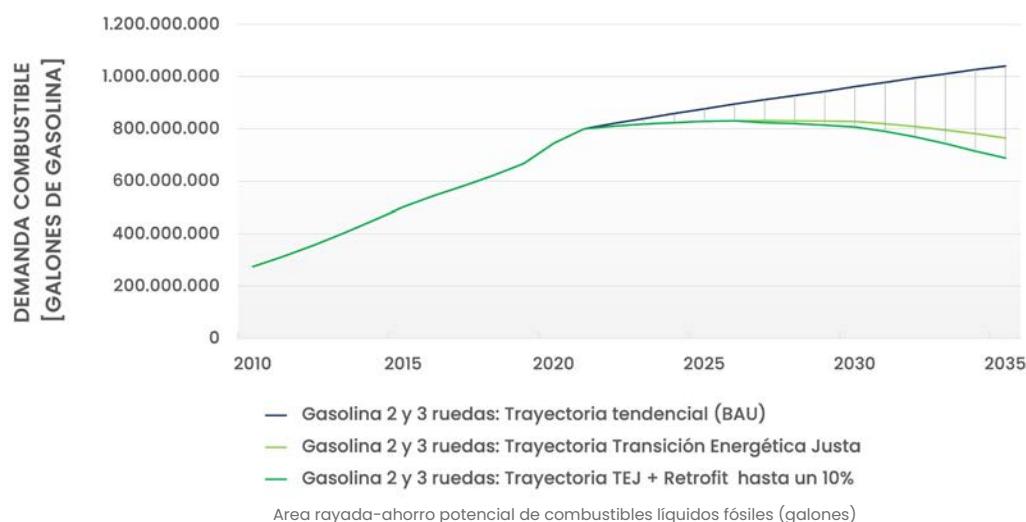


Figura 10. Modelo energético de la demanda de vehículos de 2 y 3 ruedas.
Fuente: Elaboración propia con datos (MinEnergía, 2024b y UPME, 2021).

- a. La tendencia histórica que se observa entre 2010 y 2022 del consumo de combustible fósil, particularmente, de gasolina, es creciente y responde en gran medida al aumento progresivo de los vehículos de 2 y 3 ruedas, por lo cual, como puede verse en la línea azul, es escenario tendencial (*Business as Usual*, BAU), que señala el mismo incremento y que supera tasas de crecimiento de los otros segmentos.
- b. La línea verde claro dibuja los escenarios nacionales que presenta la Hoja de Ruta para la TEJ. Estos escenarios muestran un camino de descarbonización con múltiples medidas, entre las que se resalta la electromovilidad, en consecuencia, se observa una trayectoria con aplanamiento de la curva de crecimiento en el consumo energético y, en años posteriores, una reducción efectiva del consumo fósil.
- c. Es clave mencionar que, en este modelo, existe un supuesto sobre la oferta que considera y simula, a partir de 2030, las ventas de vehículos eléctricos de 2 y 3 ruedas en al menos un 80% de la participación y un 100% eléctricos al 2033, como lo establece la Hoja de Ruta para la TEJ en sus trayectorias de descarbonización (Minenergía, 2024b). No obstante, la cantidad significativa de combustible fósil remanente en el modelo (2030-2035) se debe a la demanda o consumo fósil del parque de combustión ya existente. Se concluye, por tanto, que la electrificación no es la

única medida de descarbonización a considerar para el parque automotor, ya que los vehículos de combustión consumirán combustibles fósiles durante su tiempo de vida restante.

- d. Mediante proyecciones de diversos escenarios, se presenta una trayectoria sobre la base de considerar la medida de retrofit para vehículos de 2 y 3 ruedas, en particular, llegando gradualmente a un 10% del stock este segmento de 2 y 3 ruedas al 2035. Los resultados de dicha simulación están representados por la línea verde oscuro.
- e. Finalmente, la franja sombreada corresponde al potencial ahorro de combustible líquido, que oscila entre 1.600 y 2.000 millones de galones de gasolina entre los años 2026 y 2035. Esta posible reducción se da sobre la base de los siguientes supuestos: una adopción progresiva de la electromovilidad (entrada de nuevos vehículos de 2 y 3 ruedas), medidas de movilidad sostenible, acciones para mejorar la eficiencia energética, un parque automotor creciente y, como complemento, iniciativas de retrofit para vehículos de 2 y 3 ruedas, principalmente, para el sector rural, como se planteó en este proyecto piloto.

ii. Eficiencia energética

En términos de mejor aprovechamiento de la energía por unidad recorrida, la intensidad energética, dada en litro/100

km o kWh/100 km, permite analizar la eficiencia energética para motores de combustión y eléctricos.

Para comparar tecnologías, es necesario llevar a unidades comparables la intensidad energética por kilómetro. En este caso, a megajoules por cada 100 km (MJ/100 km). Se presentan a continuación tres marcas de vehículos de eléctricos y de combustión interna de 2 y 3 ruedas precisando la energía por kilómetro, indicando que se emplearon datos estimados y de fichas técnicas de marcas bien conocidas:

*Consumo aprox.	Consumo kWh/100 km	Consumo MJ/100 km
e-Moto Modelo 1 (100 km autonomía)	2	7,2
e-Moto Modelo 2 (120 km autonomía)	2,5	9,0
e-Moto Modelo 3 (110 km autonomía)	3	10,8

	Consumo l/100 km	Consumo MJ/100 km
Moto CI Modelo 1 (aprox. 100 cc)	1,6	54,7
Moto CI Modelo 2 (aprox. 125 cc)	2,2	75,2
Moto CI Modelo 3 (aprox. 125 cc)	2,5	85,5

Tabla 2. Comparación de consumo energético de motos cada 100 km. *Consumos aproximados.

Fuente: Elaboración propia con datos de mercado, fichas técnicas y consumos de referencia (Pelgrims et al., 2020).

Con la **Tabla 2**, es posible comparar las eficiencias energéticas en unidades fundamentales (MJ/100 km) para motocicletas existentes en el mercado colombiano actual. Una vez hecho eso, las conclusiones son:

f. Para las e-motos, se considera más eficiente la relación energía/kilómetros recorridos. Es decir, con menor energía, se hace el mismo trabajo que una moto de combustión, que requiere más energía para el mismo recorrido.

g. La diferencia de eficiencias energéticas es notoria y, por lo tanto, la diferencia del consumo por kilómetro entre motos eléctricas y motos de combustión es, también, considerable. Tomando la referencia de la Tabla 2, asumiendo condiciones técnicamente similares y modelos de vehículos comparables, la moto eléctrica Modelo 3 y Moto CI Modelo 3, se infiere lo siguiente: dicha moto eléctrica puede recorrer cerca de 100 km por cada 10,8 MJ, mientras que la moto de combustión, para recorrer los mismos 100 km requiere 85,5 MJ. Una diferencia de 8 veces más energía por unidad recorrida.

h. Finalmente, una premisa sobre la relevancia de la eficiencia energética en la toma de decisiones relacionada con tecnologías de propulsión y potenciales inversiones: es fundamental, más allá de la cantidad de combustible o de energía requerida por desplazamiento, monetizar el impacto de la eficiencia y el consumo energético en los sistemas de transporte (costos operativos), en cuyo caso, es típicamente menor para los vehículos eléctricos.

iii) Emisiones de gases de efecto invernadero

La tecnología eléctrica es también conocida como “cero emisiones”: debido a que en ella no hay combustión, no se generan emisiones directas en el tramo tanque a rueda (tank-to-wheel) y, tampoco, se requiere uso de lubricantes como aceites de motor en los sistemas eléctricos encargados de la propulsión; esto aporta, de manera efectiva y verificable, a la descarbonización del sector transporte.

En la **Figura 11**, se aprecia la distribución de emisiones de carbono (millones de toneladas de CO₂ equivalente, MtCO₂eq) según el tipo de vehículo. Mediante la sustitución directa de combustible líquido fósil, a electricidad como energético, es posible reducir un gran espectro de las emisiones de los vehículos de 2 y 3 ruedas, así como de otros segmentos, con la movilidad eléctrica.

El Inventario Nacional de Emisiones y Absorción de Gases de Efecto Invernadero (Ingei) estima para sector transporte que el 78,25% de los GEI son emitidos por el transporte terrestre carretero (aprox., 29,6 MtCO₂eq), de los cuales 19,58% de las emisiones corresponden a las emitidas por motocicletas, aproximadamente 5,79 MtCO₂eq, registros del inventario de 2018, según la Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (Mintransporte, 2022).

Con un esquema de simulación, es posible estimar las emisiones evitadas dado el potencial de combustible fósil que dejarían de “quemar” vehículos de 2 y 3 ruedas de combustión interna y bajo el supuesto de ascenso tecnológico gradual entre 2025 y 2035. Al comienzo de esta misma sección IV (numeral e), se estimó el volumen del potencial ahorro basado en el modelado energético del parque automotor y sus proyecciones (MinEnergía, 2023b).

En este caso, el valor del ahorro potencial sería de entre 1.600 y 2.000 millones de galones de gasolina; al emplear la herramienta de cálculo de Factores de Emisión de Combustibles (FECOC), de UPME, los resultados simulados arrojan que las posibles emisiones evitadas serían de entre 12,1 MtCO₂ y 15,2 MtCO₂, aproximadamente, en un periodo de 10 años: 2025-2035 (véase **Figura 11**).

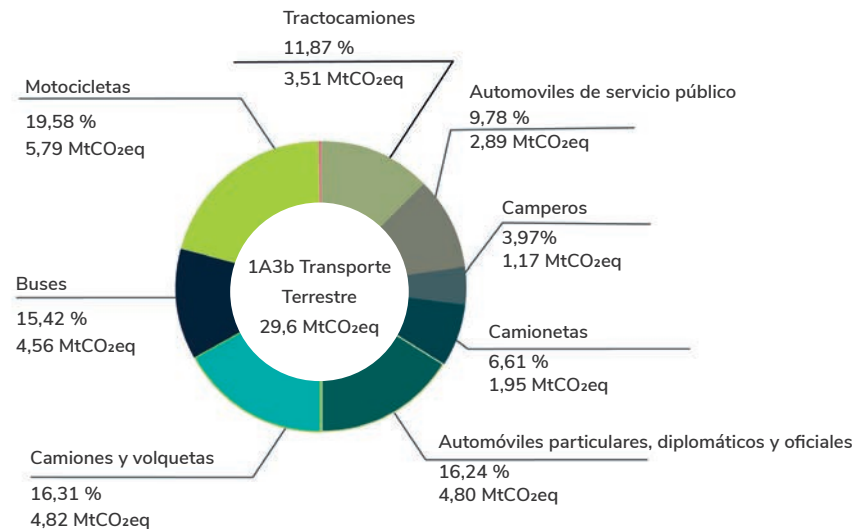


Figura 11. Distribución de emisiones para el sector transporte terrestre, según tipo de vehículos.
Fuente: Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (MinTransporte, 2022)) e Ingei 2018.

Impacto económico de la electrificación

Los modelos económicos típicos para la electromovilidad suelen considerar el ahorro económico, además del costo de la inversión de capital inicial (CAPEX) y del costo operativo (OPEX). Estiman ese ahorro durante el tiempo de vida

de los vehículos. Sobre todo, el costo que representan el combustible líquido sustituido y la monetización de otros beneficios, incluida la vida útil de las baterías y su recambio (Furch et al, 2022). En dicho contexto, es posible hacer análisis con modelos genéricos para vehículos eléctricos. Esto se observa en la **Figura 12**.

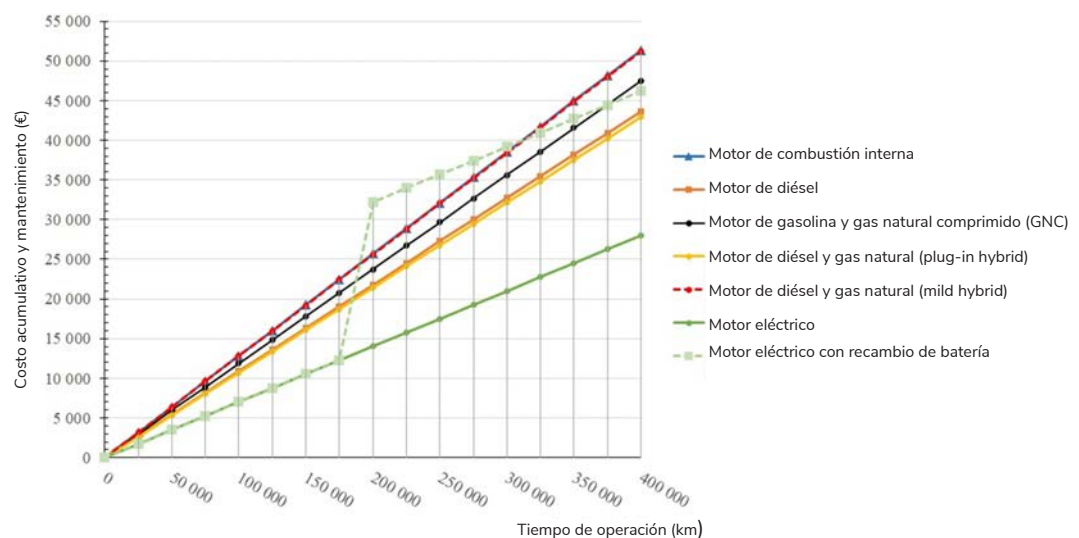


Figura 12. Retorno de la inversión al comparar con un vehículo alternativo en función de los kilómetros recorridos.
Fuente: Reporte científico. Nature “Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles” (Furch et al, 2022)

En el contexto del proyecto piloto e-Rurality, el ejercicio de modelamiento financiero consideró dicha metodología para responder dos preguntas comunes de potenciales usuarios de electromovilidad que fueron objeto de estudio durante la ejecución del proyecto:

- i. **Escenario 1:** en un contexto de usuario típico (viajes origen-destino usuales), ¿es posible afirmar que un vehículo eléctrico de 2 o 3 ruedas es viable en términos financieros en comparación con uno similar de combustión interna?
- ii. **Escenario 2:** en un contexto de usuario de alto uso (alto kilometraje), dado el uso recurrente orientado a desplazamientos de larga distancia, a trabajo o a labores productivas, ¿es posible afirmar que un vehículo eléctrico de 2 o 3 ruedas es viable en términos financieros? Además, ¿en este escenario es atractiva la reconversión a vehículo eléctrico para tomar una decisión de electrificación?

En ambos escenarios y alternativas se evaluaron los indicadores financieros:

- **Valor presente neto (VPN) del ahorro:** en el que se trae a valor presente el total del ahorro de dinero agregado para todos los periodos de estudio. Se entiende el ahorro como la diferencia entre el costo del combustible fósil (\$/galón de gasolina) y el costo de la electricidad (\$/kWh) para la misma distancia recorrida por año (km/año) por un vehículo de combustión y uno eléctrico. En el cálculo del ahorro, intervienen, también, costos operacionales para cada tipo de vehículo (mantenimientos, cambio de partes, seguros, etc.).
- **Tasa interna de retorno (TIR):** permite evaluar, entre varias alternativas, la rentabilidad de cada una y compararlas como una oportunidad.
- **Tasa de descuento:** se empleó, como referencia, una tasa del 10% en los escenarios (véase anexo I).

Algunas consideraciones y el contexto son: el análisis financiero está basado en los datos recolectados durante, al menos, 12 meses en campo, para condiciones extremas en La Guajira: altas temperaturas (típicamente, entre 35°C y 40°C, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam), baja conectividad y cobertura eléctrica en la zona, alta demanda de transporte privado en respuesta a la baja oferta de transporte público urbano, desplazamientos de largas distancias (por ej., son frecuentes los viajes desde las veredas a las cabeceras municipales),

dependencia de vehículos motorizados para la movilidad, baja calidad en la infraestructura vial (en particular, vías secundarias y terciarias) y topografía exigente. Parte de esta información la proveyeron la comunidad y actores locales del sector de Mingueo, La Guajira.

i. Escenario 1: usuario con uso típico de la motocicleta adquiere moto eléctrica nueva.

Se establecen los supuestos y parámetros considerados para el escenario 1: para el escenario 1:

Parámetro	Valor
Horizonte de tiempo	12 periodos (años)
Kilómetros recorridos / año	7200 km
Costo moto combustión interna nueva – CAPEX (Línea base)	\$6.000.000
Costo moto eléctrica nueva CAPEX	\$8.000.000
Costo combustible fósil (\$/gal)	\$16.250 (CREG) (Valor incrementa en el tiempo)
Costo electricidad (\$/kWh)	\$1.172* (Valor incrementa en el tiempo)
*Valor tomado de recibido de servicios públicos local.	
Costo de administración, operación y mantenimiento (AOM)	Se consideraron de los costos básicos: cambios de aceite, cambio de batería, etc.

Tabla 3. Valores y parámetros de referencia empleados el modelo financieros, escenario 1.

El análisis financiero del escenario uno, usuarios típicos de movilidad de 2 y 3 ruedas, en el que un usuario de motocicleta de combustión interna se pasa a moto eléctrica nueva, arrojó la siguiente información:

- CAPEX (e-moto nueva): \$8.000.000 COP
- VPN del ahorro: \$5.993.368 COP
- Tasa interna de retorno: 46,12%

En este escenario de un usuario con kilometrajes de 7.200 km/año, el valor presente neto (VPN) de los ahorros generados año a año, luego de una inversión inicial de

\$8.000.000 COP, es de \$5.993.368 COP, aproximadamente. Este ahorro incluye, además del que supone el cambio de energético, los costos iniciales de adquisición del vehículo y costos operacionales.

Se comprenden beneficios establecidos en la Ley 1964 de 2019 y en la Ley 1955 de 2019. Entre esos beneficios están la reducción del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) y el descuento al impuesto vehicular y al seguro obligatorio.

En este escenario, no se evaluó la alternativa de retrofit, dado que el costo de la reconversión podría ser, incluso, más costoso que una moto eléctrica nueva (véase Tabla 4). En conclusión, la mayor inversión en la que se incurre al adquirir una moto eléctrica nueva tiene una TIR aproximada de 46,12%, teniendo en cuenta los ahorros operativos que se obtienen por menores costos de operación.

ii. Escenario 2: Usuario con uso intensivo/productivo/ largas distancias

Se establecen los supuestos y parámetros considerados para el escenario 2:

Parámetro	Valor
Horizonte de tiempo	12 periodos
Kilómetros recorridos / año	36000 km
Costo moto combustión interna nueva – CAPEX (Línea base)	\$6.000.000
Alternativa 1: Costo moto eléctrica nueva CAPEX (valor del mercado)	\$18.490.000
Alternativa 2: Costo retrofit – CAPEX, desagregado en:	\$21.000.0000
* Costo aprox. de retrofit (materiales y mano de obra)	\$15.000.000*
** Costo moto nueva CI (en este caso se adquirió una nueva)	\$6.000.000**
Costo combustible fósil (\$/gal)	\$16.250 (Valor incrementa en el tiempo)

Costo electricidad (\$/kWh)	\$1.172 (Valor incrementa en el tiempo)
-----------------------------	--

Tabla 4. Valores y parámetros de referencia empleados en el modelo financieros, escenario 2.

En el escenario dos, se evaluaron dos alternativas para la electrificación del transporte. En la alternativa uno, se considera la adquisición de un vehículo nuevo de 2 y 3 ruedas; en la alternativa dos se considera la reconversión de una moto combustión interna a eléctrica, con mejoras en su sistema de baterías y potencia, adecuadas al terrero rural para alto desempeño. Ambos casos se adelantaron durante el proyecto piloto en La Guajira. A continuación, se presentan los indicadores.

Alternativa uno: adquirir una moto eléctrica nueva, con alta autonomía y alto rendimiento en potencia, sobre la base de suponer un costo de compra de \$18.490.000 COP (valor promedio en 2025 en el mercado colombiano para una moto de alto desempeño). Con estos elementos, se tienen los resultados:

- CAPEX (e-moto nueva): \$18.490.000 COP
- VPN del ahorro: \$22.036.876 COP
- Tasa interna de retorno: 35,99%

Alternativa dos: se realiza retrofit a una moto de combustión interna, de modo que se la transforma en una moto eléctrica con alta autonomía y alto rendimiento en potencia. En el caso de este proyecto piloto, se adquirió una moto de combustión interna (CI) nueva para el ejercicio de retrofit, con la finalidad un mejor manejo y control de datos con respecto al estado y antigüedad del vehículo. Por otro lado, la estimación del valor del retrofit, dado lo anterior, es la suma del valor de salvamento de la moto a reconvertir y los costos de la reconversión (materiales y mano de obra). Se describe en la siguiente ecuación (1) para el cálculo mencionado, donde C es costo:

$$(1) \text{CostoTotal}_{\text{retrofit}} = C_{\text{Salvamento}} + C_{\text{ManoObra}} + C_{\text{Materiales}}$$

Durante el proyecto piloto, se calculó en \$21.000.000 COP el costo total para los vehículos de pruebas. De ese monto, \$6.000.000 COP es el valor del vehículo de salvamento y \$15.000.000 COP es el valor total aproximado de la reconversión, incluidos insumos y horas de trabajo. En este

escenario, los indicadores financieros son:

- CAPEX (CostoTotalretrofit): \$21.000.000 COP
- VPN del ahorro: \$19.755.058 COP
- Tasa interna de retorno: 30,17%

En este sentido, en el escenario dos, se evaluaron dos alternativas de la electrificación del transporte en motos de alto rendimiento para productividad y altos kilometrajes en zonas rurales. En la alternativa de adquirir un vehículo nuevo, se tiene un ahorro (llevado a VPN) de \$22.036.876 COP y una tasa de retorno atractiva: 35,99%.

Sobre la reconversión, dado los altos costos del retrofit, a pesar del potencial en el ahorro llevado al valor presente neto es de \$19.755.058 COP, su tasa de retorno es inferior (30,17%). Se hizo un ejercicio de simulación bajo el supuesto de un costo de salvamento inferior a lo estipulado en este proyecto piloto: este costo se calculó como la mitad del salvamento de la alternativa dos, es decir, \$3.000.000 COP. En esa perspectiva, el costo del retrofit (Capex), según la ecuación (1), sería de \$18.000.000 COP. por lo que se podrían inferir resultados similares a la alternativa uno, una moto nueva.

En conclusión, en las dos alternativas se hace evidente, en términos financieros, una mayor inversión en vehículos eléctricos que se compensa con mayores ahorros, lo que implica una rentabilidad para el comprador. No obstante, el alto costo inicial, el poco acceso a capital y el desconocimiento de estas tecnologías y de sus capacidades, entre otras barreras culturales, pueden obstaculizar que haya una adopción masificada por parte de los conductores de este tipo de vehículos.

Adicionalmente, es importante resaltar que las condiciones de un vehículo nuevo comparadas con las de uno usado no son lo mismo en términos de rendimiento, de requerimientos mecánicos y de mantenimiento. Además, el deterioro general de los sistemas no garantiza la seguridad vial del pasajero.

Impacto y beneficios sociales de la electrificación

Más allá de los beneficios energéticos, ambientales y financieros de los vehículos de 2 y 3 ruedas, es importante tener en cuenta algunos de los aportes de carácter social que la movilidad eléctrica puede hacer al sector rural del país.

Por un lado, la demanda de viajes y la accesibilidad a algunos servicios básicos como educación, salud, trabajo se atiende con vehículos individuales en zonas remotas, apartadas y no interconectadas. La Figura 13 es un mapa denominado “Horas de desplazamiento a ciudades principales” (IGAC, 2022) y en él es posible observar los tiempos excesivos –hasta más de 8 horas– para que la población pueda acceder a servicios que en los territorios rurales no están disponibles o son inexistentes. Por otro lado, el alto grado de centralización de Colombia en torno a ciudades capitales y la necesidad de acceso a servicios básicos y especializados en regiones apartadas, por ejemplo, centros médicos, universidades, entre otros, ha conducido a que, en algunas regiones, el modo de transporte por excelencia de los hogares sea un vehículo de 2 y 3 ruedas.

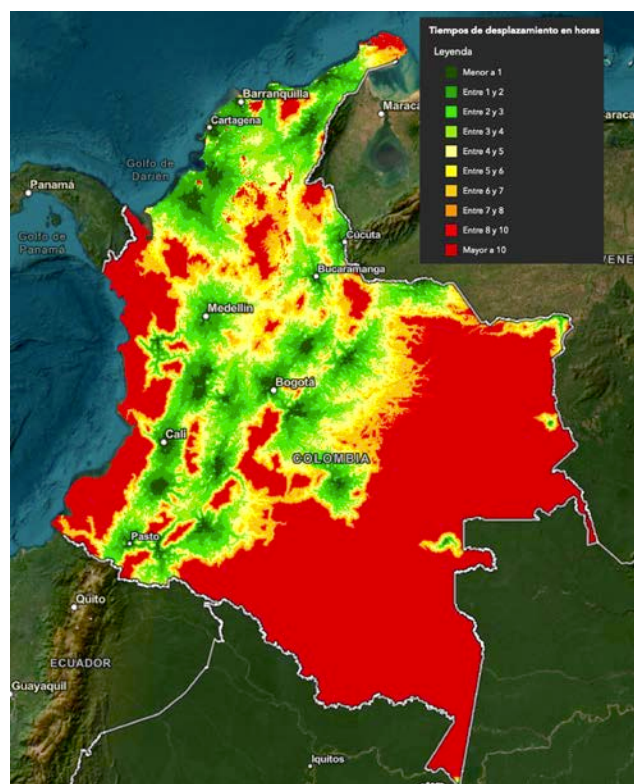


Figura 13. Horas de Desplazamiento a ciudades principales.
Fuente: (IGACodazzi, 2022)

Al examinar los datos geográficos, es posible visualizar la distribución de motocicletas por departamento en el mapa de la Figura 14 (número de motocicletas por cada 100 habitantes) y su estrecha relación con las horas de desplazamiento de áreas rurales, a ciudades principales, lo que se muestra en el mapa de la Figura 13. Un claro ejemplo de la necesidad de que haya medios de movilidad sostenible y que mejore la accesibilidad en un país altamente centralizado.

Bajo este análisis, resaltan las regiones del Pacífico, Orinoquía y Amazonía (Banco Mundial, 2025), cuyo número de vehículos de 2 y 3 ruedas coincide con los largos tiempos de viaje a centros poblados principales. En particular, los departamentos de Guaviare, Meta y Caquetá, pero, también, otros. Es decir, es una oportunidad para que haya accesibilidad, electromovilidad y transporte de diversos modos en el territorio colombiano.

Este fenómeno puede incentivar a las autoridades correspondientes a desplegar soluciones de movilidad sostenible para zonas remotas, apartadas y no interconectadas, geografías en las que existen brechas de información, infraestructura de transporte y energía. También, a generar lineamientos para el transporte público y políticas públicas para la electrificación, la transición energética y una mayor cobertura del transporte.

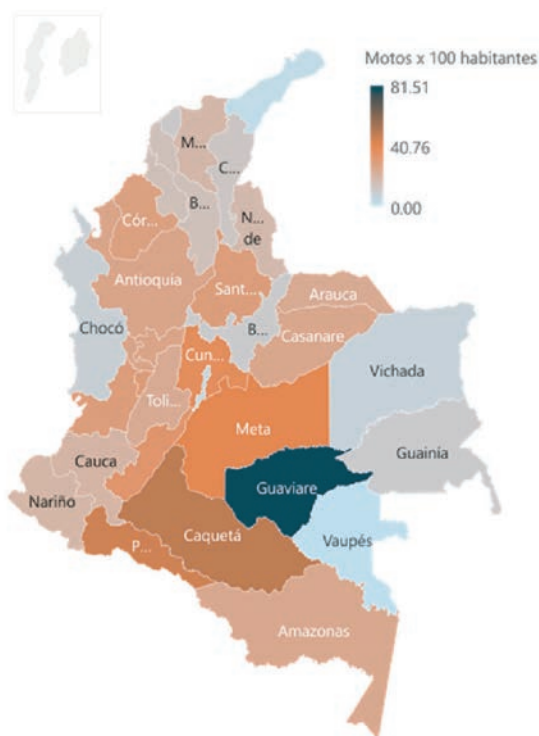


Figura 14. Distribución geográfica de motocicletas por cada 100 habitantes por departamento.
Fuente: (BancoMundial, 2025).

Ahora bien, con respecto a los procesos sociales y organizativos de las comunidades, observados durante la ejecución del proyecto piloto, se documentaron las siguientes experiencias:

En primer lugar, un alto grado de asociatividad, resultante de la vivencia de la comunidad beneficiaria en torno a la construcción, uso y mantenimiento colectivo de una estación de carga solar compartida. Las personas residentes que son

parte de un grupo social se formaron para autogestionar la estación bajo la figura de comunidad energética, próxima a consolidarse. De allí se desprendió, durante la implementación del proyecto, la iniciativa de consolidarse como una asociación o cooperativa que habilita a las comunidades, con los beneficios de la Resolución No. 101 072 de 2025 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el marco normativo del Ministerio de Minas y Energía, a producir, usar y vender excedentes de energía siendo una comunidad energética.

Este modelo de gestión comunitaria de energía puede resolver, en gran medida, los costos de electricidad en aquellas regiones con alta variabilidad de precio por kilovatio-hora. Sobre todo, en zonas no interconectadas (ZNI), se dibuja una alternativa para la generación distribuida, lo que posibilita energizar hogares e impulsar la electromovilidad, tanto terrestre, como fluvial (i.e. embarcaciones eléctricas), así como impulsar otros usos de la generación (i.e. productividad, acceso a telecomunicaciones/internet, cocción sin leña, etc.).

En segundo lugar, en temas de género en el ámbito de transporte para vehículos de 2 y 3 ruedas, el Ministerio de Transporte reportó en su informe anual de Transporte en Cifras 2023 que del total de personas usuarias de motocicleta, el 70,7% correspondió a hombres y el 29,3%, a mujeres. En 2012, el mismo informe reportó que el 86,7% fue el porcentaje de hombres y el 13,3%, el de mujeres; es decir, hubo un aumento de 16 puntos porcentuales entre 2012 y 2023 para las mujeres en la distribución por género de quienes usan motocicletas.

En ese contexto, el proyecto piloto de La Guajira e-Rurality determinó una participación del mismo número de mujeres y de hombres como personas beneficiarias directas que recibieron vehículo eléctrico para las pruebas.

Finalmente, se entiende aquí que los ahorros percibidos por las personas beneficiarias, sumados al hecho de que ellas tengan un medio de transporte eficiente y una forma de autogeneración son factores socioeconómicos en entornos rurales que conducen a generar nuevos modelos productivos e ideas de emprendimiento. Igual, potencian o impulsan ideas de negocio.

En el proyecto piloto, algunas personas percibieron los beneficios, entre ellos, el ahorro económico. Por lo tanto, tuvieron un mejor margen de utilidad en pequeños negocios. Fue el caso de una beneficiario que tiene un emprendimiento de comercialización de alimentos. Ella logró escalar a otros

barrios y veredas y llegar a más clientes, lo que le permitió optimizar sus costos y generar un margen más amplio de ganancias, gracias a la electromovilidad y la energía limpia.

Análisis de la seguridad vial y tasas de congestión

La seguridad vial ocupa un renglón crítico tanto en la discusión sobre vehículos de 2 y 3 ruedas, como para las autoridades y reguladores del sector. Según el Observatorio de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), en 2024, para usuarios de motocicleta, se registraron 17.128 personas lesionadas y 5.096 fatalidades (ANSV, 2024a) y, en paralelo, en el mismo año, se reportaron ventas de al menos 815.601 unidades de motos (ANDI, 2024).

Además, la literatura ha reportado en estudios anteriores la relación directa entre el aumento de vehículos y la accidentalidad en varios países (AIRasyidl., 2009; Albalate et al., 2010; Molina y Villaveces, 2022), entre otros. En el caso colombiano, entre 2017 y 2024, se reportaron 32.258 fatalidades en accidentes motociclisticos, 135.208 personas lesionadas en moto y 17.333, en bicicleta (ANSI, 2024a). Son cifras de magnitud considerable.

En consecuencia, es pertinente preguntarse lo siguiente: ¿existe una correlación entre el número de motocicletas (stock) y el número de fatalidades en el mismo tipo de vehículo? Para responder esa pregunta, se emplearon tanto

la base de datos de la ANSV (ANSV, 2024a), como la de parque automotor (Mintransporte, 2024) de modo que se pudiera evaluar el coeficiente de correlación sin implicar un estudio exhaustivo de la causalidad de las variables. Es decir, total acumulado de motocicletas ($X_{motocicletas}$) y fatalidades de accidentes de usuarios de motocicletas ($Y_{fatalidades}$), datos discriminados por la ANSV del total de accidentes.

En el análisis estadístico, se tomaron los años comprendidos entre 2017 y 2024 (ANSV, 2024a y b). Los resultados cuantitativos arrojaron como resultado numérico un coeficiente de correlación de +0,91 entre un rango de 0 y 1; este valor sugiere que existe una fuerte correlación entre el número de motocicletas en circulación y el registro de fatalidades en accidentes en motocicletas. Sin embargo, es importante recalcar que esta función no arroja conclusiones en cuanto a la causalidad directa. Para dicha indagación, es preciso adelantar otros análisis. Lo que esta información permite concluir, es la existencia de una estrecha relación entre ambas variables [$(X_{motocicletas})$, $(Y_{fatalidades})$], como se ha dado en el contexto colombiano en el periodo de estudio sugiriendo que: el aumento total acumulado de motocicletas (stock) y el aumento de fatalidades de accidentes de usuarios de motocicletas está fuertemente correlacionado, dado el set de datos y los registros históricos nacionales, como se muestran en la **Figura 15**.



Figura 15. Análisis histórico de fatalidades anuales y stock de motocicletas, periodo 2017-2024.
Fuente: Gráfica elaborada con datos de ANSV (2024a), Mintransporte (2023) y (RUNT, 2025).

En este sentido, es importante evaluar mecanismos por parte de las autoridades para identificar las causas de los índices de accidentalidad, que conlleven a tomar medidas que impliquen mejoras sustanciales de la seguridad de los usuarios de vehículos de 2 y 3 ruedas, así como la de otros actores viales.

Finalmente, en términos de seguridad vial, el Observatorio de Seguridad Vial, en el informe (ANSV, 2024b), menciona lo siguiente sobre el Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito (SOAT):

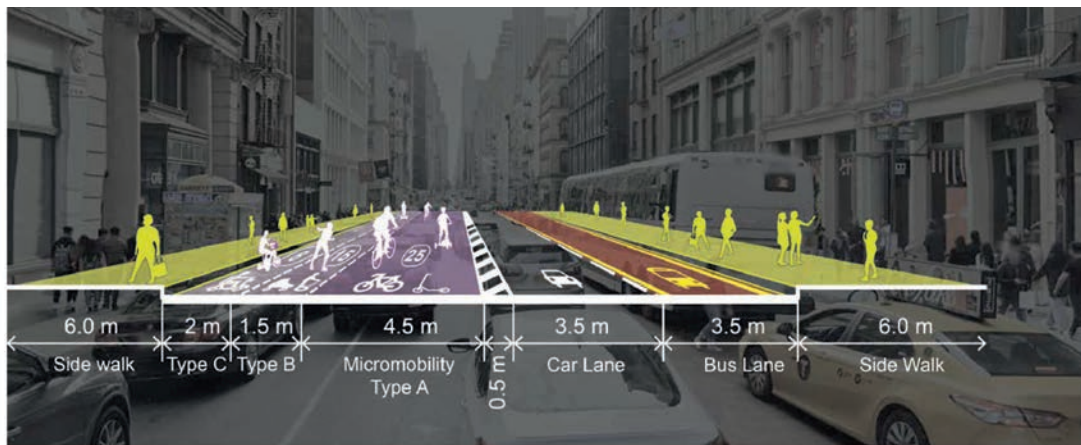
“Las motocicletas presentan altos niveles de evasión del SOAT en todos los tipos de servicio. En el servicio particular, el 61% de las motocicletas no cuenta con SOAT, lo que representa un riesgo considerable debido al alto volumen de este tipo de vehículo (más de 12 millones en circulación)”.

Esta información permite motivar la generación de programas pedagógicos, que acompañan otras medidas en estos temas, por el momento existen en país algunos tipos de vehículos de 2 y 3 ruedas que no requieren de seguro obligatorio, ni identificación o registro nacional para la circulación, temas de alerta y evaluación para las autoridades del tránsito y transporte.

Incidencia en la planeación urbana

La planeación del transporte y la movilidad futura viene acompañada de la planeación urbana y del diseño de ciudades (TUM, 2014). La visión de desarrollo urbano permite establecer los lineamientos desde la perspectiva de la movilidad, del acceso e infraestructura del transporte, así como de focos de desarrollo económico o zonas de atracción.

Una de las metodologías empleadas es la llamada Desarrollo orientado al transporte, que prioriza a los usuarios y a los modos del transporte en la expansión urbanística y económica, con el objetivo de generar espacios sostenibles, calidad de vida, accesibilidad, desarrollo económico, entre otros beneficios a los ciudadanos. Al referirse a algunos de los vehículos de 2 y 3 ruedas, es posible utilizar el término micromovilidad. En algunos manuales de diseño urbano (Rixey, A., et. al., 2020; Happold, 2022) se plantean propuestas de rediseños urbanos para adaptar la malla vial considerando las nuevas formas de movilidad, la infraestructura futura podrá ser más inclusiva, segura y multi-actor, como se ilustra a manera de ejemplo en la **Figura 16.**



Proposed vision

Figura 16. Rediseño de una vía, ejemplo de guía para diseño vial de una intersección, ejemplo de guía (Happold, 2022).

SECCIÓN V

RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA Y CONCLUSIONES

El incremento poblacional, la migración a centros urbanos, el crecimiento económico, los cambios comportamentales, la oferta de transporte público, los precios de los vehículos y energéticos, entre otros factores, impactan en las dinámicas del parque automotor de una sociedad (aumento, decremento o estabilización), así como la preferencia de modo por viaje y, por lo tanto, el cambio modal. Es por ello, que, en esta sección, se presentan algunas recomendaciones de política pública bajo la mirada de la movilidad sostenible, en el marco de la electrificación, la transición energética y la descarbonización para el sector transporte, particularmente los vehículos de 2 y 3 ruedas.

Recomendaciones técnicas y tecnológicas

- **Tipificación y especificación:** La regulación y normatividad para los vehículos de 2 y 3 ruedas, en ocasiones tiende a abarcar medidas para varios tipos de vehículo o brindar lineamientos generales, dejando en algunos casos vacíos en las normas. En ese sentido, se recomienda la caracterización y tipificación de los vehículos de 2 y 3 ruedas, esto, puede favorecer el entendimiento de la regulación, tecnologías, usos, permisibilidad de circulación sobre determinado tipo de infraestructura, documentos reglamentarios, seguros, etc. Esto facilitará la adopción de las políticas por parte de los actores claves, brindando claridad y transparencia a los usuarios y las autoridades.
- **Regulación a escala nacional:** A pesar que gran parte de la regulación recae sobre entes gubernamentales locales, algunas políticas de alto impacto para la movilidad sostenible, podrían tener un ámbito nacional vinculante, que conlleve a las autoridades locales a formular políticas públicas de mediano y largo plazo, como políticas de ascenso tecnológico, vida útil de los vehículos, reconversión, incentivos a la movilidad sostenible, requerimientos de seguros, entre otras.
- **Estudios para la reconversión de vehículos de combustión interna a eléctricos:** Para el caso de la reconversión de vehículos de 2 y 3 ruedas de combustión a eléctricos, es importante la generación de los estudios y análisis de impactos y factibilidad que conlleven a regulaciones, certificaciones y estándares para retrofit. Es esencial considerar los diversos impactos a escalas mayores, esto puede llevarse a cabo

mediante bancos de pruebas, laboratorios, prototipos, investigaciones, monitoreo de casos de éxito, consulta a expertos, etc. Con ello se pretende determinar la viabilidad de los procesos de reconversión para los segmento objeto de observación, que incluyen los análisis de los procesos electromecánicos, de los kits de reconversión, de las áreas empleadas en dichos proceso y del personal calificado, esto bajo los principios de la seguridad vial, la sostenibilidad y la ingeniería. En Colombia, el proceso de reconversión ya ha trazado un camino previo, con la experiencia de la instalación de gas natural vehicular (GNV) a vehículos livianos y pesados, originalmente de combustión interna. Hoy en día la reconversión a gas natural tiene un ecosistema regulatorio, de certificaciones y de suministros seguro, estandarizado y confiable.

- **Pruebas piloto y regulación:** Es fundamental fomentar la generación de estudios, experiencias, ejercicios pilotos, prototipos, etc., que permitan validar ciertas hipótesis y supuestos para actualizar y ajustar el marco regulatorio dados los cambios culturales, económicos, macro tendencias y tecnologías, particularmente cuando se incentiva o desincentiva un modo de transporte o alguna tipología vehicular, dado su impacto sistémico en el transporte y la movilidad. Es recomendable contar con instrumentos regulatorios (ej. Sandbox regulatorios) o académicos/científicos para dichas investigaciones, que acompañen desde una perspectiva jurídica la pertinencia y los resultados experimentales.
- **Visión amplia de movilidad sostenible:** En paralelo de la construcción de las políticas públicas para la electrificación del transporte de un segmento en específico y medidas de transición energética (eficiencia energética, descarbonización, etc.), es fundamental generar lineamientos prioricen la movilidad sostenible, incluyendo desarrollo de la infraestructura vial, el transporte público, el cambio modal, entre otras medidas.

Recomendaciones económicas y de acceso a la tecnología

- **Regulación del lado de la oferta (side-offer regulation):** Es recomendable analizar y evaluar los impactos de las políticas públicas orientadas al mercado (oferta y demanda), de tal forma que existan los instrumentos y mecanismos de acceso justo para la población, en relación a la adopción de las nuevas tecnologías. Algunos países ya se han trazado metas para la electrificación de algunos segmentos vehiculares, como la Unión Europea incluyendo España, Francia, Alemania, Suecia, que fijaron su fecha límite para venta de vehículos de combustión interna al 2035. Esta política lleva a la reflexión de la importancia de las medidas regulatorias del lado de la oferta (side-offer regulation) y en paralelo a medidas orientadas a la gestión de la demanda.
- **Políticas públicas participativas, incluyentes y multi-actor:** Para la generación e implementación de esquemas regulatorios, es crítico involucrar a los diversos actores de la movilidad y del mercado, entendiendo los impactos económicos, fiscales, tributarios y financieros de las medidas. En Colombia intervienen en términos de regulación de la movilidad eléctrica autoridades como el Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Industria y Comercio, así como entidades adscritas, y secretarías en el ámbito departamental y municipal, entre otras entidades. Es también importante, un enfoque incluyente donde exista representación de todas las partes involucradas (usuarios, gobierno, academia, industria, gremios, organizaciones de la sociedad civil, etc.).
- **Incentivos económicos y no económicos:** Es importante evaluar y establecer mayores incentivos económicos y financieros para el despliegue efectivo de la electromovilidad en Colombia, así como programas que permitan la sustitución de vehículos de 2 y 3 ruedas usados. Además, es recomendable considerar programas que permitan una salida de operación programada o planeada, de aquellos vehículos de 2 y 3 ruedas en el final de su vida útil, al objetivo de prevenir un aumento desmedido del parque automotor.

Recomendaciones de movilidad, seguridad vial y planeación urbana

- **Digitalización del transporte:** Mediante nuevas tecnologías es posible monitorear, diagnosticar y controlar situaciones del tráfico vial. Acciones concretas como la implementación de semaforización inteligente, coordinación de semáforos (ola verde), priorización de flujos viales (a peatones, ciclistas y motociclistas, por ejemplo). Además, las intersecciones con un plan de semaforización en constante mejora, puede mitigar los riesgos de accidentalidad, sobre todo a peatones, ciclistas, usuarios de vehículos de 2 y 3 ruedas y otros actores viales.
- **Pedagogía sobre movilidad y seguridad vial:** Es pertinente considerar programas y/o mecanismos de incentivos tanto en educación vial como de un conocimiento a los usuarios de vehículos de 2 y 3 ruedas sobre el marco normativo y regulatorio, que permita la prevención tanto de accidentes, lesiones y fatalidades, como de infracciones y sanciones por desconocimiento.
- **Diagnósticos y análisis integrales:** En la construcción de las políticas públicas de movilidad sostenible, especialmente aquellas que incentiven o desincentiven ciertos modos de transporte o tecnologías, es favorable incluir en los estudios de viabilidad, los diversos impactos no solo en materia de movilidad e infraestructura existente y futura, sino las potenciales interacciones con otros modos, un potencial cambio modal, el impacto energético, potenciales impactos en la industria y producción nacional, impactos socioeconómicos y ambientales, entre otros. Esto brindará una visión integral de las implicaciones regulatorias y abrirá espacios de diálogo y concertación, resultando en buenas prácticas regulatorias y del mercado.
- **Visión de ciudades inteligentes:** Desde un punto de vista de ciudades sostenibles e inteligentes (Smart Cities), es importante incorporar al análisis de movilidad sostenible áreas como la planeación urbana, la planeación de transporte, las ciencias sociales, ambientales, la ingeniería de tránsito y transporte para tener una lectura amplia del fenómeno de la movilidad y urbanismo en Colombia, orientado a un ejercicio de planeación y prospección.
- **Monitoreo y optimización del tránsito vial:** Es

importante continuar e intensificar las acciones y medidas de optimización del tránsito urbano, el planeamiento de vías e intersecciones, la señalización y demarcación son medidas que influyen tanto en situaciones de congestión como de seguridad vial, cuantificada en indicadores de tránsito y transporte.

Recomendaciones sociales y ambientales

- **Programas y campañas de educación para actores viales:** Es recomendable la creación e impulso de campañas pedagógicas y educativas en diversos temas para usuarios de vehículos de 2 y 3 ruedas, que muestren los beneficios, usos, seguridad vial, requerimientos como seguros obligatorios y espacios de circulación adecuado, entre otros.
- **Modelos ambientales y monitoreo de emisiones para políticas públicas “verdes”:** Los hábitos comportamentales y el ascenso tecnológico, así como otras medidas factores (i.e. cambio modal, restricción vehicular, desintegración, etc.), determinarán la participación anual en las emisiones GEI de los vehículos de 2 y 3 ruedas. Es posible cuantificar y modelar la demanda energética y la cantidad de combustible líquido de uno o varios vehículos de 2 y 3 ruedas, para identificar su potencial de descarbonización y mejora en eficiencia energética. Sin duda, la electromovilidad de 2 y 3 ruedas sugiere un reto ambiental importante y representa una oportunidad factible para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto, mediano y largo plazo. Los modelos y estimaciones de emisiones, en coordinación con los sistemas de monitoreo y verificación permiten la toma de decisión y el establecimiento de políticas públicas “verdes”.
- **Salida de vehículos y edad del parque:** Es necesario contemplar los mecanismos de desintegración física de los vehículos de 2 y 3 ruedas y la correcta disposición de los elementos dado el término de su vida útil, particularmente, baterías de litio u otros materiales, cargadores, conectores y en general, manejo de residuos y elementos altamente contaminantes. Adicionalmente, acciones para darle un segundo uso (segunda vida) a algunos elementos es recomendable, incluso es favorable contemplar dichos programas ambientales desde las primeras etapas de adquisición de un vehículo eléctrico o flota.

Conclusiones

Finalmente, será esencial plantearse interrogantes relacionados con impactos más allá de los beneficios inmediatos y directos de algún modo, tecnología o tipología en el transporte, el rol activo de todas las partes involucradas permitirá un conocimiento de las necesidades, comportamientos, puntos de mejoras y la aceptación de medidas regulatorias desde una perspectiva humana y de cómo nos movemos. En cuanto a la electrificación del transporte y la masificación de la movilidad eléctrica, es posible concluir, que existe un alto potencial para la electrificación del transporte carretero en Colombia, especialmente en segmentos y mercados que ya muestran una tendencia en aumento en las ventas de vehículos eléctricos, como los vehículos de 2 y 3 ruedas, entre otros.

Además de los beneficios energéticos que provee la electromovilidad (descarbonización y aumento de la eficiencia energética en el sector transporte), la electrificación aporta otros de índole ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, dado el uso de fuentes de energía de bajas o nulas emisiones.

También, su uso provee ventajas económicas (OPEX y ahorros) e, incluso, un potencial fomento de la industria nacional (industrialización y reindustrialización). La electromovilidad tiene, además, efectos sociales, que desempeñan un papel crítico en la percepción y en la adopción de la tecnología por parte de la población.

Por lo tanto, es necesario construir y actualizar en forma constante las políticas públicas en el siguiente sentido: que generen un ecosistema regulatorio adecuado y que se alineen con las necesidades, contextos, condiciones y características propias de la población, la geografía, la topología colombiana y los aspectos que favorecen la penetración de la electromovilidad.

Es importante en ello no perder de vista el paradigma completo de la movilidad sostenible como un sistema dinámico que relaciona las dimensiones técnicas, las tecnológicas, comportamentales, económicas y socioambientales. Es fundamental, además, fomentar la participación ciudadana, la colaboración de múltiples actores, la comunicación e información de las políticas públicas, su monitoreo, así como aquellos aspectos que conducen a mejorar la seguridad vial, la infraestructura y el diseño urbano y de ciudad.

Sobre la autora y los autores

Ana María Orozco Idrobo (amorozco@carmii.com.co). Hizo estudios en ingeniería de transporte en la Universidad Técnica de Munich (TUM). Ha trabajado en el sector del transporte y energía en modelación y políticas públicas. Trabajó en investigación en el Centro Aeroespacial Alemán, BMW Group, TUM y recientemente en el sector público en Colombia. Es coautora de la Hoja de Ruta para la Transición Energética Justa y la Estrategia Nacional para la Infraestructura de Carga.

Juan Pablo Díaz (juan.diaz@polentj.org) Diseñador industrial con posgrado en Movilidad Inteligente. Tiene más de 10 años de experiencia en desarrollo de negocios, consultoría e implementación de proyectos comunitarios. Cuenta con amplia experiencia en electromovilidad y en el diseño de soluciones para la movilidad sostenible, tanto urbana como rural. Ha liderado estrategias orientadas a la reducción de la huella de carbono y la promoción de una transición energética justa.

Luis Daniel Pico Páez (luis.pico@polentj.org). Administrador de Empresas de la Universidad Nacional de Colombia y especialista en Finanzas de la Universidad de los Andes. Ha trabajado en el sector financiero como consultor de banca de inversión y banca de desarrollo en la Financiera de Desarrollo Nacional. Es director financiero y administrativo en Polen Transiciones Justas.

Apoyo en revisión de estilo

Luisa María Navas Camacho

Diseño y diagramación

Diagramación: **Juan Sebastian Céspedes Carrillo**.

Diseño de portada: **Luis Eduardo Medina Saavedra**.

Referencias

- Agencia Nacional de Seguridad Vial, ANSV. (2024a). Observatorio de Seguridad Vial. *Histórico de víctimas. Histórico de víctimas*.
<https://ansv.gov.co/es/observatorio/estadísticas/historico-victimas>
- Agencia Nacional de Seguridad Vial, ANSV. (2024b) Informe anual de seguimiento al Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031.
<https://ansv.gov.co/es/observatorio/publicaciones/informe-de-seguimiento-2023-al-plan-nacional-de-seguridad-vial-2022-2031>
- Albalade, D., & Fernández-Villadangos, L. (2010). Motorcycle injury severity in Barcelona: the role of vehicle type and congestion. In *Traffic Injury Prevention*, 11(6), 623–631.
- AlRasyid Lubis, H. (2009). Motorcycles growth and its impacts to urban transportation. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 7 (The 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009) (pp. 329-329). Eastern Asia Society for Transportation Studies.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, ANDI. (2024). Registro de motocicletas nuevas en Colombia.
<https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17780-andi-y-fenalco-en-2024-se-registraron-e>
- Asociación Nacional de Movilidad Sostenible, Andemos. (2025). Informe general de cifras, abril.
- Banco Mundial. (2025). Programa para la promoción de electrificación de motos y ciclomotores. Informe P179834.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099032025160074068/pdf/P179834-0429ab62-0774-49dd-ae16-355f83ded701.pdf>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG (2024). Precios de combustibles líquidos.
- Furch, J., Konečný, V. & Krobot, Z. (2022). Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles. In *Sci Rep* 12, 10661.
- Happold, B. (2022). *Micromobility street design manual*. Buro Happold.
<https://www.burohappold.com/wp-content/uploads/2022/07/buro-happold-micromobility-street-design-manual-0722.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2022). Colombia en mapas. Horas de desplazamiento a ciudades principales.
<https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-79.0046202441421,-2.3395872615819235,-69.57835071289462,12.329122758970074,4686&b=igac&u=0&t=1&servicio=98>
- Instituto Nacional de Vías, Invías. (2023). Sistema de información vial, mapa de carreteras.
<https://hermes2.invias.gov.co/SIV/>
- Internacional Energy Agency (2025). Global EV Outlook, Outlook for electric mobility.
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>
- Rixey, A., Strayer, C., & Yparraguirre, R. (2020). ITE Pedestrian and Bicycle Standing Committee. *ITE JOURNAL- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS*, 90(7), 16-17.
- Ministerio de Minas y Energía, Minenergía. (2024a). Escenarios nacionales – Transición Energética Justa, Rutas que nos preparan para el futuro.
<https://www.minenergia.gov.co/documents/12383/Escenarios-TEJ-2024.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía, Minenergía. (2024b). ESCENARIOS NACIONALES Transición Energética Justa. Rutas que nos preparan para el futuro (resultados modelo energético del transporte).
https://minenergia.gov.co/documents/12513/MinEnergy_DATA_EnergyTransition_in_Transport_2024-2050_published_v41FRB.xlsx

- Ministerio de Minas y Energía, Minenergía. (2023c). Potencial FNCER Subnacional y Estrategia de Descarbonización.
<https://www.minenergia.gov.co/documents/12382/Potenciales-TEJ-2024.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía, Minenergía, Banco Mundial, Deloitte (2025a). Estrategia nacional para la infraestructura de carga. Capítulo 2 Modelos de negocio para la infraestructura de carga.
https://www.minenergia.gov.co/documents/12729/Capitulo_2-Modelos_de_negocio_para_infraestructura_de_carga-TEJ-2024.pdf
- Ministerio de Minas y Energía (2025b). Estrategia nacional para la infraestructura de carga. Capítulo 5 Guía de transición de estaciones de servicio a estaciones de energía.
https://minenergia.gov.co/documents/13273/Capitulo_5_Guia_de_transicion_de_estaciones_TEJ_2025.pdf
- Ministerio de Transporte, MinTransporte. (2022). Estrategia Nacional de Transporte Sostenible (ENTS).
<https://mintransporte.gov.co/publicaciones/10754/transporte-sostenible/>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Reporte anual Transporte en Cifras.
<https://mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=visorpdf&id=33690&pdf=1>
- Molina, F. y Villaveces, D. (2022). El motociclista cómo víctima más vulnerable en los siniestros viales de Colombia.
- Nieves, J., Aristizábal, A., Dyner, I., Báez, O., & Ospina, D. (2019). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. In *Energy*, 169, 380–397.
- Pelgrims, M., Das, et al., (2020a). Propuesta De Actualización y Consolidación De Escenarios De Emisiones De GEI Por Sector Y Evaluación De Costos De Abatimiento Asociados En Colombia.
- Quadrelli, R. (2018). Collecting energy efficiency data for transport. International Energy Agency, Energy Data Centre.
- Registro Único Nacional de Tránsito, RUNT (2025). Balance del sector tránsito y transporte. Boletín de prensa 001 de 2025.
<https://www.runt.gov.co/sites/default/files/Boletín%20de%20Prensa%20001%20de%202025.pdf>
- Technische Universität München, TUM. (2014). Traffic Management and Control (lectures).
- Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. (2021). Balance energético colombiano.

Anexo I.

Profundización de la tasa de descuento para la transición energética en movilidad.

El análisis costo/beneficio implica para un dueño de vehículo de combustible tomar la decisión de pasarse o no a un vehículo eléctrico. En este análisis se tomaron varias variables de costo de la transición. Una de ellas es la tasa de descuento para la determinación del VPN de la inversión, en cuyo cálculo vale la pena detenerse y profundizar.

En el desarrollo del análisis se presentó una tasa de referencia del 10%, entendida como un supuesto ajustado a la variabilidad de actividades que asumen los dueños de motocicletas: uso típico con kilometraje promedio o para uso de largas distancias y alto kilometraje.

Ahora bien, en este anexo se profundiza con supuestos que pueden aportar otra dimensión al debate sobre el cálculo del VPN de la decisión de la transición energética en vehículos de dos o tres ruedas. En este sentido, se presenta el cálculo de la tasa de descuento siguiente, la metodología CAPM para dimensionar el riesgo financiero asumido por algunos dueños de motocicletas con alto kilometraje.

1. Metodología CAPM

El modelo de fijación de precios de activos de capital (en inglés, Capital Asset Pricing Model, CAPM) es una herramienta financiera utilizada para estimar el costo del capital propio (equity) de una empresa. La fórmula general es:

$$\text{Costo del Equity} = R_f + \beta \times (R_m - R_f)$$

Donde:

- R_f : Tasa libre de riesgo
- β (Beta): Medida del riesgo sistemático del activo
- R_m : Rendimiento esperado del mercado
- $(R_m - R_f)$: Prima de riesgo del mercado

Este modelo asume que los inversionistas requieren una compensación por el valor temporal del dinero (R_f) y por el riesgo asumido ($\beta \times (R_m - R_f)$).

2. Supuesto de un proxy para Colombia

Se puede tomar como un proxy razonable el hecho de que gran parte de las motocicletas en zonas rurales generan altos kilometrajes, como vehículo personal para la movilidad interurbana, labores como mensajería, entre otros usos. En este caso, se presenta un análisis para el supuesto del costo de capital para el sector de mensajería.

2.1 Supuestos

- Tasa libre de riesgo (bono del tesoro de Estados Unidos a 10 años): 4,26%
- Prima de riesgo del mercado global: 5,5%
- Prima de riesgo país (Colombia): 9,61%
- Beta del sector mensajería: 1,1
- Inflación esperada en Colombia: 4,5%
- Inflación esperada en Estados Unidos: 2,2%

2.2 Enfoque 1: CAPM local con Prima de riesgo país

Este enfoque utiliza una tasa libre de riesgo local ajustada con la prima de riesgo país. La fórmula adaptada es:

$$\text{Costo del Equity} = R_f + \beta \times (\text{Prima de mercado}) + \text{Prima de riesgo país}$$

Al sustituir los valores, da el siguiente resultado:

$$\text{Costo del Equity} = 4,26\% + 1,1 \times 5,5\% + 9,61\% = 4,26\% + 6,05\% + 9,61\% = 19,92\%$$

Este resultado, 19,92%, representa una tasa de descuento conservadora en pesos colombianos.

3. Análisis del impacto

Para los dos tipos de usos de vehículos: con bajo o alto kilometraje (usuario común o usuario intensivo), se establecen tasas diferenciadas según el tipo de riesgo financiero asumido:

$$\text{a) TIO I (usuario común)} = 4,26\% + 5,5\% + 9,61\% = 19,37\%$$

$$\text{b) TIO II (usuario intensivo)} = 4,26\% + 1,1 \times 5,5\% + 9,61\% = 19,92\%$$

i) Escenario 1: usuario con uso típico de la motocicleta adquiere moto eléctrica nueva (bajo kilometraje).

Se establecen los supuestos y parámetros considerados para el escenario 1:

Parámetro	Valor
Horizonte de tiempo	12 periodos (años)
Kilómetros recorridos / año	7.200 km
Costo moto-combustión interna nueva – CAPEX (Línea base)	\$6.000.000
Costo moto eléctrica nueva CAPEX	\$8.000.000
Costo combustible fósil (\$/gal)	\$16.250 (CREG) (El valor se incrementa con el tiempo)
Costo electricidad (\$/kWh) *Valor tomado de recibo de servicios públicos local.	\$1.172* (El valor se incrementa con el tiempo)
Costo de administración, operación y mantenimiento (AOM)	Se consideraron los costos básicos: cambios de aceite, kit de arrastre, para EV cambio de batería, etc.

El análisis financiero para el escenario uno, en el que hay usuarios típicos de movilidad de vehículos de 2 y 3 ruedas y un usuario de motocicleta de combustión interna se pasa a moto eléctrica nueva. arrojó la siguiente información:

- CAPEX (e-moto nueva): \$8.000.000 COP
- Ahorro VPN (TIO I): \$2.900.086,65 COP
- Tasa interna de retorno: 46,12%

En este escenario de un usuario con kilometrajes de 7.200 km/año, el VPN de los ahorros generados año a año luego de una inversión inicial de \$8.000.000 COP es de \$2.900.086,65 COP, aproximadamente. Este ahorro incluye, además de

lo correspondiente al cambio de energético, los costos iniciales de adquisición del vehículo y costos operacionales. Se incluyen beneficios establecidos en las leyes 1964 de 2019 y 1955 de 2019, entre ellos, la reducción del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA), el descuento al impuesto vehicular y al seguro obligatorio.

En este escenario no se evaluó la alternativa de retrofit, dado que el costo de la reconversión podría ser, aun más costoso que una moto eléctrica nueva (ver **Tabla 4 del texto central**).

En conclusión, la mayor inversión en la que se incurre al adquirir una moto eléctrica nueva tiene una TIR aproximada de 46,12%, si se tienen en cuenta los ahorros operativos que se obtienen por menores costos de operación.

ii) Escenario 2: usuario con uso intensivo/productivo/largas distancias

Se establecen los supuestos y parámetros considerados para el escenario 2:

Parámetro	Valor
Horizonte de tiempo	12 periodos (años)
Kilómetros recorridos / año	36.000 km
Costo moto-combustión interna nueva – CAPEX (Línea base)	\$6.000.000
Alternativa 1: Costo moto eléctrica nueva CAPEX (valor del mercado)	\$18.490.000
Alternativa 2: Costo retrofit – CAPEX, desagregado en: * Costo aprox. de retrofit (materiales y mano de obra) ** Costo moto nueva CI (en este caso, se adquirió una nueva)	\$21.000.0000 \$15.000.000* \$6.000.000**
Costo combustible fósil (\$/gal)	\$16.250 (El valor se incrementa con el tiempo)
Costo electricidad (\$/kWh)	\$1.172 (El valor se incrementa con el tiempo)

En el escenario dos, se evaluaron dos alternativas de la electrificación del transporte: en la alternativa uno, se considera la adquisición de un vehículo nuevo de 2 o 3 ruedas; en la alternativa dos, se considera la reconversión de una moto combustión interna a eléctrica, con mejoras en su sistema de baterías y potencia, adecuado al terrero rural para alto desempeño.

Las dos alternativas se llevaron a cabo durante el proyecto piloto en La Guajira. A continuación, se presentan los indicadores:
Alternativa uno: adquirir una moto eléctrica nueva, con alta autonomía y alto rendimiento en potencia, con el supuesto de un costo de compra de \$18.490.000 COP (valor promedio del mercado colombiano para moto de alto desempeño a 2025), se tienen los resultados:

- CAPEX (e-moto nueva): \$18.490.000 COP
- Ahorro VPN (TIO II): \$8.165.704,37 COP
- Tasa interna de retorno: 35,99%

Alternativa dos: se realiza retrofit a una moto de combustión interna, transformándola en una moto eléctrica con alta autonomía y alto rendimiento en potencia. En este proyecto piloto se adquirió una moto CI nueva para el ejercicio de retrofit, con la finalidad de mitigar datos por antigüedad en el vehículo. Por otro lado, la estimación del valor del retrofit, dado lo anterior, es la suma del valor de salvamento de la moto a reconvertir, más los costos de la reconversión (materiales y mano de obra). Eso se describe en la ecuación (1) para el cálculo mencionado, donde C es costo:

$$(1) \text{CostoTotal}_{\text{retrofit}} = C_{\text{Salvamento}} + C_{\text{ManoObra}} + C_{\text{Materiales}}$$

Durante el proyecto piloto se calculó en \$21.000.000 COP el total para los vehículos de pruebas. De ese monto, \$6.000.000 COP es el valor del vehículo de salvamento y \$15.000.000 COP es el valor total aproximado de la reconversión con sus insumos y horas de trabajo.

En este escenario, los indicadores financieros son:

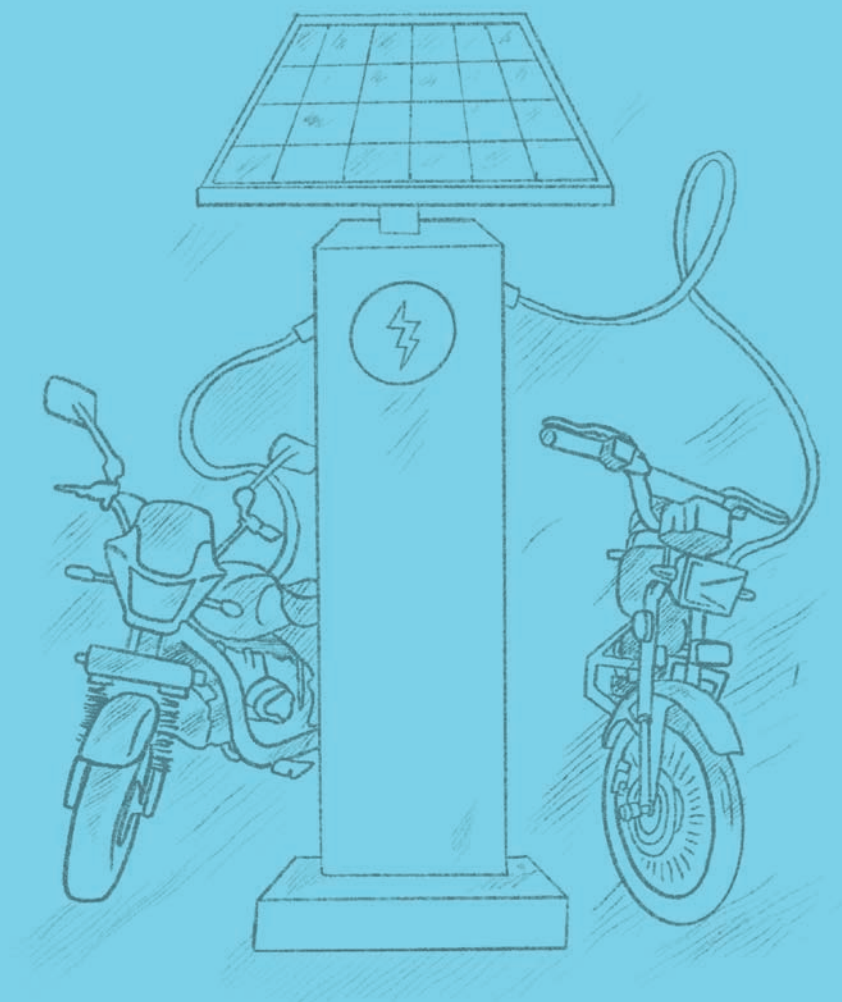
- CAPEX (CostoTotalretrofit): \$21.000.000 COP
- Ahorro VPN: \$6.072.642,33 COP
- Tasa interna de retorno: 30,17%

En ese sentido, en el escenario dos, se evaluaron dos alternativas de electrificación del transporte en motos de alto rendimiento para productividad y altos kilometrajes en zonas rurales. Para la alternativa de adquirir un vehículo nuevo, se tiene un ahorro (VPN) de \$8.165.704,37 COP con una tasa de retorno atractiva, un 35,99%. Sobre la reconversión, dado los altos costos del retrofit, a pesar del potencial en el ahorro (VPN) de \$6.072.642,33 COP, su tasa de retorno es inferior (30,17%). En un ejercicio de simulación, bajo el supuesto de un costo de salvamento inferior a lo estipulado en este piloto, calculado como la mitad del salvamento de la alternativa dos, es decir, \$3.000.000 COP, el costo del retrofit (CAPEX) sería, según la ecuación (1), \$18.000.000 COP. Así, se pueden inferir resultados similares a la alternativa uno, una moto nueva.

En conclusión, en las dos alternativas se puede evidenciar que, financieramente, la TIR es mayor a los costos de capital incurridos, incluso en el escenario donde se ajustan las tasas. Así, una mayor inversión en vehículos eléctricos se ve compensada con mayores ahorros. Eso supone una rentabilidad para el comprador.

No obstante, el alto costo inicial, el poco acceso a capital y el desconocimiento de estas tecnologías y sus capacidades, entre otras barreras culturales, pueden obstaculizar el hecho de que los conductores adopten en forma masiva este tipo de vehículos. Además, es importante resaltar que las condiciones de un vehículo nuevo, en comparación con las de uno usado son diferentes en términos de rendimiento, requerimientos mecánicos y mantenimientos y el deterioro general de los sistemas no garantiza la seguridad vial del pasajero.

Recomendaciones de Política Pública



pol·en

Transiciones Justas



@polentjcol



@polentjcol



POLEN Transiciones Justas



www.polentj.org