



Unidad de Planeación
Minero Energética

Estándares de eficiencia energética y
etiquetado
para vehículos
de carga en Colombia



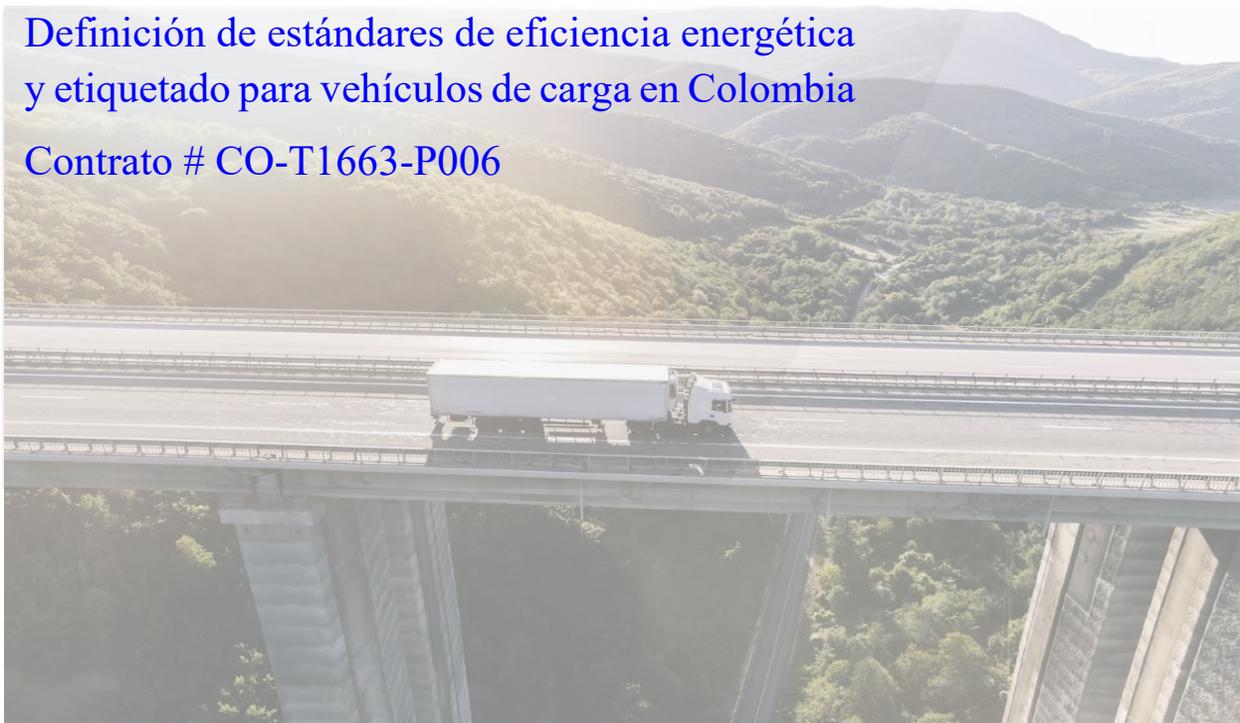


Estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia

Informe III

Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia

Contrato # CO-T1663-P006



Estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia
Informe 3
Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado
para vehículos de carga en Colombia

Inter-American Development Bank

Oscar Alejandro Páramo *Energy Division – Colombia*

Unidad de Planeación Minero-Energética UPME

Dra. Jessica Arias *Subdirectora de demanda*
David Andrés Serrato *Profesionales de la subdirección de demanda*
Ruth Adriana Navas

Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos (RELIEVE)

Dr. José Ignacio Huertas *Tecnológico de Monterrey, México*
Dra. Jenny Díaz
Dra. Luisa Fernanda Chaparro
MSc. Óscar S. Serrano
Ing. María del Carmen Canchola
Dr. John Ramiro Agudelo *Universidad de Antioquia, Colombia*
Dr. Andrés Felipe Agudelo
Dr. Ricardo Moreno
Dr. Michael Giraldo *Universidad EAFIT, Colombia*
Dra. Silvana Arias
Dra. María Luisa Botero
MSc. Gabriel Martínez *Inway, Chile*
Ing. Matías Rivera
Dr. Luis Felipe Quirama *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*
Dr. Alberto Ayala *Consultor Experto Internacional, Sacramento, California, USA*

Dic 2024

Contenido

Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia.....	4
Definiciones	4
Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia.....	6
3.1 Introducción.....	8
3.1.1. Programa para el transporte de carga responsable con el cambio climático	9
3.2 Programa de eficiencia energética para vehículos de carga nuevos.....	11
3.2.1. Metodología para evaluar el desempeño energético de vehículos de carga nuevos.....	11
3.2.1.1 Dirigido a:	11
3.2.1.2 Métricas	12
3.2.1.3 Protocolos de medición.....	12
Uso del modelo de simulación VECTO	13
Pruebas sobre dinamómetro de chasis siguiendo ciclo de conducción.....	13
Pruebas en pista siguiendo ciclo de conducción.....	15
Monitoreo permanente bajo condiciones normales de operación.....	16
3.2.2. Estrategias de eficiencia energética para vehículos de carga nuevos.....	16
3.2.2.1 Programa de etiquetado.....	16
3.2.2.2 Programa CAFE (Estándar de emisiones de CO ₂)	19
3.2.2.3 Programa de incentivos arancelarios.....	22
3.2.2.4 Centro de apoyo al programa de transporte amigable con el clima (CATALINA).....	23
3.3 Programas de eficiencia energética para vehículos de carga en uso	25
3.3.1. Metodología de evaluación del desempeño energético de empresas transportadoras.....	25
3.3.1.1 Dirigido a:	25
3.3.1.2 Métricas	25
3.3.1.3 Metodología de medición.....	26
3.3.2. Estrategias de eficiencia energética para empresas transportadoras de carga.....	26
3.3.2.1 Creación del Centro de apoyo al transporte amigable con el clima CATALINA	27
3.3.2.2 Programa integral de reducción de consumo energético	27
3.3.2.3 Programa de gestión de tarifas preferenciales de transporte de carga con empresas de transporte con sello CATALINA.....	27
3.3.2.4 Financiamiento blando para renovación de tecnología	27
3.3.2.5 Acompañamiento en la comercialización de bonos de carbono.....	27
3.4 Programa de eficiencia energética para empresas generadoras de carga	29
3.4.1. Metodología de evaluación del desempeño energético en el transporte de las empresas generadoras de carga	29
3.4.1.1 Dirigido a:	29
3.4.1.2 Métricas	29
3.4.1.3 Metodología de medición.....	29
3.4.2. Estrategias de eficiencia energética orientado a empresas generadoras de carga	30
3.4.2.1 Creación del Centro de apoyo al transporte amigable con el clima CATALINA.	30
3.4.2.2 Estrategias de eficiencia energética para las empresas generadores de transporte de carga	30
3.4.2.3 Programa de gestión de tarifas preferenciales de transporte de carga con empresas de transporte con sello CATALINA.....	30
3.5 Conclusiones.....	31
Agradecimientos	32
Referencias	32

Anexos

Anexo 3A Revisión de literatura de programas de eficiencia energética para vehículos

Anexo 3B Adaptación de VECTO al contexto colombiano

Anexo 3C Evaluación de impacto ambiental de estrategias de eficiencia energética

Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia

Definiciones

Actividad vehicular: Valor anual de la suma del producto entre la carga transportada y la distancia recorrida en cada viaje logístico (t-km/a).

Año modelo: Año en que un vehículo es considerado parte de una serie o línea específica de producción de acuerdo con las características del diseño y la fabricación. En la mayoría de los casos corresponde al año de venta del vehículo nuevo.

Carga nominal: Es la carga máxima especificada por el fabricante para la que el vehículo de carga está diseñado.

Carga útil: Es la carga total transportada por el vehículo.

Camión rígido: Vehículo automotor que, por su tamaño y destinación, se usa para transportar carga, con peso bruto vehicular superior a 5 toneladas.

Configuración o categoría vehicular: Se refiere a la clasificación de cada vehículo de acuerdo con la Resolución 4100 de MinTransporte.

Corredores logísticos: Carreteras usadas para el transporte de mercancías y el desarrollo del comercio. Estos corredores integran de manera eficiente uno o varios puntos de origen y destino, considerando aspectos clave como la infraestructura de transporte, el flujo de información y comunicación, las prácticas comerciales y otros factores que optimizan la logística y el intercambio comercial.

Empresas generadoras de carga: Empresa remitente o destinatario de la carga.

Factor de emisión: Valor promedio de la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con la cantidad de energía usada (g/L o g/DEL).

Fabricante: Empresa responsable del diseño, producción y comercialización del vehículo.

Índice de emisión: Cantidad promedio de CO₂ o contaminante emitido en el tubo de escape por unidad de distancia recorrida (g/km) o por unidad de actividad (g/t-km).

Litros equivalentes de diésel (DEL): Unidad de medida utilizada para comparar el consumo energético entre diferentes tecnologías que emplean diferentes fuentes de energía a su equivalente en litros de diésel. En América Latina, más del 90% de vehículos de carga operan con diésel, por lo que se define a esta como unidad de referencia.

Modelo: Se refiere al nombre o la designación específica que identifica a un vehículo dentro de la línea de producción de un fabricante, el cual puede diferenciarse de otros vehículos de la misma marca por sus características, diseño o capacidades técnicas. En Colombia, suele conocerse como “línea”.

Peso bruto vehicular: Representa el peso del vehículo vacío más la carga que puede transportar

Peso en vacío: Representa el peso del vehículo con el equipo estándar de fábrica, combustible en el tanque a su nivel nominal y demás consumibles, pero sin incluir pasajeros o carga adicional.

Remolque: Vehículo no motorizado, halado por una unidad tractora a la cual no le transmite peso. Dotado con su sistema de frenos y luces reflectivas.

Semirremolque: Vehículo sin motor, a ser halado por un automotor sobre el cual se apoya y le transmite parte de su peso. Dotado de un sistema de frenos y luces reflectivas.

Tecnología vehicular: Conjunto de combinación: Fabricante – motor – tren motriz – modelo/línea – configuración – año modelo – certificado de emisiones.

Tractocamión: Vehículo automotor destinado a jalar un semirremolque, equipado con acople adecuado para tal fin.

Vehículos en uso: Vehículos que se encuentran en condiciones normales de operación.

Vehículos nuevos: Vehículos con desempeño igual al de un vehículo de cero kilómetros de uso. Para propósitos de este estudio, se consideran vehículos nuevos a aquellos con menos de 5000 km de uso.

Vehículos pesados: Aquellos vehículos utilizados para el transporte de mercancías o pasajeros con una capacidad de carga superior a 3,5 toneladas.

VIN (Vehicle identification number): Número de identificación vehicular; es el código de identificación para un vehículo automotor específico. Está compuesto de 17 caracteres (alfanumérico) que sirve como identificador único para el vehículo.

Volqueta: Automotor destinado principalmente al transporte de materiales de construcción, provisto de una caja que se puede vaciar por giro transversal o vertical sobre uno o más ejes.

Nomenclatura

		<i>Unidades</i>
<i>SFC</i>	<i>Consumo específico de combustible</i>	DEL/ 100 km
<i>SFC*</i>	<i>Consumo específico de combustible con carga transportada</i>	DEL/ 100 t-km
<i>EF</i>	<i>Factor de emisión de gases de efecto invernadero</i>	gCO ₂ e/ DEL
<i>EICO₂e</i>	<i>Índice de emisiones de CO₂</i>	gCO ₂ e/ km
<i>EICO₂e*</i>	<i>Índice de emisiones de CO₂ por carga</i>	gCO ₂ e/ t-km
<i>EICO₂e'</i>	<i>Índice de emisiones de CO₂ por producto</i>	gCO ₂ e/ p
<i>DEL</i>	<i>Litros equivalentes de diésel</i>	
<i>MRV</i>	<i>Monitoreo, reporte, y verificación</i>	
<i>CATALINA</i>	<i>Centro de apoyo al transporte amigable con el clima</i>	
<i>GEI</i>	<i>Gases de efecto invernadero</i>	

Definición de estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en Colombia

Resumen

Este documento presenta una propuesta de programa de eficiencia energética para vehículos de carga en Colombia. Constituye el informe No 3 del contrato # CO-T1663-P006 firmado entre el Banco Interamericano de Desarrollo, la Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia (BID-UPME) y el Tecnológico de Monterrey, en colaboración con la Universidad EAFIT, la Universidad de Antioquia, y la empresa INWAY SpA y con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y un experto internacional con experiencia directa en California y Estados Unidos. Todos ellos pertenecientes a la Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos (RELIEVE).

El objetivo del programa de eficiencia energética es conducir al sector transporte terrestre de carga hacia reducciones sustanciales de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual además del impacto ambiental, representa también impacto económico, al reducir el consumo de combustibles líquidos. En consideración a las particularidades del transporte de carga en Colombia, el programa propuesto comprende los tres subprogramas descritos a continuación. Cada subprograma incluye una definición del sujeto a quien va dirigido, la métrica de evaluación, y el proceso de evaluación de dicha métrica. Adicionalmente, comprende un conjunto de estrategias a implementar.

Vehículos nuevos: Programa dirigido a fabricantes, importadores y/o comercializadores de vehículos. Hasta la fecha, en Colombia los vehículos de carga son importados y está restringida la importación de vehículos usados. Actualmente, solo se se pueden importar vehículos Euro VI. La métrica de evaluación es eficiencia energética (η , %). El interesado puede evaluar la eficiencia de su vehículo (η) mediante alguno de los siguientes métodos: I.) simulación: usando el modelo *Vehicle Energy Consumption calculation Tool* (VECTO), adaptado a Colombia, II.) reproduciendo ciclos de conducción en dinamómetro de chasis ó III.) pruebas en ruta. Las estrategias del programa comprenden:

- Un programa de etiquetado en el que la oferta de vehículos nuevos se clasifica en percentiles según su eficiencia energética. Se construye la línea base de eficiencia energética de la oferta de tecnologías de vehículos de carga nuevos del año anterior. Los vehículos nuevos, antes de ser comercializados, reciben la etiqueta verde oscuro si su eficiencia es superior al 90% de la línea base ($\eta \geq 90$ percentil). Se les asigna la etiqueta roja cuando su eficiencia es inferior al 10% de la línea base ($\eta < 10$ percentil). Además, reciben las etiquetas naranja, amarilla y verde si se encuentran en los percentiles hasta 40%, 70% y 90% de eficiencia respecto a la línea base.
- Programa de ascenso tecnológico (*estándar de emisiones de GEI*) CAFÉ (Programa de Capacitación, Ascenso tecnológico y Eficiencia Energética), mediante el cual cada empresa comercializadora podrá vender la composición de vehículos pesados cuya eficiencia promedio ponderada anual sea superior al valor establecido como límite inferior de la etiqueta verde oscuro. Tendrá la posibilidad de promediar, intercambiar créditos para el cumplimiento, y acumular créditos para el siguiente periodo.
- Armonización de los incentivos fiscales para que sean dirigidos a vehículos con etiqueta verde oscuro, independientemente de la tecnología.

- Centro de apoyo al programa de transporte amigable con el clima (CATALINA). Este Centro es un consorcio conformado por entidades de gobierno (transporte, energía, ambiente), las empresas involucradas en el transporte de carga (fabricantes, transportadores, generadores de carga), las universidades y comunidades, dedicada a:
 - Mantener actualizados y en forma pública todos los datos útiles a los actores involucrados en el transporte de carga que les permite tomar acciones tendientes a reducir el consumo de combustible y las emisiones de GEI tales como η por tecnología, $EICO_{2e}$ por empresa de transporte y $EICO_{2e}$ por empresa generadora de carga. Valores de etiquetas y certificados de carbono y sellos empresariales.
 - Apoyar, asesorar y capacitar técnicamente a las empresas en sus acciones tendientes a reducir emisiones de GEI.
 - Implementar y accionar los programas dirigidos a fabricantes, transportadores y generadores de carga.
 - Buscar recursos económicos para financiar sus acciones y fortalecimiento de la infraestructura del país orientada a reducir las emisiones de GEI.

Vehículos en uso: Programa dirigido a operadores de flota de vehículos de carga (transportadores). La métrica de evaluación es el Índice de Emisión de GEI ($EICO_{2e}$, $gCO_{2e}/t\ km$). Se determina mediante la metodología AMS-III.S establecida por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Las estrategias de este programa comprenden:

- Programa de responsabilidad climática. Programa de monitoreo, reporte y verificación (MRV) de emisiones de GEI, inicialmente de carácter voluntario (primeros 5 años), donde las empresas determinan sus emisiones anuales de GEI y establecen metas y acciones de reducción. Al finalizar el año se realiza una verificación externa. La empresa que alcance o supere las metas establecidas recibe el sello de responsabilidad climática (Sello CATALINA) que tiene una vigencia anual. Las empresas dentro del programa reciben apoyo técnico especializado sobre medidas a implementar sobre reducción de costos operativos que simultáneamente reducen emisiones de GEI a través de CATALINA.
- Armonización con el mercado internacional de bonos de carbono a través del CATALINA.
- CATALINA (Propuesta descrita en la sección de vehículos nuevos).

Carga: Programa dirigido a las empresas generadoras de carga. La métrica de evaluación es la emisión anual de GEI generado por el transporte de sus materias primas o insumos a su centro de operación y de productos a sus clientes (ECO_{2e} , tCO_{2e}/a). Se obtiene multiplicando la carga transportada por el factor de emisión $EICO_{2e}$ de la empresa transportadora. Las estrategias de este programa comprenden:

- Programa de responsabilidad climática para empresas generadoras de carga. Programa MRV de emisiones de GEI, similar al descrito para las empresas transportadoras de carga.
- Programa pro-tecnologías verdes en el transporte de carga. Programa armonizado por CATALINA, donde las empresas generadoras de carga otorgan en forma preferencial su carga a las empresas con sello CATALINA vigente.

3.1 Introducción

Colombia se comprometió a reducir en 51% sus emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el 2030 con respecto a las proyecciones de emisiones a 2030 del escenario de referencia 2010-2014, con el propósito de abordar el cambio climático de manera más efectiva y reducir sus impactos (MinEnergía et al., 2020; MinEnergía & UPME, 2022b; UPME et al., 2019).

El inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) más reciente, correspondiente al año 2021, indica que el sector energía tuvo una participación cercana al 30,24% de las emisiones totales, de los cuales el 13,92% correspondieron a las actividades de transporte (IDEAM et al., 2024). Asimismo, en 2018 la Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME concluyó que el sector transporte es uno de los principales consumidores de energía (43%) y presenta altas ineficiencias debido a que tan sólo el 26% de la energía consumida se convierte en energía útil (MinEnergía & UPME, 2022b). Específicamente, el transporte terrestre carretero de carga representa el 25% del consumo de energía del sector transporte y de las emisiones directas de CO₂ de este sector (MinEnergía & UPME, 2022a; UPME et al., 2019).

En respuesta a este panorama, los principales informes y planes del gobierno, como el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PAI-PROURE), el Plan Energético Nacional (PEN) y la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), proponen diversas medidas e iniciativas para reducir las emisiones de GEI del sector transporte. Entre estas medidas destacan el fomento de tecnologías de bajas emisiones, la introducción masiva y progresiva de vehículos eléctricos (incluyendo vehículos de carga livianos), la renovación de la flota vehicular, la sustitución de combustibles líquidos y los programas de conducción eficiente. Estas acciones buscan alcanzar una reducción de las emisiones de GEI del 51% para 2030 (según la NDC), del 9% para 2032 (según el PEN) y del 18% para 2030 (según el PAI-PROURE). Este informe se centra en proponer un programa de eficiencia energética que esté alineado con estas medidas y objetivos.

Con el fin de reducir tanto el consumo de energía como las emisiones de GEI en el sector transporte, el Ministerio de Minas y Energía, a través de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), ha desarrollado programas de eficiencia energética y etiquetado para vehículos livianos, de carga y motocicletas. En el caso de los vehículos pesados, tanto nuevos como en uso, utilizados para el transporte de carga, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la UPME, mediante el contrato # CO-T1663-P006, contrataron al Tecnológico de Monterrey en colaboración con la Universidad EAFIT, la Universidad de Antioquia y la empresa INWAY. Este trabajo también cuenta con el apoyo del Programa Ambiental de las Naciones Unidas y la oficina del Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento, California. Todos estos actores forman parte de la Red Latinoamericana de Investigación en Energía y Vehículos (RELIEVE). Los objetivos específicos del contrato son:

- Construir la línea base de consumo energético de vehículos de carga nuevos y antiguos considerando la caracterización de la flota en función de subsegmentos, tecnologías, edad, modelos, marcas, y en función de variables como consumo de combustible (L/100 km), peso del vehículo (con carga), ruta, velocidad, distancia, gCO₂/km o gCO₂/km-ton.
- Proponer la metodología para definir los estándares de eficiencia energética y etiquetado para vehículos de carga en línea con las ambiciones de ascenso tecnológico, de reducción de consumo de combustible y los compromisos ambientales a 2030 y 2050 de Colombia.

El presente informe (Informe No. 3) reporta los resultados obtenidos relacionados con el segundo objetivo tendientes a proponer una metodología para definir estándares de eficiencia energética y etiqueta para vehículos de carga. Estos resultados fueron obtenidos con base en: I.) Los resultados relacionados con el primer objetivo, los cuales se encuentran descritos en el Informe No 2; II.) Revisión de literatura sobre programas de eficiencia energética para vehículos (Anexo 3A); III.) Entrevistas con directivos de programas orientados a la reducción de consumo energético en América Latina y el mundo; organismos gubernamentales colombianos relacionados con el tema (MinTransporte, MinEnergía, MinAmbiente);

empresas fabricantes de vehículos, transportadoras, y generadoras de carga y profesores investigadores de diferentes universidades en América Latina; y IV.) Conocimiento y experiencia del grupo consultor.

El consumo energético de los vehículos de transporte de carga depende de tres factores principales, como se muestra en la Figura 3.1. Los fabricantes, importadores y comercializadores de vehículos nuevos reportan un valor de consumo de combustible en L/100 km, el cual puede variar en operación debido a factores como gestión de flota, logística, mantenimiento y conducción eficiente. Los actores involucrados son las empresas de transporte (vehículos en operación) y generadores de carga (usuarios indirectos), con el consumo medido en L/100 t-km. Además, la infraestructura vial proporcionada por el gobierno impacta directamente en la operación. Por lo tanto, para definir estándares de eficiencia energética, el programa debe enfocarse en los principales actores: fabricantes de vehículos nuevos y empresas de transporte y generadores de carga para los vehículos en uso.

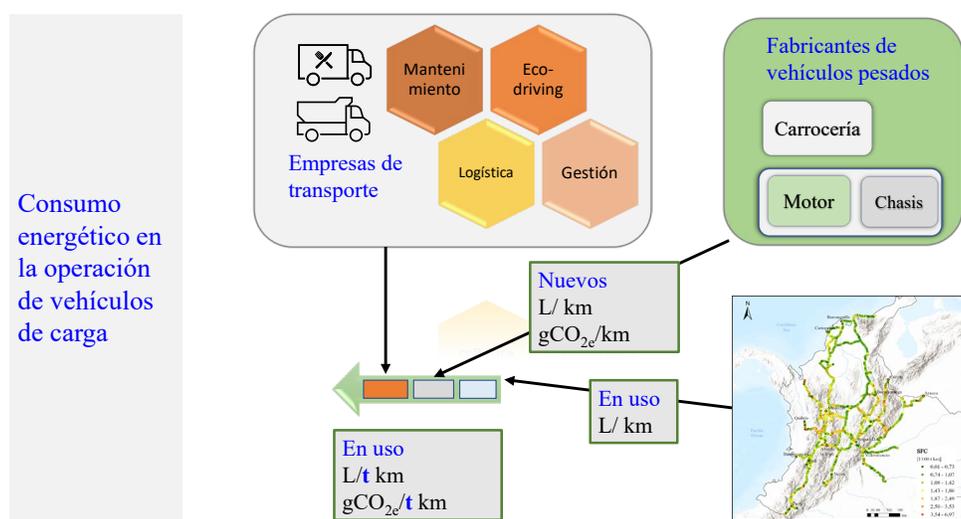


Figura 3.1. Esquema de consumo energético de vehículos de carga

3.1.1. Programa para el transporte de carga responsable con el cambio climático

En cumplimiento con las obligaciones contraídas, este informe profundiza en la metodología de definición de estándares de eficiencia energética. Sin embargo, se encontró que definir estándares de eficiencia energética para vehículos de carga debe estar enmarcado dentro un contexto de mayor alcance, el cual corresponde a un programa de eficiencia energética para el transporte de carga que involucre los diferentes actores y considere las condiciones particulares del transporte de carga en Colombia. La Figura 3.1 sintetiza la propuesta de dicho programa, el cual en adelante se denominará *Programa de Eficiencia Energética para el Transporte de Carga Responsable con el Cambio Climático de Colombia*.

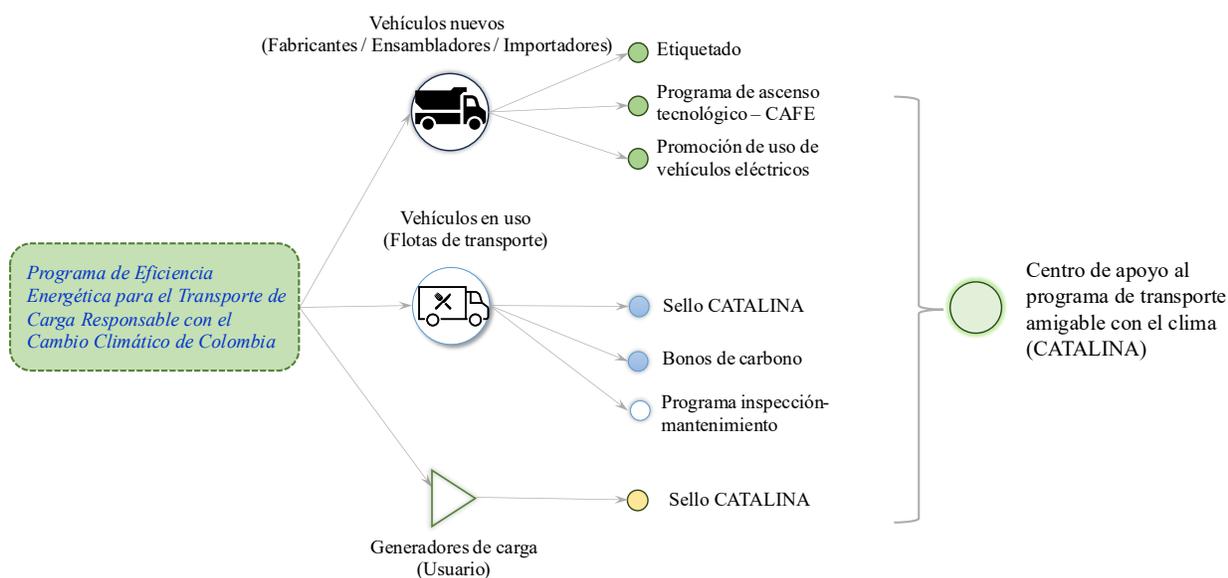


Figura 3.2. Esquema general del programa de eficiencia energética para el transporte de carga responsable con el cambio climático de Colombia.

Este informe está organizado conforme a la estructura presentada en la Figura 32. En primer lugar, se expone la propuesta de programa de eficiencia energética para vehículos nuevos, seguida por la de vehículos en uso y, finalmente, para las empresas generadoras de carga. Cada subprograma se compone de dos partes: I.) Metodología de evaluación, reporte y verificación (MRV) y II.) Conjunto de estrategias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Al final del documento se incluyen definiciones relevantes para su mejor comprensión.

3.2 Programa de eficiencia energética para vehículos de carga nuevos

La flota actual de vehículos de carga en Colombia está compuesta primordialmente por camiones rígidos de dos ejes (C2 – 74%), tractocamiones de tres ejes (3SX – 14%), camiones rígidos de tres ejes (C3 – 8%), y tractocamiones de dos ejes (2SX – 2%), el 1% restante se reparte entre otras posibles configuraciones vehiculares. Dicha clasificación vehicular se basa en la Resolución 4100 del Ministerio de Transporte (Mintransporte, 2004).

La gran mayoría (99,9%) de estos vehículos fueron importados y operan con combustible diésel (83%). A partir de 2023, Colombia exige a todos los vehículos nuevos ensamblados e importados que usan diésel, bien sean pesados o livianos, cumplir con el estándar de emisión Euro VI (Ley 1972 de 2019). Adicionalmente, deben poseer sistema de diagnóstico a bordo, OBD II (On-Board Diagnosis, por sus siglas en inglés) o similares (MinAmbiente, 2022). Actualmente, los fabricantes no están obligados y no reportan alguna métrica relacionada con eficiencia energética. La eficiencia energética de los vehículos nuevos que operan con diésel varía entre 24% y 34%. Los vehículos a gas natural vehicular (GNCV) exhiben eficiencias energéticas de ~35% y los eléctricos de ~73% (Informe 2 del presente proyecto). Colombia cuenta con capacidades reducidas de infraestructura para evaluar el desempeño energético de vehículos.

Considerando las anteriores circunstancias, la Figura 33 sintetiza el programa propuesto de eficiencia energética dirigido a fabricantes, ensambladores e importadores de vehículos nuevos en Colombia para ser usados para el transporte de carga.

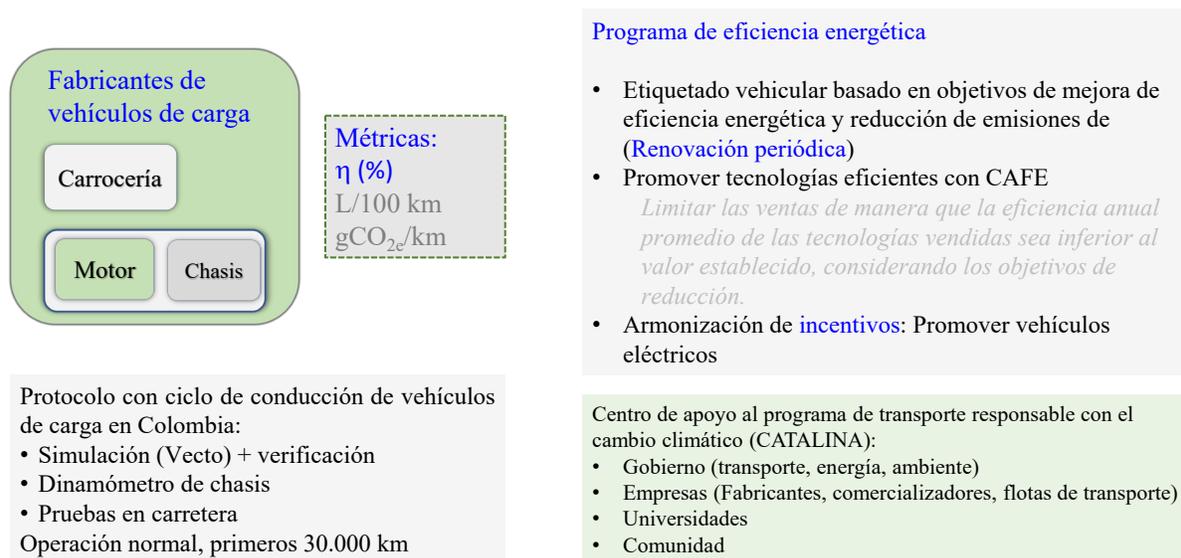


Figura 3.3. Programa de eficiencia energética para vehículo nuevo destinados para el transporte de carga en Colombia

3.2.1. Metodología para evaluar el desempeño energético de vehículos de carga nuevos

3.2.1.1 Dirigido a:

Empresas que fabriquen o importen vehículos en Colombia destinados a ser usados para el transporte de carga en Colombia.

3.2.1.2 Métricas

La Tabla 3.1 lista las métricas recomendadas para evaluar la eficiencia energética de las tecnologías vehiculares bajo las condiciones particulares de Colombia. El vehículo es la combinación de motor-chasis-transmisión, cabina y remolque. Las métricas recomendadas para este tipo de vehículos son la eficiencia energética (η), el consumo específico de combustible (SFC, L/100 km) y el índice de emisión de CO_{2e} (EICO_{2e}, gCO_{2e}/km).

Tabla 3.1. Métricas recomendadas para evaluar la eficiencia energética de vehículos nuevos

Métrica		Unidad	Condición
Eficiencia energética	η	%	Medido bajo ciclo de conducción de vehículos de carga o primeros 30.000 km de uso bajo condiciones cotidianas de operación
Consumo específico de combustible	SFC	L/100 km	Medido bajo ciclo de conducción de vehículos de carga
Emisión de GEI	EICO _{2e}	gCO _{2e} /km	Medido bajo ciclo de conducción de vehículos de carga

3.2.1.3 Protocolos de medición

Las métricas establecidas para evaluar la eficiencia energética de vehículos pesados para el transporte de carga se pueden evaluar siguiendo cualquiera de los protocolos listados en la Tabla 3.2. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

Tabla 3.2. Protocolos mediante el cual se puede evaluar las métricas listadas en la Tabla 3.1

Métrica	Descripción del protocolo	Ventaja	Desventaja
Simulación con VECTO	Anexo 3B	<ul style="list-style-type: none"> Bajo costo. No requiere pruebas físicas. Resultados similares a pruebas reales. Reconocido para uso en el mercado europeo. 	<ul style="list-style-type: none"> Dependiente de los datos de entrada. Requiere verificación mediante alguno de los otros métodos. No refleja condiciones reales de operación.
Pruebas sobre dinamómetro de chasis	Pruebas sobre dinamómetro de chasis siguiendo ciclo de conducción	<ul style="list-style-type: none"> Prueba controlada en laboratorio. Mundialmente aceptada para evaluar el desempeño energético y ambiental de vehículos. 	<ul style="list-style-type: none"> No refleja condiciones reales de operación. Requiere infraestructura especializada no disponible en Colombia. No se puede implementar para vehículos pesados de peso bruto vehicular mayor a 5 t
Pruebas en pista	Pruebas en pista siguiendo ciclo de conducción	<ul style="list-style-type: none"> Condiciones de prueba similares a las reales. Se puede realizar a todo tipo de vehículo. Colombia cuenta con infraestructura para realizar estas pruebas. 	<ul style="list-style-type: none"> Logística compleja. No refleja condiciones reales de operación.

Monitoreo mediante telemetría	Monitoreo mediante telemetría durante los primeros 30.000 km de operación normal del vehículo (Anexo 2B)	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona resultados bajo condiciones reales de operación. • Bajo costo. • Se puede realizar a todo tipo de vehículo. • Colombia cuenta con infraestructura para realizar estas pruebas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Todavía no ha sido adoptada en otros países para propósitos regulatorios. • Requiere ~1 mes de operación para encontrar los valores requeridos (30.000 km).
-------------------------------	--	---	--

Uso del modelo de simulación VECTO

Los modelos de simulación como VECTO, GEM, y HES fueron creados por la Unión Europea, Estados Unidos y Corea, respectivamente, en el marco del desarrollo de la normativa de estándares de consumo de combustible y emisiones de CO₂ para vehículos de carga nuevos, como se detalla en el Anexo 3A. Se utilizan para estimar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en vehículos de carga bajo ciclos de conducción específicos. Se basan en la dinámica longitudinal de los vehículos y en datos experimentales de eficiencia de componentes clave del vehículo tales como motor, transmisión, diferencial y ruedas. Estos modelos permiten evaluar configuraciones variadas y se pueden adaptar para evaluar el desempeño de los vehículos bajo las condiciones locales. Estas herramientas requieren personal capacitado para su implementación. Sin embargo, las empresas fabricantes están familiarizadas con esta herramienta por cuanto son requeridas en diversos mercados.

La versatilidad de VECTO la hace ideal para adaptarse a las condiciones y ciclos de conducción propios de Colombia. VECTO es una herramienta de código abierto, y se encuentra bien documentada. El Anexo 3B describe en detalle la metodología de adaptación de VECTO para determinar consumo de combustible y emisiones de CO₂ en vehículos nuevos en Colombia. Se puede adaptar el modelo para reportar la eficiencia energética.

Se recomienda adaptar VECTO para el caso de Colombia y requerir una verificación experimental mediante alguno de los métodos restantes en un plazo adecuado (menor a 1 año). Se propone que las entidades a las cuales va dirigido el presente programa reporten los resultados de la simulación usando el [ciclo de conducción](#) para el transporte de carga obtenido por la Universidad de Antioquia en el proyecto FECOC+ (UPME, 2020), así como los principales parámetros de entrada (soporte) usados en la simulación. Además, la validación por telemetría que se mencionó asegura que el modelo adaptado refleje con precisión las condiciones locales, facilitando la toma de decisiones basada en datos verificados. Con esta adaptación, Colombia no solo mejoraría su capacidad para monitorear el cumplimiento de sus metas de reducción de emisiones de CO₂, sino que también alinea sus esfuerzos con los estándares internacionales, garantizando una mejora continua en la eficiencia del transporte de carga.

Pruebas sobre dinamómetro de chasis siguiendo ciclo de conducción

Este método consiste en medir el consumo energético del vehículo mientras sigue un ciclo de conducción en un dinamómetro de chasis. El vehículo se coloca sobre el dinamómetro, donde las ruedas motrices giran sobre un rodillo que simula las resistencias inerciales, de rodadura y aerodinámicas, según el ciclo de conducción. Este ciclo representa el comportamiento promedio de conducción de la población, por lo que simula las cargas de torque o potencia típicamente requeridas por el motor.

Se puede usar cualquiera de los siguientes protocolos para realizar la medición de consumo energético:

- SAE J2711:202005 - *Práctica recomendada para medir el consumo de combustible y las emisiones de vehículos pesados híbridos-eléctricos y convencionales*: Procedimiento para medir el consumo de

combustible y energía de vehículos de carga convencionales, eléctricos híbridos, eléctricos híbridos enchufables y vehículos eléctricos a batería en dinamómetros bajo ciclo de conducción.

- GB/T 27840-2021 - *Métodos de prueba de consumo de combustible para vehículos comerciales pesados*: Norma China que establece el método de medición del consumo de combustible de los vehículos comerciales pesados bajo prueba en dinamómetro de chasis bajo ciclo de conducción. Esta norma es aplicable a los vehículos comerciales que queman gasolina y diésel, cuya masa total máxima de diseño es superior a 3.500 kg. Además, para vehículos híbridos y eléctricos, China establece los siguientes procedimientos: GB/T 19754-2021- *Métodos de prueba para el consumo de energía de vehículos eléctricos híbridos de servicio pesado* y GB/T 18386.2-2022-*Métodos de prueba para el consumo de energía y la autonomía de los vehículos eléctricos - Parte 2: Vehículos pesados*.
- 40 CFR Parte 86 - *Control de emisiones de vehículos y motores de carretera nuevos y en uso*: Regulación establecida por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Incluye los procedimientos de prueba para una variedad de vehículos, entre ellos pesados. Este reglamento detalla los procedimientos para realizar pruebas de emisiones en laboratorio (dinamómetro de chasis) siguiendo ciclos de conducción específicos, así como los procedimientos de prueba para determinar consumo de combustible.

Se usa la ecuación 3.1 para obtener la eficiencia energética del vehículo (η).

$$\eta = \frac{W_x}{E_s} \quad (3.1)$$

$$E_s = \rho V_f LHV \quad (3.2)$$

$$E_s = \int V I dt \quad (3.3)$$

$$W_x = \int P_x dt = \int \tau \omega_d dt \quad (3.4)$$

Donde E_s es el consumo de energía durante la prueba. Puede ser el contenido de energía química del combustible consumido para el caso de los vehículos propulsados por motores de combustión interna (Ecuación 3.2), o la energía eléctrica suministrada por el paquete de baterías (Ecuación 3.3) para el caso de los vehículos eléctricos. En estas ecuaciones ρ es la densidad del combustible, V_f es el volumen acumulado de combustible consumido, LHV es el poder calorífico inferior del combustible, V es el voltaje nominal e I es la corriente suministrada por la batería.

W_x es la energía convertida en el trabajo mecánico que realiza la fuerza de tracción en la interfase rueda-carretera para propulsar el vehículo. Se mide como la integral de tiempo de la potencia instantánea medida por el dinamómetro de chasis en la rueda del vehículo (Ecuación 3.4), que es igual al torque medido (τ) multiplicado por la velocidad angular del rodillo (ω_d). Es importante destacar que la evaluación de esta métrica debe excluir los períodos de ralentí y debe evaluarse durante todo el ciclo de conducción. Se reporta el valor promedio obtenido.

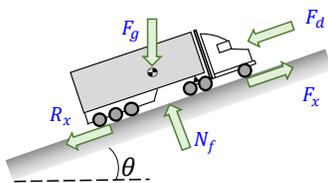
La determinación de consumo energético sobre dinamómetro de chasis permite realizar la evaluación del vehículo completo (motor-chasis-transmisión-carrocería). Es un procedimiento repetible y altamente reproducible. Es decir, es un protocolo de prueba que cualquier especialista puede repetir en forma independiente y se obtienen los mismos resultados con un mismo nivel de incertidumbre. Adicionalmente, es el método más aceptado para evaluar el desempeño ambiental y energético de los vehículos y por ende ya se ha usado para comparar tecnologías vehiculares.

Sin embargo, este método no ha sido usado para reportar eficiencia energética de los vehículos. Usualmente, se reporta el SFC en L/100 km, está limitado a vehículos de baja capacidad de carga (< 5 t), y requiere que

el dinamómetro sea configurado con parámetros que se obtienen probando el vehículo en pista, tales como, el coeficiente aerodinámico, la masa inercial equivalente, el coeficiente de rodadura, etc. La variedad de combinaciones motor, chasis, y transmisión limita la practicidad del uso del dinamómetro para determinar el rendimiento. Adicionalmente, los resultados de consumo energético obtenidos cambian con el ciclo de conducción usado. El método requiere de una infraestructura de alto costo y personal altamente especializado. Actualmente, Colombia no cuenta con laboratorios acreditados donde realizar este tipo de pruebas. Como alternativa de solución, Colombia ha aceptado resultados de dichas pruebas realizadas en el exterior por laboratorios certificados usando ciclos de homologación que no representan la forma de conducir en Colombia. Se propone que los actores a los cuales va dirigido el presente programa realicen estas pruebas sobre dinamómetro de chasis usando el ciclo conducción obtenido por la Universidad de Antioquia para transporte de carga dentro del proyecto FECOC+ (UPME, 2023); asegurando la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados mediante el uso de un protocolo estandarizado y condiciones controladas.

Pruebas en pista siguiendo ciclo de conducción

Esta prueba consiste en medir el consumo energético del vehículo mientras este reproduce un ciclo de conducción sobre una pista de pruebas. Requiere que el vehículo se cargue a su carga nominal. Cuando se usan tramos de vías existentes, la realización de estas pruebas requiere un trabajo logístico extra dado que se debe garantizar un entorno controlado y sin interrupciones causado por el tráfico externo, facilitando que el conductor pueda reproducir lo más fielmente posible el ciclo de conducción en cada prueba. La medición de consumo energético se realiza siguiendo alguno de los protocolos descritos en el numeral anterior (3.1.5). Se utiliza la ecuación 3.1 para obtener la eficiencia energética del vehículo.



$$W_x = \int P_x dt = \int F_x V dt \quad (3.5)$$

$$F_x = F_i + R_x + F_d + F_g \quad (3.6)$$

$$F_i = M m_{fi} a \quad (3.7)$$

$$R_x = f_r M g \cos \theta \quad (3.8)$$

$$F_d = \frac{1}{2} c_d A_f \rho_{air} V^2 \quad (3.9)$$

$$F_g = M g \sin \theta \quad (3.10)$$

$$m_{fi} = 1 + 0.04(N_{TDi}) + 0.0025(N_{TDi})^2 \quad (3.11)$$

Donde:

M : Masa total del vehículo

V : Velocidad del vehículo

a : Aceleración del vehículo

f_r : Coeficiente de Resistencia a la rodadura

θ : Pendiente de carretera

c_d : Coeficiente de arrastre/aerodinámico

A_f : Área transversal/de arrastre

ρ_{air} : Densidad del aire

N_{TDi} : Relación de transmisión instantánea

m_{fi} : Factor de masa para masa equivalente

F_g : Fuerza de gravedad

F_d : Fuerza aerodinámica

R_x : Fuerza de resistencia a la rodadura

F_i : Fuerza inercial

F_x : Fuerza de tracción (fuerza en rueda)

P_x : Potencia en rueda

W_x : Trabajo de tracción

En este caso W_x es calculada mediante la Ecuación 3.5 como la fuerza de tracción multiplicada por la velocidad del vehículo (V). La fuerza de tracción es igual a la suma de la fuerza de gravedad (F_g), resistencia de la rodadura (F_r), aerodinámica (F_d) e inercial ($Mm_{fi}a$). M es la masa total del vehículo y m_f es la fracción de masa equivalente a la inercia de las masas rotantes.

Este método genera los resultados más exactos de los tres métodos anteriores. Es de menor costo que el método sobre dinamómetro de chasis por cuanto es más fácil de implementar y requiere menor infraestructura especializada. No presenta limitaciones en cuanto al tamaño de vehículo a evaluar. El método ha sido adoptado en algunas regulaciones como la enmienda 2019/318 al Reglamento (UE) 2017/2400 y la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo para la determinación de emisiones de GEI.

Sin embargo, genera resultados con mayor incertidumbre que las pruebas realizadas bajo condiciones controladas de laboratorio sobre dinamómetro de chasis o simulación. Requiere del uso de un ciclo de conducción representativo. Usualmente se reporta SFC y el SFC*. Se resalta que estos resultados cambian acorde al ciclo de conducción usado mientras que el resultado obtenido para la eficiencia energética es independiente del ciclo. Sin embargo, no ha sido costumbre reportar eficiencia energética cuando se usa este método. Adicionalmente, la implementación de estas pruebas requiere personal altamente calificado. Se propone que los actores a los cuales va dirigido el presente programa realicen estas pruebas en pista usando el ciclo conducción obtenido por la Universidad de Antioquia para vehículos de carga dentro del proyecto FECOC+(UPME, 2020).

Nota. Las empresas fabricantes y algunas universidades colombianas (Universidad de Antioquia, Universidad Tecnológica de Pereira) poseen las capacidades para llevar a cabo estas pruebas.

Monitoreo permanente bajo condiciones normales de operación

Consiste en el uso de tecnologías de información recientes (telemetría, < 15 años) para monitorear a una frecuencia de 1 Hz el consumo energético, la posición, la velocidad del vehículo, RPM del motor, y la carga transportada durante un tiempo prolongado (> 30.000 km, Anexo 2B) bajo condiciones normales de uso en Colombia. Se usan las ecuaciones 3.1-3.11 para obtener la eficiencia energética del vehículo.

Dado que los vehículos pesados deben poseer un sistema OBD II (Resolución 0762 del 2022), estas variables (excepto la carga transportada) se puede obtener leyendo los valores registrados por los sensores que el fabricante implementó en el motor para poderlo controlar a través de la Unidad Electrónica de Control (ECU). Actualmente, los fabricantes de vehículos de carga y empresas de telemetría tienen la capacidad de monitorear a 1 Hz las variables anteriormente. Algunas empresas tienen la capacidad de instalar sensores adicionales que permiten monitorear la carga transportada.

Este método tiene la capacidad de determinar la eficiencia energética real del vehículo operando bajo las condiciones locales de uso. Tiene un costo despreciable comparado contra los métodos anteriores. Sin embargo, requiere personal entrenado, y solo se puede obtener resultados después que el vehículo entra en funcionamiento (>~1 mes). Adicionalmente, los autores desconocen que algún gobierno haya adoptado esta alternativa para propósitos regulatorios.

3.2.2. Estrategias de eficiencia energética para vehículos de carga nuevos

A continuación, se describen las estrategias recomendadas a implementar para contribuir sustancialmente a las metas de reducción de emisiones de GEI en Colombia. Estas estrategias usan como base los resultados de desempeño energético obtenido por medio de la metodología descrita en la sección anterior (2.1). Fueron identificadas a partir de la revisión de literatura (Anexo 3A), entrevistas con los actores clave y la experiencia del grupo consultor.

3.2.2.1 Programa de etiquetado

Se propone que a partir del año 2026 todo vehículo de carga nuevo posea una etiqueta de eficiencia energética visible al comprador y al público en general antes de entrar en circulación, la cual sería otorgada por la autoridad competente siguiendo la siguiente metodología.

Se construye la línea base de eficiencia energética de la oferta de tecnologías de vehículos de carga nuevos del año anterior. Esta línea base se construye a partir de la información reportada por los actores a los cuales va dirigido el programa de eficiencia energética para vehículos nuevos y verificada por la autoridad gubernamental competente. Esta línea base se estableció para el año 2024 y se reportó en el informe No.2.

A partir de dicha línea base se construye el diagrama de distribución de frecuencias de eficiencia energética (Figura 3.4 y Tabla 3.3). Se identifican los valores límites de eficiencia correspondientes a los percentiles 10%, 40%, 70% y 90%.

Se evalúa la eficiencia energética del vehículo a etiquetar siguiendo la metodología descrita en la sección anterior (2.1). Se identifica a cuál rango percentil pertenece la eficiencia obtenida. Se le asigna el color de la etiqueta correspondiente. Se le asigna etiqueta verde oscuro si la eficiencia obtenida es mayor al percentil 90% o roja si es menor al percentil 10%. Naranja, amarillo y verde para los rangos delimitados por los percentiles 10, 40, 70 y 90%, respectivamente. De acuerdo con la distribución de los valores de eficiencia energética, estos percentiles permiten clasificar los vehículos en diferentes categorías, reflejando su eficiencia en relación con la mayoría de los evaluados. Por simplicidad y practicidad se recomienda que el programa de etiquetado no discrimine por categoría vehicular o energético utilizado.

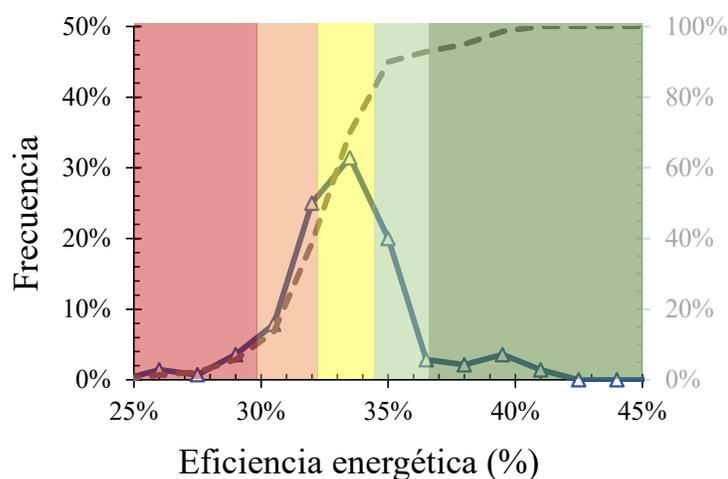


Figura 3.4. Línea base de eficiencia energética para el año 2024 de los vehículos nuevos de carga ofertados en Colombia. Se muestran los rangos de eficiencia para asignar etiqueta roja, naranja, amarillo, verde y verde oscuro.

Tabla 3.3. Programa de etiquetado 2025 de vehículos de carga según eficiencia energética (Ecuación 3.1, Protocolo sección 2.1, Línea base 2024).

Color	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Vede oscuro
Percentil	< 10%	10-40%	40-70%	70-90%	> 90%
η para el año 2024	[0, 27,9%)	[27,9-32,3%)	[32,3-34,4%)	[34,4-36,7)	[36,7-100]

Se propone que las entidades a los cuales va dirigido este programa monitoreen la eficiencia energética real de sus vehículos durante el tiempo de garantía vigente de sus vehículos y lo reporten a la autoridad competente. Los valores de eficiencia energética obtenidos durante los primeros 30,000 km de operación

se utilizarán para validar la etiqueta de los vehículos nuevos en circulación, así como de los vehículos cero kilómetros, según el proceso detallado en el diagrama de flujo de la Figura 3.5.

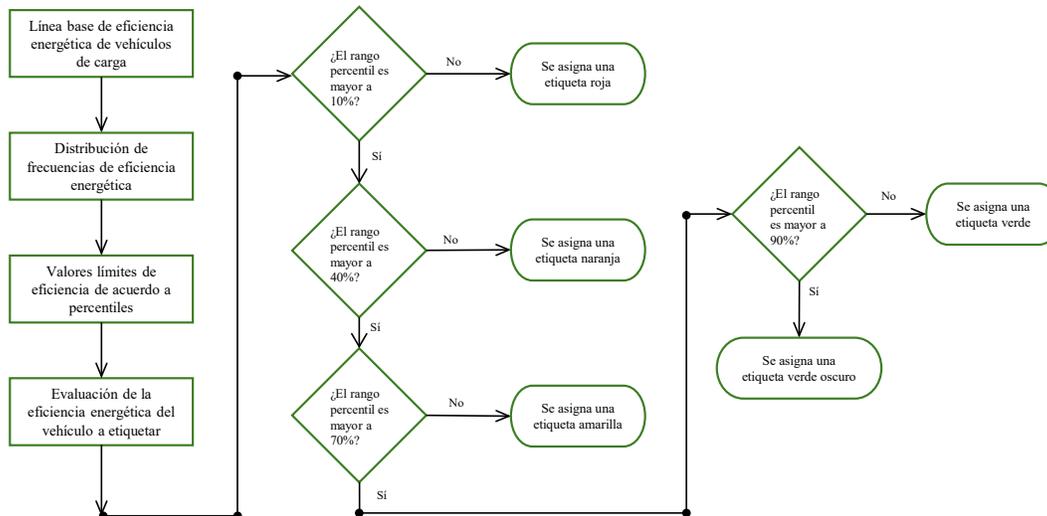


Figura 3.5. Diagrama de flujo del programa de etiquetado.

Contenido de la etiqueta: Se sugiere una etiqueta que contenga la siguiente información. La Figura 3.6 presenta un diseño sugerido.

- Información del vehículo: Marca, modelo, año modelo y número de identificación vehicular (VIN).
- Resultado de las métricas sugeridas.
- Clasificación por percentiles según la eficiencia energética.
- Información adicional a través del acceso a un sitio web.
- Fecha de etiquetado y la vigencia.

Indicaciones:

- **Código técnico:** Código QR de la ficha técnica del vehículo.
- **Categoría:** Designación o configuración Bas. Min Transporte 4300
- **Post-tratamiento:** Estándar de emisión referente al obtento de post-tratamiento de emisiones
- **CO2:** Factor de emisión del CO2 equivalente
- **SFC:** Consumo específico de combustible
- **Eficiencia energética:** Tasa de conversión de energía aprovechada para mover el vehículo
- **Escala de eficiencia energética:** Para su medición principal, y para hacer la escala se usará el costo ambiental de eficiencia energética bajo el programa zingueño para evaluar la eficiencia energética de vehículos nuevos.

Figura 3.6. Diseño sugerido de la etiqueta de eficiencia energética.

Gobernanza del programa de etiquetado

La correcta ejecución del programa dependerá de la participación activa de diferentes actores y de un sistema de verificación transparente, que asegure la fiabilidad de las métricas reportadas.

- Implementación.

Los actores a los cuales va dirigido el presente programa serán las responsables de que las mediciones de eficiencia energética se lleven a cabo por un laboratorio o entidad acreditada siguiendo alguno de los métodos descritos en la sección 2.1.

- Verificación.

Una entidad neutral será la encargada de verificar que los valores de las métricas reportado por los actores a los cuales va dirigido el presente programa sean verídicos. Esta entidad pondrá a disposición del público en general la información recibida mediante un portal o página web.

- Entidad encargada de otorgar la etiqueta de eficiencia energética.

La autoridad ambiental, en este caso la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) será la autoridad competente de otorgar la etiqueta en el momento de otorgar el permiso de importación o de comercialización para el caso de fabricantes locales.

- Impacto Ambiental.

Los programas de etiquetado por sí solos generan reducciones marginales en las emisiones de GEI. Experiencias previas han demostrado que estos programas reducen aproximadamente un 1% el consumo energético, principalmente debido a la preferencia de los compradores conscientes del medio ambiente por productos con mejor desempeño energético, independientemente del precio. No obstante, el programa de etiquetado debe implementarse, ya que constituye la herramienta clave para llevar a cabo las estrategias de reducción de consumo energético que se describen a continuación.

3.2.2.2 Programa CAFE (Estándar de emisiones de CO₂)

El programa CAFE (Corporate average fuel economy) busca promover el ascenso tecnológico del transporte de carga en Colombia mediante la implementación de un estándar de emisiones de CO_{2e}. En este programa las entidades a los cuales va dirigido el presente programa deben cumplir con metas de reducción de emisiones de CO_{2e} de los vehículos de carga vendidos anualmente. A continuación, se describe la metodología para la definición del estándar y las disposiciones de cumplimiento:

Gobernanza del programa CAFÉ

- Valor de referencia.

El valor de referencia se obtiene como el valor promedio de la línea base de emisiones de GEI de la oferta de tecnologías de vehículos de carga nuevos en el año de referencia, en unidades de gCO_{2e}/t-km. De acuerdo con la resolución vigente (Resolución 762 de 2022 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) se deben tener en cuenta únicamente los vehículos Euro VI. Este valor se obtuvo como el correspondiente para vehículos con una eficiencia energética igual al percentil 50 de la distribución de eficiencia energética. Para el año 2024, el percentil 50 corresponde a $\eta = 31\%$ y un índice de emisión de 174 gCO_{2e}/t-km (Reporte No. 2) bajo el ciclo de conducción para vehículos de carga (UPME, 2023)

- Metas y estándar objetivo

Para establecer el valor objetivo meta de emisiones de CO₂ (TCO_{2e}^*) se deben considerar varios aspectos:

- Las perspectivas de ascenso tecnológico: La metodología que se recomienda para determinar el potencial de reducción de emisiones de CO₂ y/o consumo de combustible para Colombia es:
 - Establecer una línea base de comparación. El reporte 2 del presente proyecto describe la línea base para el año 2024.
 - Usar VECTO adaptado a Colombia (Anexo 3B), con ciclos de conducción colombianos, para establecer el potencial ahorro de consumo energético y de CO₂ adoptando las mejores tecnologías disponibles (Anexo 3A).
 - Asumir una tasa de penetración en el tiempo de cada tecnología.
 - Estimar una tasa de crecimiento de la compra de vehículos nuevos.
 - Identificar los ahorros obtenidos y fijarlos como metas de reducción de emisiones de CO₂. En el Anexo 3A se presenta un resumen de revisión de literatura que reportan los potenciales de reducción de consumo de combustible y/o emisiones de CO₂ por mejoras tecnológicas de los vehículos adoptado en Europa y en Estados Unidos.
- El histórico de reducción de emisiones de CO₂ por cambio de tecnología (EPA98 a Euro VI). Esta trayectoria de reducción se puede considerar como un límite inferior para el establecimiento de las metas de reducción.
- Las metas de reducción de GEI establecidas por el gobierno en sus diferentes programas.

Como una primera instancia, se sugiere utilizar como referencia TCO_{2e}^* correspondiente al índice de emisión ($EICO_{2e}^*$) de etiqueta verde (percentil 70) de eficiencia energética (33%). Para el año 2024 este valor se establece en $TCO_{2e}^* = 133 \text{ gCO}_2/\text{t-km}$.

- Disposiciones de cumplimiento.

La empresa objeto del presente programa debe demostrar que el promedio de las emisiones de CO₂ de los vehículos que vende anualmente emite en promedio menos que la meta establecida (TCO_{2e}^*). En caso de que el promedio sea igual a la meta, se considerará que cumple con el requisito; para ello, debe realizar los siguientes pasos:

- Proceso de certificación.

La empresa objeto del presente programa obtiene la etiqueta de todos sus vehículos mediante alguna de las alternativas descritas en la sección 3.2 (Simulación, pruebas sobre dinamómetro de chasis, pruebas en carretera, monitoreo bajo condiciones reales de operación). Para cada tecnología vehicular obtiene el $EICO_{2e,i}^*$ donde el subíndice i indica la tecnología vehicular.

- Créditos de emisiones de CO₂ de fabricantes e importadores

En el Acuerdo de París (2015), se establecieron mecanismos globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, impulsando a los gobiernos a implementar políticas que incluyan sistemas de comercio de emisiones y créditos, con el objetivo de incentivar la reducción de emisiones de CO₂. En el sector del transporte, que tiene un papel crucial en el calentamiento global debido a su alta emisión de CO₂, los fabricantes e importadores de vehículos deben cumplir con límites anuales establecidos para las emisiones de sus productos. Cuando un fabricante reduce sus emisiones por debajo del límite estipulado, puede generar créditos que pueden ser intercambiados o vendidos. Ejemplos de esto incluyen a Tesla, que ha generado ingresos significativos al vender

créditos de emisiones a otros fabricantes que no pueden cumplir con los estándares de emisiones (Carbon Credits, 2024), y a Volkswagen, que, tras su compromiso con la movilidad eléctrica, también se beneficia de créditos por producir vehículos con menores emisiones (US Gov, 2018).

Este sistema de créditos crea incentivos económicos para que los fabricantes inviertan en tecnologías más limpias y eficientes, promoviendo la innovación en la industria automotriz. Además, proporciona flexibilidad para que los fabricantes gestionen sus emisiones, permitiendo que aquellos que exceden los límites compensen su exceso comprando créditos de los que han logrado reducciones mayores. La correcta determinación, registro y comercio de estos créditos es esencial para garantizar el cumplimiento de las normas ambientales y contribuir a los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático.

Los créditos anuales de emisiones de CO_{2e} de cada fabricante o importador (*C*) se determinan, mediante la ecuación 3.12

$$C = \frac{\sum (TCO_{2e,i}^* - EICO_{2e,i}^*) P_i n_i u_i}{\sum n_i} \quad (3.12)$$

Donde,

<i>C</i>	Créditos de emisiones de CO _{2e}	tCO _{2e} /a
<i>TCO_{2e}</i> *	Valores objetivo de emisiones	gCO _{2e} /t-km
<i>EICO_{2e}</i> *	Valores promedio de emisiones	gCO _{2e} /t-km
<i>P</i>	Carga útil	t
<i>n</i>	Número de unidades vendidas de la tecnología <i>i</i>	-
<i>u</i>	Vida útil del vehículo <i>i</i>	km

Si los resultados son positivos, se generan créditos, de lo contrario, se habla de déficit. Se resalta que estos créditos son distintos que el concepto de bonos de carbono. El concepto es similar, pero los bonos de carbono no aplican para empresas fabricantes o importadoras de vehículos, sino que aplica a empresas propietarias de la flota de vehículos.

- Sistema flexibilidad PBC.

La empresa objeto del presente programa tiene la posibilidad de hacer uso del sistema PBC (Promedio, Banca, Comercio) para compensar los posibles déficits con créditos de CO_{2e} de la siguiente manera. La Figura 3.7 presenta un esquema con un ejemplo ilustrativo.

- Promedio: en la Ecuación 3.12 puede incluir todas las categorías vehiculares dedicadas al transporte de carga.
- Banca: las empresas pueden retener los créditos para promediarlos o intercambiarlos con los del siguiente año. Es decir, los créditos pueden ser conservados para los siguientes años. No se pueden acumular déficits de emisiones de CO_{2e}.
- Comercio: Se pueden transferir créditos entre empresas, en el mismo año o en los 5 años anteriores. Esta transacción no puede dar un saldo negativo de emisiones ni para el comprador ni para el vendedor. El precio de los créditos de carbono será fijado por la oferta-demanda.

1. Promedio

“Camiones Eficientes S.A”

Camiones nuevos *deben cumplir con límite de* $60 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$

- Diesel tradicional: $90 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$
- Híbridos: $48 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$
- Eléctrico: $15 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$

Ventas durante el 1^{er} año:

- 50 diésel, 20 híbridos, 30 eléctricos
- $EICO_{2e}^* = \frac{(50 \times 90) + (20 \times 48) + (30 \times 15)}{100} = 54.5 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$

$5.5 \text{ }^{gCO_2e}/t\text{-km}$ de créditos para una operación promedio de sus vehículos de 30 toneladas de carga útil, 60.000 km/año

$$C = 5.5 \times 30 \times 60.000 \times 100 = 1 \text{ kt } CO_{2e} / \text{año}$$



2. Banca

- Al cumplir con su meta, la empresa “Camiones Eficientes S.A” **guarda esa kilo-tonelada** acreditada para el 2^{do} año.
- En este periodo la **venta de camiones eléctricos disminuyó**.
- Utilizó los **créditos del primer año** para compensar este exceso.

3. Comercio

- Sin embargo, le **faltan varios créditos** de emisiones para compensar.
- No es permitido esperar al 3^{er} año para reponer el exceso de emisiones; por lo que **puede comprarlo a otra compañía que haya vendido más camiones eléctricos**.
- El precio de los créditos depende de la **oferta y demanda**

Figura 3.7. Ejemplo ilustrativo de sistema Promedio/Banca/Comercio para mercado de créditos de carbono

Este sistema permite abordar dificultades que se pueden presentar respecto a la viabilidad tecnológica y plazos de cumplimiento, así como consideraciones de costo para los fabricantes o importadores (EPA, NHTSA, DOT, 2016).

Los actores a los que va dirigido este programa satisfacen los requerimientos de emisiones de CO₂ si la suma de los créditos promediados, retenidos y comercializados genera un saldo positivo. En caso de que la entidad no pueda compensar los déficits con estas flexibilidades, se limitará la importación o venta de sus vehículos de tal forma que satisfaga el programa. Se recomienda permitir durante los primeros cinco años, que las operaciones de banca y de comercio se realicen entre diferentes categorías vehiculares. En los siguientes cinco años restringir esta posibilidad a vehículos dentro de la misma categoría.

• Reporte de final de año

Las empresas participantes en el programa deben presentar un reporte anual de los créditos de CO₂ ante la autoridad competente, previamente verificado por una entidad acreditadora, dentro de los plazos establecidos por esta autoridad. Se sugiere usar el calendario fiscal de Colombia, es decir, el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de cada año. El reporte deberá incluir las emisiones promedio de CO_{2e} (Ecuación 3.12) de los vehículos vendidos por la empresa, junto con el soporte correspondiente, los mecanismos empleados para compensar déficits de emisiones y el valor neto de créditos de emisiones de CO_{2e}.

Estrategia sugerida: Programa de incentivos arancelarios

Esta estrategia consiste en armonizar los incentivos arancelarios existentes o posibles para que vayan dirigidos a favorecer la importación de aquellas tecnologías vehiculares catalogadas con etiqueta verde obscuro, independientemente del tipo de tecnología (diésel, gas natural comprimido vehicular, eléctricos) o categoría vehicular. Es decir, con eficiencias energéticas superiores al percentil 90% de las tecnologías ofertadas. Para el año 2024 corresponden a tecnologías con eficiencias superiores a 36,7%, lo cual incluye vehículos eléctricos. Se sugiere graduar el nivel de incentivo para fomentar aquellos con mayor eficiencia energética como es el caso de los vehículos eléctricos que muestran eficiencias de ~71%.

Actualmente, existen los siguientes programas de incentivos arancelarios

- Reducción y/o exoneración de tasa de importación (MINCIT, 2019)
- Reducción de IVA (Función Pública, 2019; MinAmbiente et al., 2019)

Está fuera del alcance del presente proyecto el ahondar en los detalles de esta estrategia.

3.2.2.3 Centro de apoyo al programa de transporte amigable con el clima (CATALINA)

La implementación de las estrategias anteriores, así como las dirigidas a operadores de flota y generadores de carga que serán descritas posteriormente, requieren de la creación de una entidad o centro de apoyo al programa de transporte amigable con el clima que hemos denominado CATALINA. Esto es esencial para coordinar las acciones de los diversos actores involucrados, asegurar la correcta ejecución de las medidas, y fomentar la colaboración entre las entidades gubernamentales, las empresas del sector y otras partes interesadas, garantizando el apoyo técnico, normativo y administrativo necesario para el cumplimiento de las metas del programa. Se propone que CATALINA esté conformado por entidades de gobierno (Ministerios de Transporte, Energía, Ambiente), las empresas del sector transporte de carga (Fabricantes, transportadores, generadores de carga), las universidades y asociaciones civiles. Su objetivo principal será la implementación, seguimiento y evaluación de las estrategias de reducción de emisiones de GEI en el transporte de carga en Colombia (Figura 3.8). Para ello, deberá contar con la infraestructura física y capacidades técnicas necesarias para realizar las siguientes acciones específicas:

- Implementar y accionar los programas de reducción de emisiones de GEI dirigido a vehículos nuevos, vehículos en uso y generadores de carga. Esto incluye el mantener actualizada y en forma pública los datos de desempeño y operación de los actores involucrados en el transporte de carga tales como η por tecnología, $EICO_{2e}^*$ por empresa de transporte y ECO_{2e}' por empresa generadora de carga.

Adicionalmente, este centro debe mantener información actualizada que permita a los actores tomar acciones que promuevan la reducción del consumo de combustible y emisiones de GEI, por ejemplo, actualizaciones de los valores que definen los programas de etiquetado a los vehículos y sellos de responsabilidad ambiental de las empresas.

- Apoyar, asesorar y capacitar técnicamente a las empresas en sus acciones tendientes a reducir emisiones de GEI.
- Buscar recursos económicos para financiar sus acciones y fortalecimiento de la infraestructura del país orientada a reducir las emisiones de GEI.
- Apoyar la generación de política pública que permita acelerar el logro de los objetivos de reducción de GEI para el transporte de carga.
- Generar la infraestructura física y técnica que requiere el país para llevar a cabo las pruebas de evaluación de eficiencia energética, la evaluación de los centros que prestan dichos servicios, y la verificación de los resultados obtenidos.

La experiencia de programas similares en Estados Unidos ([SmartWay](#)), México ([Transporte Limpio](#)) y Chile ([Giro Limpio](#)) indican que el centro puede operar con tres profesionales de dedicación permanente al programa. Es deseable una conformación híbrida pública-privada, y debe ser direccionada desde el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se puede detonar el impulso hacia la eficiencia energética en el sector transporte a través de programas de cooperación internacional como el Programa IKI de Alemania, el UK Climate Finance de Reino Unido, el Programa de Energía Sostenible para el Transporte del Banco Mundial y el Fondo Verde para el Clima.

Se puede operar consolidando la infraestructura de las universidades como la Universidad de Antioquia o la Universidad Tecnológica de Pereira o generar una infraestructura independiente. Se requiere un dinamómetro de chasis y un equipo de monitoreo de emisiones portátil (PEMS) como equipos mínimos esenciales, lo cual representa una inversión aproximada de MUSD 1,5. Adicionalmente, se requiere un espacio físico de aproximadamente 100 m². No es necesario adquirir un sistema de medición de volumen constante (CVS), y para su creación. Se sugiere colaborar con empresas del sector para acceder a este tipo de equipos. el objetivo principal es destacar que algunas instituciones ya cuentan, parcialmente, con la infraestructura necesaria para operar CATALINA, lo cual podría reducir significativamente los requerimientos de inversión nueva. Los costos operativos (OPEX) son un factor relevante. A modo referencial, se estima que un centro de evaluación energética para vehículos de carga en Colombia podría tener un OPEX anual entre USD 185,000 y 220,000, incluyendo personal técnico, mantenimiento de equipos (como PEMS y dinamómetros), calibraciones, insumos y servicios básicos.

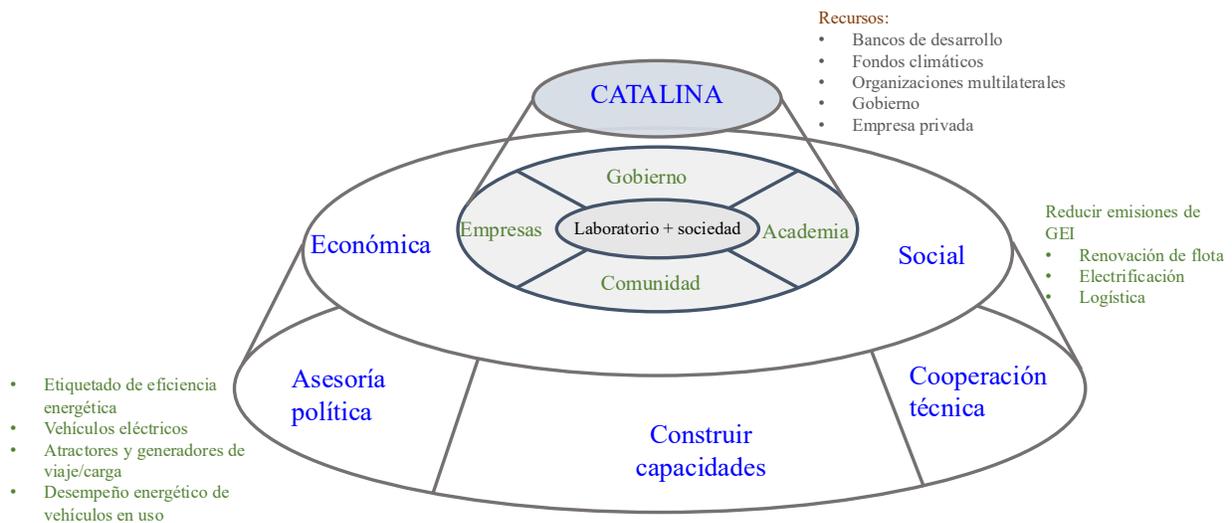


Figura 3.8. Funcionamiento del centro de apoyo al programa de transporte amigable con el clima CATALINA.

3.3 Programas de eficiencia energética para vehículos de carga en uso

La Figura 39 sintetiza el programa de eficiencia energética dirigido a los operadores de flota de vehículos de carga en Colombia.

Programa de eficiencia energética vehicular para vehículos en uso

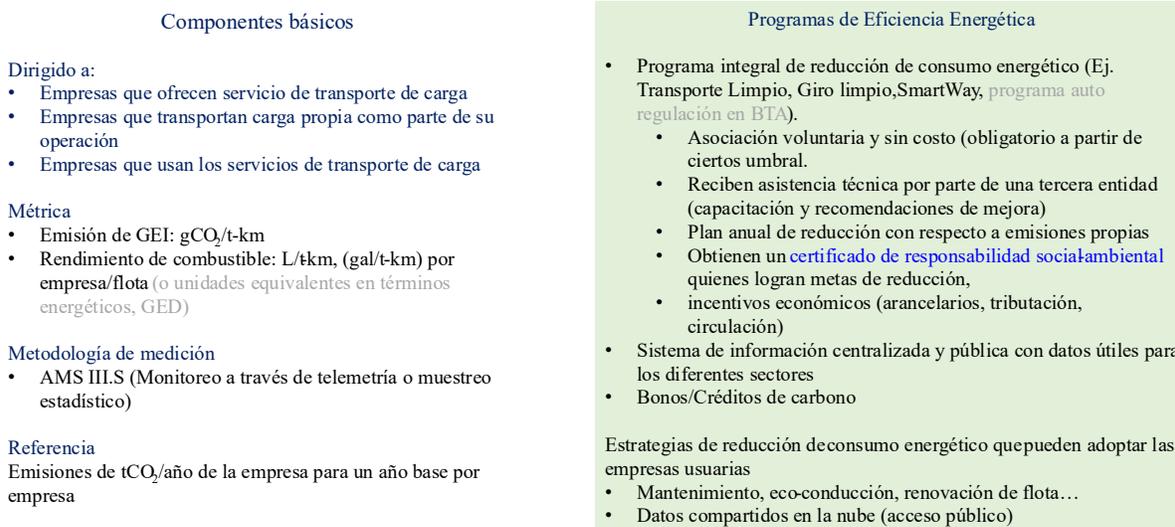


Figura 3.9. Subprograma de eficiencia energética dirigido a los operadores de vehículos de carga en Colombia.

3.3.1. Metodología de evaluación del desempeño energético de empresas transportadoras

3.3.1.1 Dirigido a:

Empresas con más de tres vehículos que ofrecen servicio de transporte de carga, o transportan carga propia como parte de su operación.

3.3.1.2 Métricas

La métrica empleada para evaluar la eficiencia energética de una empresa prestadora del servicio de transporte de carga (Tabla 3.4) es el índice de emisión de CO_{2e} (EICO_{2e}*). Esta métrica expresa la emisión de GEI de toda la flota de vehículos por unidad de actividad, es decir por unidad de distancia recorrida y de carga transportada (gCO_{2e}/t-km).

Aunque esta métrica no es propiamente una métrica de eficiencia energética, el EICO_{2e}* refleja el objetivo del programa de eficiencia energética dirigido a empresas transportadoras, el cual es reducir las emisiones de GEI. Tiene la ventaja que es independiente de la tecnología vehicular usada (diésel, GNCV, eléctrico) o configuración del vehículo.

Tabla 3.4. Métrica usada para evaluar la eficiencia energética de una empresa transportadora de carga.

Nombre	Métrica	Unidad
Emisión de GEI	EICO2e*	gCO2e/t-km

3.3.1.3 Metodología de medición

Se emplea la metodología AMS.III.S, la cual fue desarrollada por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) (United Nations, 2012) para cuantificar las emisiones GEI de flotas de transporte.

La métrica de EICO_{2e}* se obtiene a través de la Ecuación 3.13 donde los subíndices corresponden al vehículo i , en el viaje j , el cual usa la fuente energética k . La suma se debe realizar sobre todos los vehículos de la empresa, y todos los viajes realizados incluyendo aquellos donde viajan vacíos. EF es el factor de emisión listado en la Tabla 2.4. P es la carga útil transportada en el viaje, d la distancia recorrida en cada viaje y v_f es el consumo de combustible en cada viaje.

$$EI_{CO_{2e}}^* = \frac{\sum v_{f\ i,j,k} EF_k}{\sum P_{i,j,k} d_{i,j,k}} \quad (3.13)$$

Pocas empresas registran estas variables durante todo el año. Por lo tanto, la metodología AMS.III.S sugiere que la empresa seleccione manualmente una muestra representativa de vehículos y registre su operación durante un periodo representativo. Aunque la metodología no define explícitamente qué constituye una muestra representativa, se solicita que el interesado demuestre su representatividad. Se recomienda, como punto de partida, seleccionar el 10% de la flota vehicular y monitorear su operación durante 3 meses, ya que este porcentaje, por experiencia de los autores, permite capturar variabilidad operativa minimizando costos y sobrecargas en capacidades técnicas. El periodo sugerido permite observar patrones de uso relevantes y ajustar la estrategia antes de una implementación a mayor escala. Sin embargo, se requiere realizar un análisis de representatividad de la muestra una completado esta etapa.

La mayoría de las empresas cuentan con servicios de telemetría para monitorear la localización de sus vehículos y mantenimiento predictivo. Se sugiere extender este monitoreo para evaluar la Ecuación 3.13. Variables como la distancia recorrida y el consumo de combustible están disponibles en la ECU del motor, mientras que la carga transportada puede medirse instantáneamente utilizando la metodología del Anexo 2A, que adapta sensores ultrasónicos en conjunto con sistemas de telemetría. Esta técnica es especialmente útil para vehículos de distribución de última milla en zonas urbanas. Adicionalmente, para transporte de carga intermunicipal, la carga se encuentra reportada en el Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). La carga transportada también se puede consultar en los registros de las empresas transportadoras.

3.3.2. Estrategias de eficiencia energética para empresas transportadoras de carga

Con base en la metodología de evaluación de eficiencia energética para empresas de transporte de carga se plantean las siguientes estrategias de reducción de consumo energético. Se resalta que estas estrategias se obtuvieron consultando la literatura especializada, entrevistando los diferentes actores y usando la experiencia de grupo consultor. El Anexo 3A describe los resultados obtenidos en la revisión de literatura.

3.3.2.1 Creación del Centro de apoyo al transporte amigable con el clima CATALINA

La iniciativa CATALINA fue descrita en la sección 3.2.4. Se resalta que esta iniciativa forma parte integral del programa de eficiencia energética en el transporte dirigido a empresas transportadoras de carga.

3.3.2.2 Programa integral de reducción de consumo energético

Se sugiere que este programa sea implementado y operado por CATALINA y en una primera fase sea de carácter voluntario. A partir del quinto año de implementación se convierte en obligatorio para las empresas que operen más de tres vehículos para el transporte de carga. Esta transición a la obligatoriedad después de cinco años permite un tiempo adecuado para que las empresas adapten sus operaciones, infraestructura y personal a las nuevas normas. El umbral de tres vehículos se establece para enfocar la medida en medianas o grandes empresas, que tienen un mayor impacto en el consumo energético y por ende emisiones de GEI, lo que justifica su inclusión en el programa obligatorio. El programa consiste en que las empresas que transportan carga propia o para terceros realicen un inventario anual de emisiones de GEI y reporten el resultado obtenido en términos del EICO_{2e}* siguiendo la metodología descrita en la sección anterior (3.1).

Las empresas se pueden adscribir a CATALINA de forma voluntaria, donde reciben asistencia técnica en términos de capacitación técnica a directivos, capacitación a conductores, recomendaciones de mejora, servicios de monitoreo, seguimiento, verificación, entrenamiento en el uso de herramientas de cálculo de eficiencia energética, selección de tecnologías más apropiadas para su operación, y configuración de tren motriz más apropiado para su operación, etc. Posteriormente, las empresas establecen un plan anual de reducción de emisiones de GEI. Este consiste en un conjunto de acciones y tecnologías a implementar para reducir sus emisiones en un 20% el primer año, 10% el segundo año, 5% el tercer y años subsiguientes. Al finalizar cada año, las empresas que cumplan sus metas obtienen el Sello CATALINA, un distintivo de responsabilidad social-ambiental en transporte limpio. Este se entrega en un evento público y se difunde a través de medios de comunicación. Las empresas podrán utilizar el sello durante el año siguiente como reconocimiento visible de su compromiso. Para fortalecer su valor, se sugiere articular su entrega con actores institucionales relevantes que respalden su legitimidad.

3.3.2.3 Programa de gestión de tarifas preferenciales de transporte de carga con empresas de transporte con sello CATALINA.

En este programa, las empresas generadoras de carga otorgan su carga de forma preferencial, y a precios preferenciales, a empresas con sello CATALINA vigente. Las acciones tendientes a reducir emisiones de GEI por parte de las empresas generadoras de carga en colaboración con las empresas transportadoras generan ahorros operativos para ambas empresas. Estos ahorros generan relaciones ganar-ganar entre ellos a través de su participación en CATALINA. Adicionalmente, se puede buscar programas de asistencia internacional que financien este tipo de acciones.

3.3.2.4 Financiamiento blando para renovación de tecnología

Este programa ofrece a las empresas transportadoras de carga, adscritas a CATALINA, financiación en condiciones favorables para renovar o expandir su flota con vehículos de etiqueta verde oscuro CATALINA se encarga de conseguir las fuentes de financiamiento. Además, en colaboración con las empresas generadoras de carga, se pueden establecer acuerdos de asignación de carga por plazos fijos, lo que permite a las transportadoras asegurar la cobertura de los costos de renovación de flota y la implementación de tecnologías que mejoren los servicios, como el rastreo de carga y el reporte automático de índices de emisión.

3.3.2.5 Acompañamiento en la comercialización de bonos de carbono

Programa de carácter voluntario donde CATALINA acompaña a las empresas transportadoras que logren reducciones superiores a 10 ktCO_{2e}/año a certificar su reducción de emisiones y comercializarlas en el

mercado internacional voluntario de bonos de carbono. Actualmente, este mercado ofrece ~20 USD/tCO_{2e} reducida. El mayor reto es el correcto monitoreo de la operación de los vehículos que cumpla con ambos requisitos: los de Colombia dentro de este nuevo programa y los requisitos dentro del mercado de bonos de carbono.

3.4 Programa de eficiencia energética para empresas generadoras de carga

Las empresas manufactureras son responsables directos de la huella de carbono de sus productos. Adicional a las emisiones de GEI de su proceso productivo (Emisiones alcance 2), generan emisiones de GEI en el transporte de sus materias primas desde los distintos proveedores hacia sus centros productivos. También generan emisiones de GEI al llevar sus productos hacia sus clientes en el lugar que estos los soliciten (Alcance 3). Son muy relevantes en programas de eficiencia energética para vehículos de carga o en general para el transporte de carga por cuanto:

- Son los responsables directos de las emisiones de GEI generados por los vehículos mientras transportan sus materias primas y productos.
- Poseen un alto potencial de reducir sustancialmente las emisiones de GEI implementando acciones de coordinación con sus empresas proveedoras y con las empresas que transportan su carga. Estas reducciones pueden ser inclusive mayores que las se pueden lograr con los demás programas de eficiencia energética orientados a actualizar la tecnología de los vehículos de carga.
- Estas empresas poseen el poder de negociación en temas de transporte de carga. Por tanto, a través de estas empresas existe la posibilidad real de implementar e impulsar los demás programas de eficiencia energética dirigidos al sector transporte.

3.4.1. Metodología de evaluación del desempeño energético en el transporte de las empresas generadoras de carga

3.4.1.1 Dirigido a:

Empresas que demandan altos volúmenes de carga (>300 t-km/año). Incluye aquellas que poseen flota de vehículos propia para transportar sus insumos y productos.

3.4.1.2 Métricas

La métrica empleada para evaluar la eficiencia con que una empresa generadora de carga transporta sus insumos y productos es el índice de emisión de CO_{2e} (EICO_{2e}). Esta métrica expresa la emisión promedio de GEI incurrida en el transporte de insumos y productos de la empresa por unidad de producto manufacturado (gCO_{2e}/p). Esta métrica de desempeño permite comparar empresas que proveen el mismo producto.

Tabla 3.5. Métricas recomendadas para evaluar la eficiencia energética en el transporte de insumos y productos de empresas generadoras de carga.

Nombre	Métrica	Unidad
Emisión de GEI de empresas generadoras de carga	EICO _{2e}	gCO _{2e} /p

3.4.1.3 Metodología de medición

La Ecuación 3.14 define el índice de emisión de CO_{2e} generado por las empresas manufactureras expresado por unidad de producto. Corresponde al promedio de las emisiones de CO_{2e} generadas por las empresas transportadoras mientras transportan sus insumos y productos, expresado por unidad de producto.

$$EICO_{2e}' = \frac{\sum n_{i,r,q} P_r^* d_{i,q} EICO_{2e,q}^*}{\sum n_{i,r}} \quad (3.14)$$

En esta ecuación el subíndice q denota la empresa de transporte usada, i el viaje realizado y r el producto transportado. n_i es el número de productos transportados del tipo r en el viaje i transportado por la empresa q , P_r^* el peso del producto r . d es la distancia transportada, $EICO_{2e,q}^*$ el índice de emisión promedio de la empresa de transporte q .

3.4.2. Estrategias de eficiencia energética orientado a empresas generadoras de carga

A continuación, se describen las estrategias que se sugiere implementar como parte del programa de eficiencia energética en el transporte orientado a empresas generadoras de carga:

3.4.2.1 Creación del Centro de apoyo al transporte amigable con el clima CATALINA.

La iniciativa de CATALINA fue descrita en la sección 3.2.4. Se resalta que esta iniciativa forma parte integral del programa de eficiencia energética en el transporte dirigido a empresas generadoras de carga.

3.4.2.2 Estrategias de eficiencia energética para las empresas generadores de transporte de carga

Al igual que el programa para empresas de transporte, se sugiere que este programa dirigido a las empresas generadoras de carga sea implementado y operado por CATALINA. Se sugiere que en una primera fase sea de carácter voluntario. A partir del quinto año de implementación se convierte en obligatorio para las grandes empresas generadoras de carga (> 300 t-km/año).

El programa consiste en que estas empresas se adscriben a CATALINA. En el primer año, con el apoyo de CATALINA realizan un inventario anual de emisiones de GEI y reportan el resultado obtenido en términos del $EICO_{2e}'$ siguiendo la metodología descrita en la sección anterior (4.1). Actualmente, estas empresas no están obligadas a reportar a la autoridad ambiental dichas emisiones.

Luego, las empresas establecen un plan anual de reducción de emisiones de GEI. Este consiste en un conjunto de acciones a implementar para reducir sus emisiones en un 20% el primer año, 10% el segundo año, 5% el tercer y subsiguientes años.

Al finalizar el año, las empresas que logran sus metas de reducción obtienen un sello de responsabilidad social-ambiental en el transporte limpio (Sello CATALINA), el cual se otorga en ceremonia de amplia divulgación en medios de comunicación. Las empresas podrán desplegar este sello durante el año que les sea otorgado.

Las empresas generadoras de carga se pueden adscribir a CATALINA de forma voluntaria, donde reciben asistencia técnica representada en términos de capacitación técnica a directivos sobre estrategias de reducción de costos operativos reduciendo la emisión de GEI, servicios de monitoreo de transporte de carga, seguimiento, y verificación del índice de emisión de carga $EICO_{2e}'$.

3.4.2.3 Programa de gestión de tarifas preferenciales de transporte de carga con empresas de transporte con sello CATALINA.

En este programa, las empresas generadoras de carga otorgarán de forma preferencial su carga a empresas transportadoras con sello CATALINA vigente a precios preferenciales. Las acciones tendientes a reducir

emisiones de GEI por parte de las empresas generadoras de carga en colaboración con las empresas transportadoras generan ahorros operativos para ambas empresas. Estos ahorros generan relaciones ganar-ganar entre ellos a través de su participación en CATALINA. Adicionalmente, se puede buscar programas de asistencia internacional que detonen este tipo de acciones.

La mayor dificultad de este programa es la necesidad de personal experto en optimización a gran escala que permita maximizar ahorros logísticos. Adicionalmente, está limitado por la relación de confianza que se debe mantener entre las empresas y CATALINA por cuanto se requiere manipular información que puede ser confidencial o vulnerable para las empresas.

3.5 Conclusiones

Este documento presenta una propuesta integral de programa de eficiencia energética para el transporte de carga en Colombia. Fue generado y diseñado a partir de una revisión de literatura especializada, entrevistas con los diferentes actores clave del sector, consultando experiencias internacionales, y haciendo uso de la experiencia del grupo consultor.

El objetivo principal del programa de eficiencia energética es conducir al sector transporte terrestre de carga hacia reducciones significativas de gases de efecto invernadero (GEI). En consideración a las particularidades del transporte de carga en Colombia, el programa propuesto comprende tres subprogramas: Uno dirigido a empresas fabricantes de vehículos de carga (fabricantes e importadores), otro a empresas que usan estos vehículos para proveer el servicio de transporte (Transportadores) y finalmente a los usuarios que demandan estos servicios (generadores de carga). Cada subprograma incluye una definición del sujeto a quien va dirigido, la métrica de evaluación, y el proceso de evaluación de dicha métrica. Adicionalmente comprende un conjunto de estrategias a implementar.

Acorde con la experiencia internacional resulta fundamental para la implementación y éxito de este programa la creación de un Centro de Apoyo al Transporte Amigable con el Clima (CATALINA). Este centro armoniza los intereses de los diferentes actores, posee el conocimiento y experiencia, para implementar los diferentes programas de eficiencia energética propuestos. Este centro se encargaría de consolidar los esfuerzos de los distintos subprogramas y garantizar su efectividad a largo plazo.

La implementación del programa enfrenta varios desafíos, principalmente la falta de infraestructura adecuada para la medición, evaluación, y monitoreo del consumo de combustible y las emisiones de GEI, así como la resistencia a la adopción por parte de los actores del transporte de carga las nuevas tecnologías y prácticas que conlleven al cumplimiento de sus metas. Además, las distintas condiciones operativas de los transportadores plantean dificultades para una evaluación homogénea de eficiencia energética.

A pesar de estos retos, existen importantes habilitadores, como el creciente interés en tecnologías eficientes y limpias, así como la cooperación entre el sector público y privado, que facilitan la adopción de medidas de eficiencia energética. Las políticas públicas alineadas con objetivos internacionales de reducción de emisiones son un factor clave para impulsar el cambio; al igual que la implementación de programas de incentivos y la creación de CATALINA, que contribuirán a generar un entorno favorable para cumplir con los objetivos de reducción.

Cada subprograma está planteado para tomar en cuenta las necesidades específicas de los actores a quienes va dirigido, pero su éxito depende de la interrelación entre ellos. Los fabricantes e importadores deben ofrecer vehículos con tecnologías más limpias, los transportadores deben implementarlas en su flota, y los generadores de carga deben exigir un transporte más eficiente. Por lo tanto, las consecuencias de implementar estas acciones incluyen la reducción de emisiones y la mejora de competitividad y sostenibilidad del sector.

El Anexo 3C. presenta la evaluación de impacto ambiental de la propuesta de programa de eficiencia energética, detallando los beneficios esperados en términos de reducción de emisiones y otros impactos positivos para el entorno.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a las siguientes empresas e instituciones que contribuyeron al desarrollo del presente proyecto: Coordinadora Mercantil, Corautos Andino, Edinsa, Lap Technologies, TCC, Logyca, Navisaf, y Ditransa. También expresan su gratitud a las siguientes iniciativas o instituciones: Ministerio del Transporte, Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Finalmente, los autores reconocen las contribuciones de las siguientes personas: Juan Carlos Castillo Herrera, Ana María Valencia, José David Flórez Durango, y Alonso Elías Cantillo Manotas, de la Universidad EAFIT; Edwin Alexander García, Alejandro Mesa Mesa, Edgar David Pereira Rocha, Jackeline Saldarriaga y Julián Felipe Álvarez, de la Universidad de Antioquia; Camila Cubillos y Juan Pablo Bocarejo de la Universidad de los Andes, y Samuel Garrido del Tecnológico de Monterrey.

Referencias

- Carbon Credits. (2024, February 13). *Tesla Hits Record High Sales from Carbon Credits at \$1.79B*. <https://carboncredits.com/tesla-hits-record-high-sales-from-carbon-credits-at-1-79b/>
- Función Pública. (2019). *Ley 1819 de 2016*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=79140
- IDEAM, MinAmbiente, & MinAgricultura. (2024). *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones Atmosféricas de Colombia*.
- MinAmbiente. (2022). *Resolución 0762*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/09/Resolucion-762-de-2022.pdf>
- MinAmbiente, MinTransporte, MinEnergía, & UPME. (2019). *Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica*. <https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/ENME.pdf>
- MINCIT. (2019). *Decreto número 2051 de 2019*.
- MinEnergía, & UPME. (2022a). *Actualización Plan Energético Nacional (PEN) 2022 - 2052*. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/PEN-2052.aspx>
- MinEnergía, & UPME. (2022b). *Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía*.
- MinEnergía, UPME, & Steer. (2020). *Realizar un estudio que permita identificar las clases de vehículos y modalidades de transporte susceptibles de realizar el ascenso tecnológico hacia tecnologías de cero y bajas emisiones a nivel nacional*. www.steergroup.com
- Mintransporte. (2004). *Resolución 4100 (4100)*. <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=241>
- United Nations. (2012). *AMS-III.S Introduction of low-emission vehicles/technologies to commercial vehicle fleets*.
- UPME. (2020). *Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+) Fase I: Determinación de los ciclos de conducción de fuentes móviles de carretera para Colombia*.

- UPME. (2023). *Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+) Fase 2.2: Determinación de los factores de emisión de vehículos pesados de carga (camiones y tractocamiones) y de pasajeros (buses) a la altitud de Bogotá y Barranquilla.*
- UPME, IREES, TEP, & corpoema. (2019). *Resumen Ejecutivo BEU Sector Transporte.*
- US Gov. (2018). *Alternative Methods for Calculating Off-Cycle Credits under the Light-duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions Program: Application from Volkswagen Group of America, Inc.*
<https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OAR-2018-0575-0001>