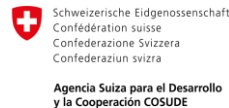




IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS E INSTRUMENTOS Y ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES DE USO FUERA DE CARRETERA EN BOGOTÁ



Versión: marzo 2024



Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ es un Programa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, ejecutado por Swisscontact en Chile, Colombia, México y Perú.

Identificación de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera en Bogotá – Documento técnico

Documento elaborado en el marco del Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina - CALAC+ (Fase 2) financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico – Swisscontact. El documento se elabora con el objetivo de identificar de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera para nuestros socios en Colombia: la Secretaría Distrital de Ambiente de la alcaldía Mayor de Bogotá y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

El presente documento es de carácter informativo y no necesariamente refleja los puntos de vista u opiniones de las organizaciones y gobiernos participantes.

Las denominaciones utilizadas y la presentación del material de esta publicación no implican en lo absoluto la expresión de ninguna opinión sobre el estatus legal de un país, territorio, ciudad o área, sobre sus autoridades.

Elaborado por:

Jorge Eduardo Pachón Quinche,

Líder del equipo consultor

Beatriz Elena Ortiz Gutiérrez

Líder componente normativo

Edder Alexander Velandia Durán

Líder componente económico

Camila Andrea Valdés

Oliveros

Asistente de la consultoría

Liseth Dayana Piñeros Peña

Auxiliar de la consultoría

Julián Jair Botía Gaitán

Auxiliar de la consultoría

Revisado por:

Daniela García

Subdirectora de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Joan Clavijo

Profesional de Secretaría Distrital de Ambiente

Sergio Peña

Profesional de Secretaría Distrital de Ambiente

Francisco Javier Sichacá

Profesional de Secretaría Distrital de Ambiente

*Equipo Swisscontact
Programa CALAC+*

Jaime Rueda Gómez

Coordinador Colombia

Helberth Santiago Morales Pinilla

Coordinador regional maquinaria

Adrián Montalvo Balarezo

Director Programa

Imagen de portada: CALAC+ | Bogotá, Colombia

Edición abril 2024

Este documento fue elaborado por el equipo consultor para el programa CALAC+ por lo que la propiedad del material es exclusiva de CALAC+, y está dirigido a la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

GLOSARIO

Arcén o berma: Se considera cada uno de los márgenes reservados a un lado y otro de una calzada para tránsito de vehículos no automóbiles como bicicletas y para producir una conducción del agua de drenaje.

Anden: Zona o franja paralela una vía de uso vehicular, destinada a la permanencia o tránsito de peatones.

Bordillo: Son piezas de piedra o elementos prefabricados de hormigón colocados sobre una solera adecuada, que constituyen una franja o cinta que delimita la superficie de la calzada, la de una acera o la de un andén.

Calzada: Es la parte de la carretera que está destinada a la circulación de automóbiles y que, dependiendo de su tamaño, puede estar compuesta de uno o varios carriles.

Capas de rodadura: Las capas de rodadura son el conjunto de materiales puestos en una vía, de tal manera que puedan distribuir las cargas de los vehículos de manera eficiente, sin producir tensiones que puedan deteriorar prematuramente la vía. Los materiales de cada capa cuentan con especificaciones técnicas especiales, en espesores específicos y determinados por un diseñador para que cumpla su objetivo. Las diferentes capas de rodadura que se pueden encontrar en un pavimento flexible son, carpeta asfáltica o de rodadura, capa de Base, capa de subbase y capa de subrasante.

Carril: Es una franja longitudinal que forma parte de la calzada. Si son varios, suelen estar delimitados por marcas viales, con una anchura suficiente para el paso de vehículos que van desde motocicletas hasta automóbiles de gran tamaño.

Catalizador de oxidación diésel (DOC): Sistema de postratamiento cuya función principal es reducir la concentración de hidrocarburos y monóxido de carbono de los gases de escape de vehículos diésel transformando a dióxido de carbono (Zamora, 2021).

Control del aire (AH): El sistema de control de aire de un motor controla la rapidez, la temperatura y la presión del aire que entra en la cámara, asegura que está limpio y garantiza que contiene suficiente oxígeno para una combustión completa y suficiente diluyente para controlar la temperatura de combustión (ICCT, 2016a).

Covinoc: Compañía que complementa el sector financiero y real, a través de servicios especializados que combinan información con soluciones y herramientas digitales para optimizar la gestión del riesgo y administración de cartera (Covinoc, 2024).

Dispositivos de postratamiento (ATD): Un sistema de postratamiento es un método o dispositivo para reducir las emisiones de escape nocivas de los motores de combustión

interna. En otras palabras, es un dispositivo que limpia los gases de escape para garantizar que los motores cumplan con las normativas de emisiones (Cummins, 2023).

Equipos: Reúne toda la maquinaria pesada y equipos especializados para el desarrollo de las actividades, como pueden ser vehículos, generadores, sistemas hidráulicos y la maquinaria amarilla.

Equipo de inyección de combustible (FIE): Este es un sistema crítico en los motores de combustión interna modernos, responsable de suministrar combustible con precisión a la cámara de combustión del motor. Este sistema ofrece un control de la mezcla de combustible y aire, lo que mejora el rendimiento del motor, la eficiencia del combustible y reduce las emisiones (Testbook, 2023).

Filtro de partículas diésel (DPF): Estos filtros se utilizan para minimizar la cantidad de partículas nocivas que salen de los sistemas de gases de escape de los vehículos diésel. El objetivo es conseguir que el aire circundante esté más limpio y sea más seguro, sobre todo en los espacios confinados (ECH, 2020).

Inyección electrónica directa (EDI): Este sistema inyecta combustible directamente en el colector o el cilindro de un motor mediante controles electrónicos lo que permite una sincronización y dosificación del combustible de forma precisa. Dado que estos motores suministran aire y combustible con mayor precisión que un motor de carburador, suelen producir menos emisiones, además de mejorar la eficiencia del combustible. La atomización del combustible también ayuda a quemarlo completamente (Protool Reviews, s.f.).

Inyección indirecta (IDI): La inyección indirecta es un sistema de inyección en donde el combustible es introducido en una precámara situada en la culata del motor, es decir que no se introduce directamente en el interior de los cilindros sino en el exterior. Esta precámara está conectada a la cámara de combustión ubicada en el interior de los cilindros a través de un pequeño orificio (CodigosDTC, 2023b) el cual permite la generación de una turbulencia baja que favorece la mezcla del combustible generando de esta forma menor emisión de contaminantes, menor posibilidad de obstrucción de los inyectores (Castillejo, 2014).

Inyección mecánica directa (MDI): Sistema en el que el combustible se introduce directamente en la cámara de combustión del motor (CodigosDTC, 2023a), en este caso un inyector rocía combustible directamente en la cámara de combustión, en lugar de que una mezcla de aire y combustible ingrese a los cilindros del motor a través de las válvulas de admisión (SiempreAuto, 2022). Por lo tanto, el aire ingresa sin resistencia y de forma directa al cilindro o la precámara durante la carrera de admisión y así se logra reducir las emisiones de gases contaminantes y proteger el motor (Talleres y respuestas, 2015).

Mano de obra: todo el capital humano, personal y empelados que se requieren para el desarrollo de las actividades; exceptuando todo el personal administrativo, dirección e ingeniería ya que estos hacen parte del costo indirecto del proyecto.

Maquinaria amarilla: refiere a toda la Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) que se utiliza en el proyecto; para el presente ejercicio fue subdividido de los equipos para identificar el impacto individual que tiene la maquinaria pesada en el costo directo de un proyecto.

Materiales: Hace referencia a todo elemento que consolidara el producto terminado, materias primas, consumibles y/o sustancias que formaran parte del producto terminado o se requieren para la realización de las actividades.

Motor de alimentación natural (NA): Un motor atmosférico es aquel que no lleva turbocompresor ni sobrealimentación. En otras palabras, el aire entra normalmente en el motor, mientras que los motores turboalimentados y sobrealimentados fuerzan la entrada de aire a presión para aumentar la potencia (GoAuto, s.f.).

Recirculación de los gases de escape (EGR): La válvula EGR se encuentra ubicada entre el colector de admisión y el de escape donde hace las veces de comunicador, permitiendo que parte de los gases de escape vuelvan a la cámara de combustión a través del colector de admisión para que se vuelvan a quemar. Este paso genera un descenso de la temperatura de combustión lo que incide directamente en la disminución del óxido de nitrógeno (NO_x) emitido y vertido al exterior (RO-DES, 2014).

Recirculación de los gases de escape refrigerada (EGR-c): Dispositivo encargado de enfriar los gases de combustión permitiendo que puedan recircular mayor cantidad de gases. A bajas temperaturas, cuando el termostato está cerrado, este dispositivo se alimenta con líquido refrigerante reduciendo aún más la temperatura y por tanto, generando menos NO_x en el calentamiento del motor (RO-DES, 2014).

Recirculación interna de gases de escape (iEGR): es un tipo de recirculación de gases de escape en la que se utiliza un mecanismo de leva de escape de dos etapas con un elevador secundario para abrir la válvula de escape incluso durante el proceso de admisión, además de la elevación principal normal de la leva de escape (KUBOTA, 2022).

Reducción catalítica selectiva (SCR): Sistema por medio del cual se lleva a cabo la conversión de los óxidos de nitrógeno (NO_x) en agua y nitrógeno (sin los óxidos) a partir de la aplicación de amoníaco para reacción con los óxidos de nitrógeno (ADBLUE, 2017).

Refrigerador de carga del aire: El refrigerador de carga del aire enfría con eficacia el aire luego de que pasa por el turbocompresor camino al motor. El aire con menor temperatura se comprime para brindar la potencia óptima en las cámaras de combustión (Spectra Premium, s.f.).

Riel común de alta presión (CR): Este sistema compuesto por un raíl, bomba e inyectores almacena el combustible comprimido y lo suministra a los inyectores. En el raíl de alta presión se tienen montados un sensor de presión del raíl y, con independencia de la configuración del sistema, una válvula de control de presión adicional o una válvula limitadora de presión como componentes montados en el raíl, lo cual ayuda a controlar la inyección del fluido, reducción de las emisiones de contaminantes como CO₂ y reducción del consumo (BOSCH, s.f.).

Transporte: En este aspecto se determina todas las actividades de traslado, transporte y movilización de materiales que se realizan desde y hacia la ubicación del proyecto; este rubro se diferencia de los vehículos utilizados en el ítem de equipos: pues su función es retirar y transportar materiales, vehículos y/o desechos (volquetas, cama bajas, grúas), pero no participan en la ejecución de los trabajos (Carro tanques de agua, camiones de pintado) como ocurre con los vehículos en el ítem de Equipos.

Turbo de geometría fija (FGT): Bomba de aire diseñada para operar con la energía que normalmente se pierde en los gases de escape del motor. El turbocompresor de geometría fija está conformado principalmente por una turbina, un compresor que se encarga de aumentar la presión de alimentación y una válvula de descarga que limita la presión de sobrealimentación del turbo (Calameo, s.f.).

Turbo de geometría variable (VGT): Los turbocompresores de geometría variable mejoran los turbocompresores tradicionales al proporcionar la cantidad adecuada de aire en una gama más amplia de condiciones de funcionamiento del motor, incluso a baja velocidad y par elevado. La disponibilidad de aire adicional reduce las emisiones de partículas y tiene efectos positivos en la potencia. Además de permitir una mayor relación aire combustible a regímenes bajos y mejorar la aceleración del vehículo (ICCT, 2016a).

Turbocompresor (TC): El turbocompresor se encarga de comprimir más aire que fluye hacia el cilindro del motor. Cuando el aire se comprime, las moléculas de oxígeno se amontonan más. Este aumento en el aire significa que se puede agregar más combustible para el mismo tamaño de motor de aspiración atmosférica. Esto luego genera mayor energía mecánica y mejora la eficiencia general del proceso de combustión. Por lo tanto, el tamaño del motor se puede reducir por un motor con turbocompresor que conduce a un mejor empaque, beneficios de ahorro de peso y un mayor ahorro de combustible en general (Cummins, s.f.).

Unidad de control electrónico (ECU): Sistema de inyección electrónica de combustible, que comprende un microprocesador de ECU, un procesador de información de voz y una memoria de información de voz. El microprocesador de la ECU se utiliza para controlar un motor de combustión interna para inyección de combustible y encendido (Electronics Co Ltd, 2012).

Unidad electrónica inyectora (EUI): El inyector unitario controlado electrónicamente funciona como un inyector convencional, sin embargo, este inyector genera una alta presión de combustible mediante la bomba de pistón integrada e inyecta cantidades exactas de combustible en la cámara de combustión lo que reduce las emisiones del motor y mejora su rendimiento (SEALAND Turbo-Diesel Asia , s.f.).

Válvula de descarga (WG): Es el elemento encargado de controlar la cantidad de gases que salen del turbocompresor al sistema de escape a través de la apertura de esta válvula de descarga (Helloauto, s.f.). Por lo tanto, el trabajo de la válvula de descarga es desviar el exceso de gases de escape lejos de la turbina, controlando la velocidad de la turbina y evitando que gire demasiado rápido. Al controlar y limitar la velocidad de la turbina, la válvula de descarga regula la presión de sobrealimentación proporcionada por el turbocompresor. Al evitar que la presión de sobrealimentación aumente indefinidamente, la válvula de descarga protege el turbocompresor y el motor de daños (AET Turbos, 2014).

ACRÓNIMOS

- AIU:** Administración, Imprevistos y Utilidad
ANI: Agencia Nacional de Infraestructura
ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
APU: Análisis de Precio Unitario
CALAC+: Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina
CAMACOL: Cámara Colombiana de la Construcción
C40: C40 Cities
CCCS: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible
CCB: Cámara de Comercio de Bogotá
DNP: Departamento Nacional de Planeación
DOC: Catalizador de Oxidación Diésel
DPF: Filtro de Partículas Diésel
EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EGR: Recirculación de Gases de Escape
EPA: Environmental Protection Agency
FENALCO: Federación Nacional de Comerciantes Empresarios
IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
INVIAS: Instituto Nacional de Vías
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MMNC: Maquinaria Móvil No de Carretera
MOVES: Motor Vehicle Emission Simulator
RDA: Registro Distrital Automotor
RNMA: Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada
RUNT: Registro Único Nacional de Tránsito
SCR: Reducción Catalítica Selectiva
SDA: Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
SDM: Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá
SECOP: Sistema Electrónico para la Contratación Pública
SST: Seguridad y Salud en el Trabajo
UE: Unión Europea
UMV: Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	18
2. ANTECEDENTES	22
3. ESTADO DEL ARTE.....	27
3.1 Evolución tecnológica a nivel internacional	34
3.1.1 Estados Unidos.....	34
Tier 1.....	35
Tier 2.....	38
Tier 3.....	41
Tier 4 intermedio	44
Tier 4 final	48
Tier 5.....	52
Regulación niveles de azufre estándares de emisión US-EPA.....	52
3.1.2 Unión Europea	53
Stage I	54
Stage II	54
Stage IIIA.....	55
Stage IIIB.....	56
Stage IV	57
Stage V.....	58
Regulación niveles de azufre estándares de emisión Unión Europea.....	59
3.1.3 Comparación regulación de US-EPA y la Unión Europea	59
Tier 1 Y Stage I.....	59
Tier 2 y Stage II.....	60
Tier 3 Y Stage IIIA	61
Tier 4i Y Stage IIIB	62
Tier 4f Y Stage IV	63
Stage V	64
3.2 Experiencias internacionales y nacionales.....	64
3.2.1 El caso de Oslo, Noruega	64
3.2.2 Declaración C40 de construcción limpia	73

3.2.3	Contexto Colombiano.....	77
3.2.4	Contexto Bogotano.....	79
3.2.5	Instrumentos de participación voluntaria	80
4.	POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS A NIVEL INTERNACIONAL	83
4.1	Estados Unidos.....	83
4.1.1	Condiciones regulatorias administrativas	84
4.1.2	Incentivos fiscales y programas de financiamiento.....	86
4.1.3	Programas de capacitación y certificación	88
4.1.4	Programas de sustitución y modernización	89
4.1.5	Actividades de seguimiento y control	91
4.1.6	Condiciones habilitantes para el recambio	91
4.2	Chile	92
4.2.1	Condiciones regulatorias administrativas	93
4.2.2	Estrategias de ascenso tecnológico.....	96
4.2.3	Condiciones habilitantes para el recambio	99
4.3	Perú.....	100
4.4	México.....	101
5.	CONDICIONES DE ALQUILER O COMPRA.....	103
5.1	Componente técnico de los procesos de alquiler y compra.....	103
5.1.1	Identificación de actores en campo	103
5.1.2	Tipologías de alquiler y compra.....	107
5.1.3	Condiciones de mantenimiento	115
5.2	Componente económico de los procesos de alquiler y compra.....	119
5.2.1	Procesos de compra de MMNC nueva	121
5.2.2	Procesos de compra de MMNC usada	125
5.2.3	Procesos de alquiler.....	126
5.2.4	Empresas de venta y alquiler en la ciudad de Bogotá	128
5.3	Componente normativo de los procesos de alquiler y compra.....	155
5.3.1	Criterios de contratación pública.....	156
5.3.2	Términos y condiciones de compra por parte de la Agencia Nacional de Contratación Pública	158

5.3.3	Condiciones en los contratos de obras públicas del IDU	163
5.3.4	Condiciones de alquiler.....	167
5.3.5	Incentivos tributarios.....	167
5.3.6	Políticas de construcción sostenible.....	169
6.	CARACTERÍSTICAS DE LA MMNC DISPONIBLE EN LA CIUDAD	173
6.1	Bases de datos suministrada por el IDU.....	175
6.2	Base de datos suministrada por CALAC+	178
6.3	Base de datos suministrada por Skill Group	179
6.4	Base de datos suministrada por la UMV.....	181
6.5	Base de datos Alcaldía Locales de Bogotá.....	183
	Alcaldía Local de Engativá.....	185
	Alcaldía Local de Fontibón	186
	Alcaldía Local de Kennedy	188
	Alcaldía Local de San Cristóbal.....	189
6.6	Información disponible primera línea del metro.....	191
7.	COMPONENTE TÉCNICO.....	193
7.1	Calidad del combustible.....	193
7.2	Edad del parque vehicular	197
7.3	Aclimatación de tecnologías	200
7.4	Sistemas de control de emisiones y nuevas tecnologías	201
7.5	Incertidumbre sobre las nuevas tecnologías	204
8.	COMPONENTE ECONÓMICO	205
8.1	Mercado.....	205
8.2	Oferta: Costos de adquisición/ operativos.....	209
8.3	Incentivos económicos	215
8.4	Modelo de negocio	223
9.	COMPONENTE NORMATIVO	227
9.1	Procedimientos y trámites nuevos.....	227
9.2	Lineamientos de contratación	231
9.3	Políticas públicas ambientales y reglamentación	242
9.4	Acciones sectoriales.....	244

10.	CONCLUSIONES.....	246
11.	REFERENCIAS	251

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Documentos e información de interés de CALAC + en torno a MMNC	27
Tabla 2.	Unidades de la maquinaria más vendida en Latinoamérica en 2022.....	34
Tabla 3.	Año de implementación de Tier 1 a partir de su potencia	36
Tabla 4.	Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 1	37
Tabla 5.	Año de implementación de Tier 2 a partir de su potencia	39
Tabla 6.	Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 2	39
Tabla 7.	Año de implementación de Tier 3 a partir de su potencia	41
Tabla 8.	Intensidad tecnológica	42
Tabla 9.	Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 3	42
Tabla 10.	Año de implementación de Tier 4 intermedio a partir de su potencia	44
Tabla 11.	Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 4i	45
Tabla 12.	Límites de emisión Tier 4 dependiendo de su rango de potencia.....	48
Tabla 13.	Año de implementación de Tier 4f a partir de su potencia.....	49
Tabla 14.	Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 4f	49
Tabla 15.	Estándar de emisión y contenido de azufre US-EPA	53
Tabla 16.	Año de implementación de Stage I a partir de su potencia	54
Tabla 17.	Año de implementación de Stage II a partir de su potencia	55
Tabla 18.	Año de implementación de Stage IIIA a partir de su potencia	56
Tabla 19.	Año de implementación de Stage IIIB a partir de su potencia	56
Tabla 20.	Año de implementación de Stage IV a partir de su potencia	57
Tabla 21.	Año de implementación de Stage V a partir de su potencia	58
Tabla 22.	Estándar de emisión y contenido de azufre UE.....	59
Tabla 23.	Comparación de valores límites Tier 1 y Stage I.....	59
Tabla 24.	Comparación de valores límites Tier 2 y Stage II.....	60
Tabla 25.	Comparación de valores límites Tier 3 y Stage IIIA.....	61
Tabla 26.	Comparación de valores límites Tier 4i y Stage IIIB.....	62
Tabla 27.	Comparación de valores límites Tier 4f y Stage IV	63
Tabla 28.	Valores límites Stage V	64
Tabla 29.	Criterios de adjudicación de contratos públicos	68
Tabla 30.	Requisitos contractuales	70

Tabla 31.	Compromisos aceleradores.....	75
Tabla 32.	Aspectos regulatorios de los instrumentos.....	83
Tabla 33.	Recopilación resultados implementación programa Carl Moyer.....	90
Tabla 34.	Instrumentos regulatorio y estrategias en Chile	92
Tabla 35.	Comparación límites máximos de emisión por estándar de emisión	93
Tabla 36.	Características generales puntos salidas de campo	104
Tabla 37.	Tipologías identificadas en campo junto con imagen de referencia.....	108
Tabla 38.	Tipología y marcas encontradas en obra.....	112
Tabla 39.	Función de la MMNC identificada en campo	113
Tabla 40.	Países de las marcas identificadas.....	114
Tabla 41.	Niveles de mantenimiento	115
Tabla 42.	Mantenimiento por horas	117
Tabla 43.	Subpartidas arancelarias afectadas por el Decreto 723 de 20140.....	121
Tabla 44.	Precio internacional de maquinaria con capacidades similares y diferentes estándares de emisiones.....	123
Tabla 45.	Compilación de tipologías ofertadas por las distribuidoras y páginas web .	129
Tabla 46.	Tipologías de maquinaria comercializado por MotoMart S.A.....	130
Tabla 47.	Tipologías de maquinaria de construcción comercializado por SANY.....	132
Tabla 48.	Tipologías y total ofertado en BeMarket	135
Tabla 49.	Año modelo maquinaria ofertada en BeMarket	137
Tabla 50.	Tipología catálogo RYLSA.....	138
Tabla 51.	Tipologías en el catálogo de renta en RENTSOL.....	139
Tabla 52.	Tipologías catálogo portal web Gecolsa- CAT	141
Tabla 53.	Tipología ofertada en el portal web de Navitrans.....	143
Tabla 54.	Tipología ofertada en el portal web de Komatsu	145
Tabla 55.	Categoría venta maquinaria nueva disponible en el portal TuMaquinaria..	149
Tabla 56.	Categoría ofertada para maquinaria usada.....	150
Tabla 57.	Categorías venta maquinaria usada importada o de uso nacional	150
Tabla 58.	Categoría, total y rango de horómetros maquinaria ofertada.....	151
Tabla 59.	Tipologías y total encontrado en Tu Maquinaria	152
Tabla 60.	Años modelo maquinaria ofertada en Tu Maquinaria.....	152
Tabla 61.	Tipología ofertada en Superbid Exchange.....	154

Tabla 62.	Año modelo maquinaria ofertada en Superbid Exchange	154
Tabla 63.	Horómetro y precio por tipología.....	155
Tabla 64.	Especificaciones mínimas técnicas	161
Tabla 65.	Contratos revisados	163
Tabla 66.	Comparación de los años modelos de la MMNC por actores	173
Tabla 67.	Estándar de emisión MMNC de los actores	174
Tabla 68.	Total de MMNC por contrato	175
Tabla 69.	Marcas representativas base de datos SDA	177
Tabla 70.	Año modelo parque automotor base de datos SDA.....	177
Tabla 71.	Total MMNC por tipología y porcentaje de representación base de datos CALAC+	179
Tabla 72.	Estándar de emisión pilotos en campo	180
Tabla 73.	Año modelo MMNC pruebas piloto	180
Tabla 74.	Rango de horómetro por tipología.....	181
Tabla 75.	Tipología perteneciente al parque vehicular de la UMV	182
Tabla 76.	Año modelo de la maquinaria de la UMV	183
Tabla 77.	Proceso y respuestas de las Alcaldía Locales	184
Tabla 78.	Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de Engativá	185
Tabla 79.	Año modelo maquinaria Alcaldía Local de Engativá	185
Tabla 80.	Precio compra de maquinaria Alcaldía Local de Engativá.....	186
Tabla 81.	Nivel de actividad y consumo combustible MMNC Engativá.....	186
Tabla 82.	Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía de Fontibón	187
Tabla 83.	Año modelo maquinaria Alcaldía Local de Fontibón.....	187
Tabla 84.	Precio compra de maquinaria Alcaldía Local de Fontibón	187
Tabla 85.	Nivel de actividad y consumo de combustible MMNC Fontibón	188
Tabla 86.	Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de Kennedy	188
Tabla 87.	Año modelo y precio compra maquinaria Alcaldía Local de Kennedy	188
Tabla 88.	Nivel de actividad y consumo combustible Kennedy	189
Tabla 89.	Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de San Cristóbal	189
Tabla 90.	Año modelo de la maquinaria de la Alcaldía Local de San Cristóbal	189
Tabla 91.	Precio compra de la maquinaria Alcaldía Local de San Cristóbal	190

Tabla 92.	Nivel de actividad San Cristóbal	190
Tabla 93.	Maquinaria a utilizar en la Primera Línea del Metro de Bogotá	191
Tabla 94.	Consumo de combustible por equipo	192
Tabla 95.	Estimativo consumo de combustible del proyecto	192
Tabla 96.	Tipología y vida útil por Alcaldía Local.....	198
Tabla 97.	Incidencia de los componentes en los costos totales en proyectos de construcción	211
Tabla 98.	Comparación de subtotales.....	212
Tabla 99.	Tipos de zonas francas	216
Tabla 100.	Contratos revisados con factor de puntuación	232
Tabla 101.	Contratos revisados de actual adjudicación.....	234
Tabla 102.	Contratos revisados junto con su factor de puntuación	238
Tabla 103.	Tipo de maquinaria y equipo pesado de construcción adquirido frente al total de contratos de compra ejecutados	240
Tabla 104.	Estándar de emisión exigido en las fichas técnicas en contratos UMV.....	242

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Actores identificados en la gestión de la MMNC	20
Figura 2.	Oslo Municipality's procurement strategy"	65
Figura 3.	Maquinaria eléctrica implementada en el Proyecto piloto.....	66
Figura 4.	Excavadoras y cargadores eléctricos usados en la obra.....	67
Figura 5.	Climate and environmental requirements for the City of Oslo's construction sites Version 1.0	68
Figura 6.	Impact assessment of zero emission building processes in Oslo	72
Figura 7.	Diagrama de flujo de sistema de inscripción de la MMNC en Chile.....	94
Figura 8.	Estrategia Nacional de Electro-movilidad	96
Figura 9.	Metas relacionadas a la regulación de maquinaria.....	97
Figura 10.	Filtro de partículas diesel (DPF).....	98
Figura 11.	Cargador eléctrico en una demostración de operación	99
Figura 12.	Precio internacional de maquinaria pesada nueva discriminada por su fabricante y potencia.....	122
Figura 13.	Precio internacional de maquinaria pesada nueva discriminada por el estándar de emisiones.....	124
Figura 14.	Depreciación en el precio de maquinaria pesada usada discriminada por la cantidad de horas en operación	125
Figura 15.	Costo de alquiler en maquinaria pesada discriminada por su potencia y capacidad de operación.....	127
Figura 16.	Logo de Moto Mart S.A	129
Figura 17.	Logo de SANY.....	131
Figura 18.	Logo SK Rental	133
Figura 19.	Marcas identificadas en BeMarket.....	136
Figura 20.	Estándar de emisión MMNC BeMarket.....	136
Figura 21.	País de origen MMNC ofertada en BeMarket	137
Figura 22.	Logo de RYLSA	138
Figura 23.	Logo de RENTSOL.....	138
Figura 24.	Logo de Gecolsa- CAT	141
Figura 25.	Catálogo de equipos usados ofertados para Diciembre	142
Figura 26.	Logo de Navitrans.....	143

Figura 27.	Logo de Komatsu	145
Figura 28.	Marcas identificadas en Tu Maquinaria	151
Figura 29.	Estándar de emisión maquinaria ofertada en Tu Maquinaria.....	153
Figura 30.	Logo Superbid Exchange.....	153
Figura 31.	Estándar de emisión maquinaria encontrada en Superbid Exchange.....	155
Figura 32.	Edad promedio del parque vehicular de MMNC en Bogotá	173
Figura 33.	Edad de la maquinaria en el Distrito según fuente de información.....	174
Figura 34.	Estándares de emisión más comunes en el parque vehicular de MMNC en Bogotá	175
Figura 35.	Tipología y total de MMNC base de datos SDA.....	176
Figura 36.	Rango de potencia del motor según estándar de la US-EPA.....	181
Figura 37.	Marcas identificadas en la maquinaria de la UMV.....	183
Figura 38.	Estándar de emisión maquinaria de la Alcaldía Local de San Cristóbal.....	190
Figura 39.	Evolución contenido de Azufre.....	195
Figura 40.	Tienda virtual de Komatsu Colombia	209
Figura 41.	Oferta de maquinaria con tecnología Tier 4 en la Tienda Virtual de Komatsu Colombia	209
Figura 42.	Diagrama de flujo proceso solicitud CEPD MMNC.....	230
Figura 43.	Cantidad de contratos ejecutados de adquisición de maquinaria pesada por mes para el año 2023	240
Figura 44.	Valor total de los contratos	241

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es responsable de 7 millones de muertes prematuras por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, en especial en países de bajos y medianos ingresos (WHO, 2023) Son conocidos los impactos en la salud humana que tienen los diferentes contaminantes del aire, en especial las partículas o material particulado (PM). Desde hace varias décadas, el PM ha sido asociado con morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Dockery et al., 1993). La toxicidad del PM radica en la mezcla de diversos compuestos como carbón, sulfatos, nitratos, amonio, metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (Harrison & Yin, 2000), lo que lo hace un contaminante de difícil control.

En Colombia, el PM es el contaminante de mayor preocupación. Sólo el 20% de las estaciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del aire se encuentran por debajo del estándar anual de PM_{2.5} (15 ug/m³) recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016). Esta situación deriva en un alto impacto a la salud humana, representado en 8.052 muertes al año y 12.2 billones de pesos por costos de morbilidad y mortalidad (1.5% del PIB) (DNP, 2017). La ciudad de Bogotá enfrenta grandes problemas de contaminación del aire, especialmente en la zona sur occidental (Pachón, 2018). Diversos estudios han asociado la carga de morbilidad por enfermedades respiratorias a la contaminación extramural del aire en Bogotá (Salud, 2019). No en vano, la contaminación del aire se percibe como el problema ambiental que más afecta a los bogotanos (CCB, 2017).

Las principales fuentes de contaminación al aire en Colombia son las industrias y los vehículos, aunque existen también otras fuentes importantes como las quemas de biomasa que afectan a nivel regional (IDEAM, 2020). Dentro de las fuentes móviles, los vehículos pesados (buses y camiones) aportan mayoritariamente la contaminación. Sin embargo, en la medida que se ha hecho un reemplazo tecnológico en el transporte público y se han promulgado estándares de emisión más estrictos, otras fuentes son más notorias. Este es el caso de la (MMNC), cuyas emisiones pueden ser significativas dado el tamaño de sus motores, el uso preferente de combustible diésel, la edad del parque vehicular y las condiciones de operación y mantenimiento.

En efecto, el inventario nacional de MMNC estima 2.662 ton/año de PM_{2.5} proveniente de fuentes *non-road* (MADS & COSUDE, 2022), frente a 7.956 ton/año de fuentes *on-road* (IDEAM, 2020), lo cual representa un 33% de las emisiones. En el caso del carbono negro (black carbon - BC), la MMNC aportan 1770 ton/año a nivel nacional frente a 2677 ton/año por vehículos *on-road*, es decir, una contribución del 52%. Cabe recordar que el BC es un contaminante que afecta la salud humana a la vez que contribuye con el calentamiento global. Para Bogotá, el aporte de PM_{2.5} en ton/año *non-road vs on-road* es de 437 vs 1676, representando un 26% de las emisiones (SDA, 2018). En cuanto al CO₂, las emisiones de la MMNC son de 513.792 ton/año (MADS & COSUDE, 2022), frente a 4.972.132 del parque vehicular en carretera (SDA, 2022), correspondiendo a un 10%.

Es notorio, por tanto, el impacto de las emisiones de MMNC en el inventario de contaminantes criterio y compuestos de efecto invernadero. Es necesario establecer programas de reducción de emisiones en MMNC que contemplen la instalación de dispositivos de control en la maquinaria actual y el ascenso tecnológico en la maquinaria que ingrese al país en los próximos años. Diversos análisis de costo-efectividad han demostrado los beneficios ambientales y en salud pública que traen el control de emisiones en la MMNC (DCCEEW, 2022), (US-EPA, 2007).

En este sentido, el programa de descontaminación del aire para Bogotá “Plan Aire 2020 – 2030” busca realizar un ascenso tecnológico en la maquinaria de construcción que opera en la ciudad, mediante la línea de acción “Introducción de maquinaria de construcción con bajos niveles de emisión” (SDA, 2021). Con este propósito, el Plan Aire propuso un estándar mínimo de emisión (equivalente a Tier 4i o Stage IIIB) para la maquinaria nueva usada que opera en la ciudad a partir del año 2023. Sin embargo, este estándar entrará en efecto en agosto del año 2024 y sólo para la maquinaria que ingresa al país (nueva o usada), más no para la maquinaria existente, de acuerdo con la Resolución 762 de 2022 (MADS & COSUDE, 2022).

La caracterización del parque de MMNC es de importancia en la ejecución del Plan Aire. Según el Registro Distrital Automotor (RDA), en Bogotá existen 1136 máquinas de construcción (SDA, 2021). Sin embargo, para el país se han estimado 60.500 unidades, de las cuales para Bogotá se podrían asignar 10.587 unidades de acuerdo con el indicador de construcción (MADS & COSUDE, 2022), por lo que existe un subregistro en el RDA. En cuanto al combustible usado, tanto a nivel nacional como local predomina el diésel (~90%), y en menor proporción la gasolina, la mezcla gas-gasolina y la electricidad. La edad de la maquinaria es consistente en los inventarios nacional y local, con una mayor proporción (~85%) entre los 0 y 20 años, y el porcentaje restante mayor a 20 años.

Esta consultoría del programa CALAC+ tuvo como propósito generar información e instrumentos de soporte para apoyar a la SDA en el ascenso tecnológico de la MMNC con la consecuente reducción de emisiones a la atmósfera. En la medida que dichos instrumentos son aplicables no sólo en Bogotá sino en todo el país, los resultados plasmados en este informe pueden ser de utilidad también para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como autoridades ambientales regionales.

Como principales logros de esta consultoría se puede mencionar:

- Se identificaron los actores relacionados con la gestión de MMNC como se observa en la Figura 1. Dentro de actores directos se encuentran fabricantes, importadores y distribuidores de maquinaria y de repuestos, entidades públicas y privadas gestoras de obras civiles, constructoras y consorcios, instituciones gubernamentales encargadas del registro y regulación de la maquinaria. Como actores indirectos se mencionan incubadoras de políticas a través de cooperación internacional, la academia,

asociaciones y gremios de la construcción, entidades promotoras de la construcción sostenible.

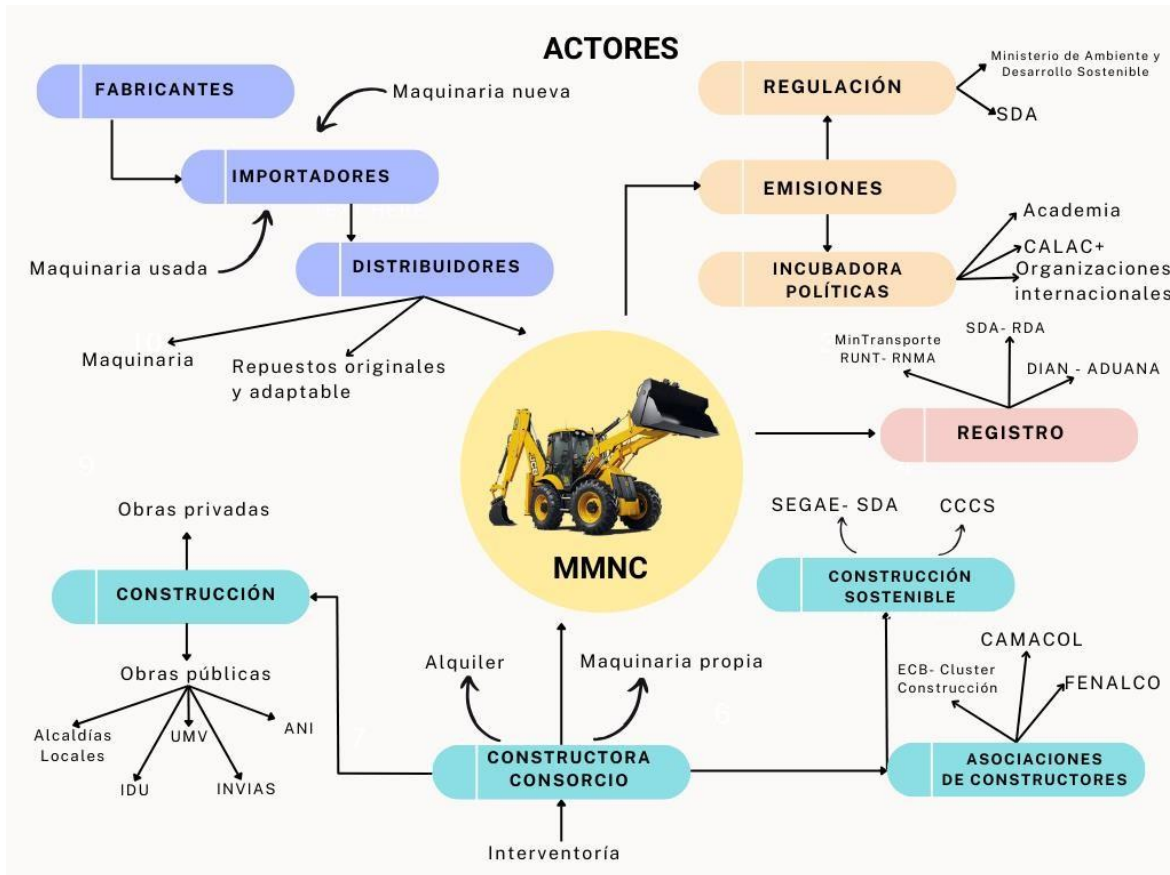


Figura 1. Actores identificados en la gestión de la MMNC

Fuente. Autores

- Se realizaron mesas de trabajo con diversos actores con el fin de recopilar información de bases de datos de maquinaria existente en el Distrito y actividad vehicular, experiencias en la gestión de MMNC, estándares de emisión predominante en la ciudad, condiciones de alquiler y/o compra, preparación para el ascenso tecnológico contemplado en la Resolución 762 de 2022, lineamientos para la inclusión de la maquinaria en el marco de la construcción sostenible, entre otros.
- Se acompañaron los pilotos de medición de opacidad en la maquinaria de construcción donde se tuvo la oportunidad de dialogar con distintas constructoras y consorcios, contratistas de obras, gestores de maquinaria, personal de auditoría, con quienes fue posible recuperar información técnica de las máquinas, condiciones de operación y mantenimiento, así como la logística del alquiler.
- Se realizaron solicitudes de información en instituciones públicas como la ANLA, las Alcaldías Locales, el IDU, la UMV, la SDA, en relación con bases de datos, contratos de alquiler y/o compra de maquinaria e incentivos económicos y tributarios. Las condiciones contractuales para el alquiler o compra de la MMNC fueron también consultadas en el SECOP y el portal Colombia Compra Eficiente.

- Se realizó un acercamiento al gremio de la construcción, en especial, a la iniciativa de construcción sostenible con el fin de identificar lineamientos que pudiera existir para la reducción de emisiones en maquinaria de construcción. También se hizo contacto con el programa C40, del cual Bogotá es firmante, con el fin de explorar la posibilidad de incluir la ciudad en la declaración de Construcción Limpia.
- Se analizaron las barreras o limitaciones, así como las condiciones habilitantes para el ascenso tecnológico de la MMNC en el Distrito desde los componentes técnico, económico y normativo.

2. ANTECEDENTES

Desde la década de los 90s se promulgaron estándares de emisión para la MMNC en Estados Unidos y la Unión Europea, los cuales, han sido progresivamente más estrictos en el control de emisiones. Muchos otros países han venido adoptando dichos estándares o estableciendo valores propios. Originalmente y ante la preocupación por la formación de ozono troposférico, el control de emisiones recayó sobre los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno (NO_x), precursores del contaminante fotoquímico. Posteriormente, se hizo control sobre el material particulado tanto en masa como en número dado sus efectos en la salud. Para Estados Unidos, los estándares actuales corresponden a Tier 4f, e incluyen el control de CO, NMHC, NMHC+ NO_x , NO_x , PM (masa) (ICCT, 2016b). En el caso europeo, se tienen actualmente los estándares Stage V que incluyen los contaminantes regulados en Tier 4f más el número de partículas (ICCT, 2016b). La gradualidad en los estándares de emisión ha permitido el desarrollo de motores con menores emisiones y la implementación de tecnologías de control, a la vez que ha impulsado mecanismos de financiación e incentivos tributarios, sin los cuales el reemplazo de la maquinaria sería muy lento.

En Latinoamérica, el programa Clima y Aire Limpio (CALAC+) ejecutado por Swisscontact y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) ha sido pionero en la gestión de políticas para la reducción de emisiones provenientes de la MMNC. El apoyo en la elaboración y/o actualización de los inventarios de emisiones de MMNC en los países del programa (Colombia, Chile, México, Perú) ha visibilizado la importancia del tema y ha facilitado espacios de discusión con los diferentes actores involucrados. Al nivel técnico, desde CALAC+ se han generado guías y herramientas para el sector que recogen la experiencia internacional y la traducen a la realidad local. Como resultado de este esfuerzo, Colombia y Chile cuentan ya con normatividad que regula las emisiones de la MMNC (MADS, 2020a); (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2021)), en tanto que México y Perú se encuentran en sus desarrollos normativos.

El inventario nacional de MMNC, elaborado entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el programa CALAC+, estima 2.662 ton/año de $\text{PM}_{2.5}$ proveniente de fuentes *non-road* (MADS & COSUDE, 2022). Por su parte, el inventario nacional de contaminantes criterio y carbono negro estima 7.956 ton/año de $\text{PM}_{2.5}$ de fuentes *on-road* (IDEAM, 2020). De esta forma, las emisiones *non-road* constituyen el 33% de las emisiones *on-road*. En el caso del carbono negro (black carbon - BC), la MMNC aportan 1.770 ton/año a nivel nacional frente a 2.677 ton/año por vehículos *on-road*, es decir, una contribución del 52%. Este resultado es un indicador de las condiciones pobres de combustión que se presentan en la MMNC, asociadas a su antigüedad, las condiciones de operación y mantenimiento, y el combustible usado (en el 90% de los casos diésel).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó el documento “Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas” (MADS, 2017a) el cual es un documento de referencia que compila los principales criterios técnicos necesarios para

desarrollar un inventario de emisiones teniendo en cuenta que esta guía contiene información sobre los procedimientos y metodologías existentes para la elaboración de inventarios de emisiones que cumplan con criterios de calidad, coherencia, integridad, comparabilidad, representatividad y transparencia (MADS, 2017a).

Es de resaltar que en esta guía solo se tuvo en cuenta los vehículos clasificados para uso en carretera, sin embargo, en esta guía se hace mención a que los factores de emisión para la maquinaria fuera de ruta pueden ser obtenidos de documentos compilatorios como “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook- 2016 1.A.4 Non road mobile machinery” (EEA, 2016), en donde se presenta los factores de emisión para MMNC dependiendo de sus sector de clasificación y su estándar de emisión que puede ser Tier 1, Tier 2 y Tier 3 para contaminantes (g/Ton) como: BC, CH₄, CO, CO₂, N₂O, NH₃, NMVOC, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} entre otros. Adicionalmente, esta guía hace referencia a los modelos de emisión para la estimación de las emisiones de la MMNC, de las cuales, se destaca MOVES, un simulador de vehículos automotores MOVES (por sus siglas en inglés) desarrollado por la EPA y que permite estimar emisiones generadas por fuentes móviles al nivel nacional, regional y de proyecto para gases de efecto invernadero, contaminantes criterio y compuestos tóxicos (MADS, 2017a).

En el año 2018 se realizó la actualización del inventario de emisiones de Bogotá por parte de la SDA. En este inventario de emisiones se contemplaron las fuentes móviles fuera de ruta (maquinaria amarilla, maquinaria agrícola y maquinaria industrial); en este caso, la metodología implementada para la estimación de las emisiones se hizo bajo el enfoque Top-down en donde se emplearon valores representativos de la ciudad para realizar la estimación (SDA, 2018). En este documento las emisiones relacionadas a las fuentes fuera de carretera en la ciudad de Bogotá para PM₁₀ fueron de 450 Ton/año, y para PM_{2.5} 437 Ton/año; en este caso en particular, en el inventario se hace mención a que del total de emisiones de PM_{2.5} la maquinaria amarilla aportó en un 4%. Ahora bien, relacionado a los otros contaminantes la estimación para NO_x 5.457 Ton/año, para SO₂ 16 Ton/año, para CO 2.858 Ton/año y para VOC la estimación de emisiones fue de 534 Ton/año.

Para el año 2020, se realizó la actualización del inventario de emisiones de Bogotá, considerando que la última actualización se había hecho para el año 2018, en esta oportunidad también se contemplaron las estimaciones de la maquina fuera de ruta, sin embargo, es de resaltar que los valores presentados para los contaminantes de PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO₂ y VOC tienen los mismos valores debido a que estas emisiones corresponden al estimado por el programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina CALAC+ (SDA, 2020). Sin embargo, para este inventario se tienen las emisiones de otro contaminante, siendo que para CO las emisiones fueron de 2.848 Ton/año.

De igual forma, relacionado a las emisiones de PM_{2.5}., del total de emisiones la participación de la maquinaria amarilla en la emisión de este contaminante fue del 6%, para PM₁₀ del 1%, NO_x 11%, SO₂ 1% y VOC 1%.

En el caso de Bogotá, el aporte de PM_{2.5} en ton/año *non-road vs on-road* fue de 437 vs 1676, representando un 26% de las emisiones (SDA, 2018). En cuanto al CO₂, las emisiones de la MMNC fueron de 513.792 ton/año (MADS & COSUDE, 2022), frente a 4.972.132 del parque vehicular en carretera (SDA, 2022), correspondiendo a un 10%. Para abordar esta problemática, el programa de descontaminación del aire “Plan Aire 2020 – 2030” realizó un diagnóstico de la MMNC que operaba en la ciudad encontrando: gran proporción de maquinaria diésel, ausencia de normatividad ambiental, un parque automotor antiguo y una operación de la maquinaria por encima de la vida útil.

Por tanto, el Plan Aire propuso un ascenso tecnológico de la maquinaria de construcción a una de bajos niveles de emisión, que cumplieran un estándar mínimo equivalente a Tier 4i o Stage IIIB para la maquinaria nueva o usada que opera en la ciudad a partir del año 2023 (SDA, 2021). En este documento se menciona que según las estadísticas del Registro Distrital Automotor – RDA, de la SDM, el 88.6% de la maquinaria amarilla empleada en el rubro construcción opera con motores de combustión ciclo diésel y adicionalmente los años de fabricación de la maquinaria registrada en la ciudad oscila entre 1968 y 2018 (SDA, 2021) por lo que en la ciudad se puede encontrar maquinaria con una edad superior a los 50 años, siendo de esta forma que hay maquinaria de construcción que ya cumplió su vida útil, pero que aún está activa.

Para la regulación de la maquinaria en el sector de infraestructura se formula la línea de acción 13 relacionada a la gestión de maquinaria amarilla para la introducción de maquinaria de construcción con bajos niveles de emisión.

Por lo tanto, para poder cumplir con los objetivos planteados en esta línea de acciones, el Plan aire 2030 propone las siguientes actividades:

1. Inventario y caracterización de maquinaria.
2. Selección y evaluación de requisito mínimo tecnológico.
3. Regulación de implementación de requisito mínimo.
4. Regulación incentivos económicos y financieros.
5. Implementación del requisito mínimo.

Actualmente, la SDA ha construido diversos documentos “Informe de seguimiento al Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá – Plan Aire 2030 2022- I” (SDA, 2022) e “Informe de seguimiento al Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá – Plan Aire 2030 2022- II” (SDA, 2023c), en el cual, se consolida el avance de las acciones realizadas relacionado a los proyectos que se encuentran en implementación. A partir de estos documentos se encontraron los siguientes logros (SDA, 2022) y (SDA, 2023c):

- Se desarrollaron acciones de análisis a la matriz de información suministrada por la empresa Metro de Bogotá, relacionada con las fases previas y de construcción del proyecto, desagregada por las diversas actividades de construcción que involucran las fases y sus tiempos estimados para la ejecución.

- Se participó en la presentación del informe de mediciones a la maquinaria amarilla de la UMV – CALAC+ con el apoyo de la Universidad de Antioquia, insumo esencial para la caracterización del sector. De igual manera, se cuenta con el inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS y CALAC+.
- Existe una referencia base de caracterización de las fuentes móviles de uso fuera de carretera, sus variables técnicas: Entidad/Empresa, Proyecto, Tipología, Marca, Nombre del modelo, Año modelo, Serie de la placa. Esta información aporta al análisis cuantitativo de la maquinaria amarilla en Bogotá, su estado actual, tecnología y la edad promedio de este parque automotor. Como resultado preliminar se han identificados 696 equipos de maquinaria de construcción. Los equipos más utilizados son: Vibrocompactador, Minicargador, Extendedora de asfalto, fresadora de pavimento, Excavadora, compactador, retrocargador entre otros.
- En trabajo conjunto con CALAC+ se avanzó en la gestión y búsqueda de instituciones participantes para desarrollar el proyecto "Campaña Nacional de Medición de densidad de humo para la maquinaria móvil no de carretera", en esta campaña se tuvo la meta de caracterizar 100 unidades de máquinas amarillas. La campaña se realizó a finales del año 2023 en Bogotá. El desarrollo de la campaña de medición aportará en el diagnóstico de la maquinaria de construcción en la capital.

En julio del año 2022, fue promulgada la Resolución 762 por parte del MADS, la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, incluidas las fuentes de uso fuera de carretera (MADS, 2022). Esta regulación adopta los estándares Tier 4i o Stage IIIB disponibles desde el año 2013 en los Estados Unidos y la Unión Europea respectivamente para el control de CO, HCNM, HCNM+ NO_x, NO_x, PM. La regulación aplica para la maquinaria que se ensamble, fabrique o importe al país a partir de los 24 meses de entrada en vigencia. De esta forma, se consiguen los estándares propuestos por la SDA para Bogotá, pero se pospone su aplicación por 20 meses y no se considera toda la flota que opera en la ciudad, sino la que ingresa a partir de agosto de 2024.

La caracterización del parque de MMNC es de importancia en la ejecución del Plan Aire. Según el Registro Distrital Automotor (RDA), en Bogotá existen 1.136 máquinas de construcción (SDA, 2021). Sin embargo, para el país se han estimado 60.500 unidades, de las cuales, para Bogotá se podrían asignar 10.587 unidades de acuerdo con el indicador de construcción (MADS & COSUDE, 2022), por lo que existe un subregistro en el RDA. A nivel nacional, la información se ha obtenido del Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMA) del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) proveído por el Ministerio de Transporte y el registro de aduanas (LegisComex).

En cuanto al combustible usado, tanto al nivel nacional como local predomina el diésel (~90%), y en menor proporción la gasolina, la mezcla gas-gasolina y la electricidad. La edad

de la maquinaria es consistente en los inventarios nacional y local, con una mayor proporción (~85%) superior a los 20 años, y el porcentaje restante menor a 20 años (MADS & COSUDE, 2022; SDA, 2021). En general, el país cuenta con maquinaria antigua, que podría cumplir con un estándar de emisiones Tier 1/Stage I, existente en los Estados Unidos y Europa hace 20 años o más.

3. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se expone toda aquella información relevante que permite comprender los avances en materia de la Identificación de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera - MMNC a nivel internacional y a nivel local a partir de la recopilación de algunas experiencias de distintos países. Por lo tanto, para poder entender el contexto actual se hizo una búsqueda a partir de palabras clave como: *Maquinaria Móvil No de Carretera; Obras civiles; Construcción Sostenible; Estándar de emisión; Tecnologías limpias; Normatividad Ambiental*.

La MMNC según la definición de la Unión Europea, significa cualquier máquina móvil, equipo transportable o vehículo con o sin carrocería o ruedas, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, e incluye la maquinaria instalada en el chasis de vehículos destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera (Regulación EU No. 2016/1628, 2016). En Colombia, el concepto cambia a Fuente Móvil terrestre de Uso Fuera de Carretera, que según la Resolución 762 de 2022 “es una máquina móvil, un equipo transportable o un vehículo con o sin carrocería o con o sin ruedas, que cuenta con un motor de combustión interna, que no ha sido diseñado para el transporte de pasajeros o de mercancías por carretera. Esta categoría no incluye motores de régimen constante, equipos ferroviarios, generadores eléctricos y vehículos de recreación” (MADS, 2022).

El programa CALAC+ ha formulado diversas guías y herramientas que han permitido identificar y caracterizar el panorama internacional con el fin de promover estrategias de reducción de contaminantes atmosféricos en la MMNC en Latinoamérica. La Tabla 1, sintetiza la información de interés (reportes, video, seminarios/Conferencias, infografías, webinar y noticias) disponibles en el sitio web del programa CALAC+¹.

Tabla 1. Documentos e información de interés de CALAC+ en torno a MMNC

INFORMACIÓN DOCUMENTAL			
TÍTULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Guía de buenas prácticas para el uso de los sistemas DPF en MMNC	Lineamientos para la gestión ambiental de reducción de emisiones de maquinaria por medio de la tecnología DPF (Diesel Particle Filter)	2020	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/3_Gu%C3%ADa-buenas-practicas_vfinal-1.pdf

¹ <https://programacalac.com/>

INFORMACIÓN DOCUMENTAL			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Guía para la selección de la flota de maquinaria para reacondicionamiento	procedimiento de selección de la flota para el reacondicionamiento con base en a los criterios: 1. condiciones técnicas mínimas para la correcta operación; 2. Garantías en el tiempo de las condiciones técnicas; 3. Verificación del correcto mantenimiento de la flota, 4; viabilidad técnica y económica	2020	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/4_Gu%C3%ADa-selecci%C3%B3n-de-flota_vfinal.pdf
Guía para el reacondicionamiento de maquinaria móvil fuera de ruta con filtros de partículas diésel en Chile	Lineamientos para la aplicación de la tecnología DPF (Diesel Particle Filter) en MMNC (caso de estudio – Chile)	2021	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2022/07/Guia-de-reacondicionamiento-de-MMFR-con-DPF-en-Chile_FINAL.pdf
Guía metodológica para la construcción del inventario de MMNC (Estimación de la población de maquinaria)	Lineamientos para elaborar inventarios de MMNC	2020	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/Gu%C3%ADa-inventario-emisiones_vfinal.pdf
Sistematización de la Oferta Tecnológica para MMNC de Cero Emisiones	Casos de estudio a nivel internacional sobre el uso de MMNC cero emisiones; algunas de las principales barreras existentes para el uso de estas tecnologías	2022	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2023/07/OFERTA-TECNOLOGICA-PARA-MAQUINARIA-MOVIL-NO-DE-CARRETERA-DE-CERO-EMISIONES-v090323_compressed-1.pdf

INFORMACIÓN DOCUMENTAL			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Sistematización de políticas y normativa de experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la MMNC	Síntesis de información documental de políticas, normativas y referencias técnicas sobre la reducción de emisiones de MMNC a nivel internacional	2021	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/11/RE-Sistematizacion-de-normas-y-politicasV2-1.pdf
Guía técnica para la Inspección Técnica Periódica (ITP) de vehículos provistos con filtros de partículas diésel basado en el conteo de partículas – Versión 2.0	Instrumento para armonizar la sustitución de la prueba de opacidad de humo por la de conteo de partículas en vehículos provistos con filtros de partículas diésel durante la inspección técnica periódica.	2021	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/07/GUIA-TECNICA-PARA-LA-INSPECCION-TECNICA-PERIODICA-VERSION-2.0-210721-2.pdf
Guía metodológica para elaboración de términos de referencia técnicos para la adquisición de sistemas DPF para el reacondicionamiento de MMNC	Lineamientos para la elaboración de los términos de referencia técnicos para la adquisición de los sistemas de filtros de partículas, en el reacondicionamiento de la flota de maquinaria de construcción	2020	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/Gu%C3%ADa-TDR-adquisici%C3%B3n-DPF_vfinal.pdf
Guía metodológica para la construcción de políticas “soot free” en la MMNC	Lineamientos técnicos para la construcción de políticas para MMNC libre de Hollín	2020	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2020/05/2_Gu%C3%ADa-para-el-desarrollo-de-pol%C3%ADticas_vfinal.pdf

INFORMACIÓN DOCUMENTAL			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Informe Primera Fase 2018-2021	Informe general de CALAC+ que muestra la Visión regional de Buses sin hollín y bajos en emisiones de carbono, Políticas urbanas para maquinaria fuera de ruta y Red global de gestión del conocimiento	2021	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2022/05/CALAC-Espanol-FINAL-1.pdf
VIDEOS, SEMINARIOS, CONFEREENCIAS E INFOGRÁFIAS			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Seminario Internacional: Estrategias de calidad de aire y cambio climático en el uso de maquinarias móviles de construcción	Presentaciones magistrales y paneles de discusión que permitieron el intercambio de ideas en torno a 9 ejes temáticos y espacio de networking	2023	https://programacalac.com/publicaciones/estrategias-de-calidad-de-aire-y-cambio-climatico-en-el-uso-de-maquinarias-moviles-de-construccion/
Avances y desafíos de la transformación de la maquinaria a tecnologías cero emisiones	Contexto sobre avances en Política Pública a nivel global en torno a MMNC, muestras de experiencias y casos de éxito	2022	https://youtu.be/NF4sKm1Kol
Infografía: Bogotá: una urbe que reduce sus emisiones	Diagnóstico de Bogotá, Colombia en avance para la construcción de políticas urbanas para maquinaria fuera de ruta	2022	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2022/08/INFO-Bogota-2-OCT.pdf
Infografía: Lima: una ciudad que busca ser sostenible	Diagnóstico de Lima, Perú en avance para la construcción de políticas urbanas para maquinaria fuera de ruta	2022	https://programacalac.com/wp-content/uploads/2022/08/INFO-Lima-2-OCT.pdf

VIDEOS, SEMINARIOS, CONFERENCIAS E INFOGRÁFIAS			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Video: Capacitación Herramientas CALAC+ a Cúcuta	Contexto general de la reducción de emisiones de MMNC y visualización de herramientas (CALMAQ+; HEBASH+; HEMAQ+; HETRANS+	2022	https://programacalac.com/publicaciones/capacitacion-herramientas-calac-a-cucuta/
Webinar: Sistematización de políticas y normativa de experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la MMNC en 14 países	Avances y experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la MMNC	2021	https://programacalac.com/publicaciones/webinar-sistematizacion-de-politicas-y-normativa-de-experiencias-internacionales-para-la-reduccion-de-emisiones-de-la-maquinaria-movil-no-de-carretera-en-14-paises/
Webinar: Experiencia de Berlín en la Reducción de Emisiones de Maquinaria de Construcción	Efectos sanitarios de las emisiones; reacondicionamiento de maquinaria; Filtro de partículas; tecnologías aplicadas.	2020	https://programacalac.com/publicaciones/experiencia-de-berlin-en-la-reduccion-de-emisiones-de-maquinaria-de-construccion/
Webinar: Curso Inventario de Emisiones Maquinaria Non-Road	Curso interactivo para la elaboración de inventarios de emisiones de MMNC	2020	https://programacalac.com/publicaciones/webinar-curso-inventario-de-emisiones-maquinaria-non-road/
Video: HEMAQ: herramienta para análisis del Impacto Económico y Ambiental de la Migración hacia Normas de Emisiones para MMNC (Non-Road)	Video corto explicativo de herramienta HEMAQ+ para MMNC	2021	https://programacalac.com/multimedia/hemaq-herramienta-para-analisis-del-impacto-economico-y-ambiental-de-la-migracion-hacia-normas-de-emisiones-para-maquinaria-movil-no-de-carretera-non-road/

VIDEOS, SEMINARIOS, CONFERENCIAS E INFOGRÁFICAS			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Video: CALMAQ: Calculadora de emisiones de maquinaria no de carretera	Video corto explicativo de herramienta CALMAQ para MMNC	2021	https://programacalac.com/multimedia/calmaq-calculadora-de-emisiones-de-maquinaria-no-de-carretera/
Video: Hitos del Resultado 2: Incubadoras de políticas urbanas para maquinaria fuera de ruta	Video corto explicativo sobre las políticas urbanas para MMNC en Latinoamérica	2021	https://programacalac.com/multimedia/componente-2-maquinaria-movil-no-de-carretera/
NOTICIAS			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Minambiente inicia cruzada por la calidad del aire en Colombia (maquinaria de construcción)	Se expone que, por primera vez el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el apoyo del programa de cooperación suiza CALAC+, medirá la contaminación del aire que ocasiona la maquinaria amarilla, utilizada en los diferentes frentes de obra en Bogotá y Medellín.	2023	https://programacalac.com/minambiente-inicia-cruzada-por-la-calidad-del-aire-en-colombia-maquinaria-de-construccion/

NOTICIAS			
TITULO	PROPOSITO	AÑO	ENLACE WEB
Perú publica primer inventario de emisiones de MMNC	Se expone que, el Ministerio de Ambiente de Perú publicó su primer inventario de MMNC, donde, se presentan resultados de contaminantes criterio del aire provenientes de la flota de Maquinaria a nivel nacional y a nivel Lima Metropolitana, tomando como año base el 2016.	2023	https://programacalac.com/peru-publica-primer-inventario-de-emisiones-de-maquinaria-movil-no-de-carretera-mmnc/

Fuente. Autores

Por otra parte, el portal “Construcción Latinoamericana”² permite conocer el panorama de la maquinaria de construcción a través de videos de contextualización, noticias, reportajes y entrevistas. Entre los programas que resalta el portal se encuentran (Construcción Latinoamericana , 2023b):

- Declaración de Construcción Limpia C40, que cuenta con la participación de 12 países latinoamericanos y que cuyas metas son: i. La reducción de emisiones en al menos 50% para edificaciones nuevas para 2030; ii. La reducción de emisiones incorporadas en al menos el 50% de los proyectos de infraestructura en 2030; iii. La exigencia de maquinaria de construcción de cero emisiones en proyectos de infraestructura municipales en 2025 y en todo el sector de construcción para 2030. Con 96 ciudades participantes, que representan más del 20% de la economía global, el C40 busca acelerar la transición hacia una construcción limpia y sostenible.
- En el panorama europeo, es importante destacar a países como Noruega, en donde Oslo hace parte de las ciudades firmantes con C40, por eso se destaca como una de las ciudades ejemplo para la construcción sostenible, debido a que la meta para el 2050 es que Noruega se convierta en una sociedad de bajas emisiones, logrando una reducción de gases de efecto de invernadero del orden del 90-95% respecto al año 1990 (Climate Action Tracker, 2020). Para este propósito, la maquinaria de construcción deberá ser de cero emisiones al 2050.
- Crecimiento del mercado de equipos de construcción. Al nivel mundial en el año 2022 se vendieron más de 1.200.000 unidades de equipos de construcción, en donde Latinoamérica representa el 7% de este mercado. Las unidades más vendidas están

² <https://www.construccionlatinoamericana.com/>

presentes en la Tabla 2 en los cinco mercados más grandes: Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Perú. si la política se mantiene estable en la región latinoamericana se podría esperar varios años de ventas sólidas de equipos de construcción entre 2023 y 2027 con ventas superiores a 50.000 unidades al año (Construcción Latinoamericana , 2023a).

Tabla 2. Unidades de la maquinaria más vendida en Latinoamérica en 2022

Tipo de equipo	Unidades (2022)
Excavadoras	17.495
Retroexcavadoras	13.905
Cargadores frontales (>80 hp)	12.307
Minicargadores	4.383
Motoniveladoras	4.030

Fuente. (Construcción Latinoamericana , 2023b)

- En Londres, existe el Centro de construcción de bajas emisiones³, el cual ha promovido la introducción de estándares en la MMNC que opera en la ciudad. En el año 2015 se estableció que la MMNC con potencia neta entre 37 kW y 560 kW deberá cumplir los estándares Stage IIIA Y Stage IIIB en zonas de bajas emisiones (Centro de construcción de bajas emisiones , 2019). A partir de 2020, en todo el centro urbano de Londres se debe cumplir como mínimo el estándar Stage IV.

3.1 Evolución tecnológica a nivel internacional

A continuación, se presenta la información recopilada del panorama internacional relacionado a la evolución tecnológica referente a Estados Unidos y la Unión Europea, esto considerando que la Agencia de Protección Ambiental de USA (US-EPA) promulgó normas de emisión para motores diésel no de carretera por primera vez en 1994, denominadas “Tier”, seguida por la E.U. en el año 1997, denominadas “Stage”. Dichas normas se definen en función de la potencia del motor, y el año de aplicación para las diferentes clases de potencia del motor puede variar dentro de un nivel o fase reglamentaria determinada (ICCT, 2016b). Para evitar disparidades entre los motores vendidos en ambas regiones, las normas adoptadas suelen ser paralelas entre sí. Las regulaciones de USA y E.U. han servido de modelo para otros países que establecen estándares de emisión en MMNC.

3.1.1 Estados Unidos

Los problemas de ozono que enfrentaron varias ciudades norteamericanas en la década de los sesenta llevaron a la promulgación de regulaciones a las emisiones de vehículos, en especial de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y óxidos de nitrógeno (NOX), precursores del ozono, así como también el monóxido de carbono (CO). La Ley del Aire

³ <https://clec.uk/projects/case-studies>

Limpio (The Clean Air Act) del año 1990 establece estándares de emisión más estrictos para vehículos y camionetas, así como el mejoramiento de la calidad de los combustibles (reducción de la volatilidad de la gasolina y del azufre en el diésel) (US- EPA, 2023).

En la década de los noventa se define el impacto en la calidad del aire de motores fuera de ruta (nonroad engines) y se establecen estándares de emisión para el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y las partículas (ICCT, 2016b). El primer estándar federal (Tier 1) fue adoptado en el año 1994 para motores >37 kW para ser aplicado en el período 1996-2000. En 1998 se introducen estándares para maquinaria < 37 kW y estándares más estrictos Tier 2 y Tier 3 a ser aplicados en el período 2000 a 2008 (Tier 2 del 2001 al 2006 y Tier 3 del 2006 al 2008). A partir del año 2008 y hasta el año 2015 entraron en vigor los estándares Tier 4 intermedio y final, requiriendo la reducción de PM y NOX en un 90%. Para soportar los nuevos estándares de emisión fue necesario el mejoramiento del combustible, en especial, la reducción del azufre en el diésel “fuera de carretera” a 500ppm en el 2007 y a 15ppm a partir del 2010.

Las regulaciones en Estados Unidos surten un proceso de análisis costo/beneficio. En este sentido, en 1998, la US-EPA estimó que, gracias a los estándares de emisión Tier 1, 2 y 3, a 2010 las emisiones de NOX se reducirían a cerca de un millón de toneladas por año; el equivalente a retirar 35 millones de vehículos de pasajeros de las vías. El cumplir con estos estándares de emisión incrementaría en tan sólo un 1% los precios de compra de una maquinaria móvil diésel típica; aunque en algunos casos particulares este incremento podría estar en el orden del 2 al 3 %. Una vez implementados los estándares Tier 4 en el año 2030, se podrían prevenir cerca de 12.000 muertes prematuras por el mejoramiento de la calidad del aire (DieselNet, s.f.).

Actualmente, de acuerdo con reglamentación Estados Unidos permite el ingreso de maquinaria que cumple con el estándar más estricto entre los estándares de emisiones estadounidenses (Tier 4f) (DieselNet, s.f.).

Tier 1

Las normas de emisión Tier 1 para motores diésel no de carretera con una potencia nominal igual o superior a 37 kW se promulgaron en 1994 (ICCT, 2016b). En este caso para la implementación de los estándares de emisión la US-EPA inicialmente propone la regulación para contaminantes como NO_x y humo para motores de encendido por compresión, esto según lo documentado en el Federal Register Vo. 58 No. 93, 1993, debido a que en el momento en que se empezaron a generar las regulaciones la US-EPA creía que la generación de normas de emisión para HC, CO y PM no eran apropiadas en ese momento. Además, las normas para estos contaminantes requerirían más tiempo para la planificación de productos para el desarrollo normativo (Federal Register 5-17-93 Vol. 58 No. 93, 1993). Así mismo, se consideró que la falta de normas para HC, CO y PM no causarían aumentos significativos de las emisiones de estos contaminantes, ya que

muchas de las tecnologías que se aplicarían a los motores para restablecer la potencia o el ahorro de combustible para el control de las emisiones de NO_x limitan cualquier aumento de las emisiones de HC, CO y PM (Federal Register Vo. 58 No. 93, 1993).

El estándar Tier 1 se introdujo gradualmente entre el periodo 1996 y 2000 en función de la clase de potencia del motor (Tabla 3). Los primeros motores regulados fueron los de potencia entre 130 y 560 kW debido a su similitud con los motores de carretera y a la relativa facilidad de transferencia de las normas relacionadas a las tecnologías de control de emisiones de carretera (ICCT, 2016b), además que ya para este caso se contó con la regulación de contaminantes como HC, CO y PM. Las normas Tier 1 para motores de menos de 37 kW se introdujeron posteriormente en 1998 (ICCT, 2016b) dado que las estrategias y tecnologías de control de emisiones no eran tan fáciles de aplicar, por lo que la regulación de estos se llevó a cabo mucho más adelante a fin de dar a los fabricantes tiempo suficiente para adaptar las estrategias de control de emisiones de carretera (Federal Register Vo. 58 No. 93, 1993).

Tabla 3. Año de implementación de Tier 1 a partir de su potencia

Potencia (kW)	Año de implementación
<8	2000
8 ≤ P <19	2000
19 ≤ P < 37	1999
37 ≤ P < 56	1998
56 ≤ P < 75	1998
75 ≤ P < 130	1997
130 ≤ P < 225	1996
225 ≤ P < 450	1996
450 ≤ P < 560	1996
P ≥ 560	2000

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

El control de las emisiones de NO_x era el principal objetivo de los fabricantes de motores para cumplir la normativa Tier 1. Por lo tanto, las reducciones de las emisiones de NO_x podían lograrse mediante una serie de estrategias y tecnologías de control en el cilindro, incluido el retardo de la inyección de combustible y los turbocompresores que incorporan refrigeradores del aire de sobrealimentación (ICCT, 2016b). Así mismo, para compensar el leve incremento en las emisiones de PM y en el ahorro de combustible asociadas a la sincronización retardada de la inyección, la US-EPA previó mejoras en los sistemas de inyección de combustible, como actualizaciones de las bombas de combustible y aumento de la presión de inyección (ICCT, 2016b).

Tabla 4. Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 1

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
<37 Kw	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM
37-56 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA) junto con un limitado uso de turbocompresor (TC) o Turbo de geometría fija (FGT)	NO _x y PM
56-75 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Control del aire (AH)	
	Control del aire (AH)	Aumento en el uso de turbocompresor (TC), Turbo de geometría fija (FGT) y Válvula de descarga (WG)	NO _x y PM
75-130 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Control del aire (AH)	
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con Turbo de geometría fija (FGT) y Válvula de descarga (WG)	NO _x y PM

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
130-560 KW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Limitada inyección electrónica directa (EDI)	
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con Turbo de geometría fija (FGT) y Válvula de descarga (WG)	NO _x y PM
>560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección electrónica directa (EDI)	
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con Turbo de geometría fija (FGT) y Válvula de descarga (WG)	NO _x y PM

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tier 2

A finales de los 90s se estableció la normativa Tier 2 considerando que para este caso se fijó un periodo de transición de siete años a partir de la fecha de aplicación de la norma (ICCT, 2016b). El estándar Tier 2 se caracterizaba por ser más restrictivo que el anterior (Tier 1), pero además, inició un proceso de convergencia entre los estándares federales impuestos por la US-EPA, con los estándares más estrictos en el Estado de California por parte de la CARB (Universidad Autónoma de Zacatecas, 2021).

Los estándares de emisión Tier 2 fueron implementados entre 2001 y 2006 (Tabla 5) basada en la potencia del motor. Así mismo, en esta actualización de los estándares de emisión, el PM se redujo en un 63% para los motores de 130-560 kW y se incluyeron por primera vez estándares para los motores de 37-130 kW (ICCT, 2016b). De igual forma Tier2 introdujo un límite combinado para los hidrocarburos no metanos (NMHC) y los NO_x (NMHC + NO_x) que sustituyó a los límites independientes para los dos tipos de contaminantes (US-EPA, 2008).

Adicionalmente, las emisiones del cárter de los motores atmosféricos se regularon por primera vez en las normas Tier 2 (ICCT, 2016b) y a su vez el rigor de este estándar de emisión también aumentó con la inclusión de requisitos de durabilidad, por los que los fabricantes de motores debían demostrar que el rendimiento de las emisiones se mantenía durante toda la vida útil de un motor.

Tabla 5. Año de implementación de Tier 2 a partir de su potencia

Potencia (kW)	Año de implementación
<8	2005
8 ≤ P < 19	2005
19 ≤ P < 37	2004
37 ≤ P < 56	2004
56 ≤ P < 75	2004
75 ≤ P < 130	2003
130 ≤ P < 225	2003
225 ≤ P < 450	2001
450 ≤ P < 560	2002
P ≥ 560	2006

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

Las aplicaciones tecnológicas relacionadas a Tier 2 incluyen la mejora continua de los sistemas de inyección de combustible, la adopción generalizada de controles electrónicos del motor en motores de mayor tamaño y uso de sistemas de refrigeración de aire de carga aire-aire con motores turboalimentados (ICCT, 2016b). En este periodo en los motores de más de 75 kW, se utilizaron cada vez más bombas de combustible rotativas e inyectores unitarios electrónicos para proporcionar mayores presiones de inyección y un mejor control del proceso de inyección de combustible (ICCT, 2016b).

Tabla 6. Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 2

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
<37 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM
37-56 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA) junto con un limitado uso de turbocompresor (TC) o geometría fija (FG)	NO _x , PM y HC

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
56-75 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
	Control del aire (AH)	Aumento en el uso de turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
75-130 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Aumento en el uso de inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
130-560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Aumento en el uso de inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
>560 Kw	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tier 3

Este estándar de emisión fue introducido progresivamente en el 2006 y 2008 (Tabla 7) siendo este un estándar de emisión mucho más exigente que el estándar de emisión Tier 2 (DieselNet, s.f.), este estándar tenía por reglamentación el rango de potencia entre mayores a 37 y menores a 560 kW, dejando de esta forma sin reglamentar los motores con potencias menores a 19 kW y mayores a 560 kW. Así mismo, a partir de esta especificación de rango, el límite de NMHC+ NO_x se redujo en un 37-39% respecto a los niveles Tier 2 (DieselNet, s.f.).

Por otro lado, es importante mencionar que los valores límites en g/kWh de CO y PM no se modificaron respecto a los niveles Tier 2, debido a que en el momento en que se elaboró la normativa Tier 3, aún no se había desarrollado un ciclo de pruebas transitorias para maquinaria no de carretera y no se habían establecido normas estrictas sobre el azufre de los combustibles diésel para maquinaria no de carretera. Por estas razones, no se incluyeron nuevas normas sobre PM en la normativa Tier 3 (ICCT, 2016b).

Tabla 7. Año de implementación de Tier 3 a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
$37 \leq P < 56$	2008
$56 \leq P < 75$	2008
$75 \leq P < 130$	2007
$130 \leq P < 225$	2006
$225 \leq P < 450$	2006
$450 \leq P < 560$	2006

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

Para la mayoría de los tamaños de motor, las normas de emisiones Tier 3 eran el nivel final para el que los controles en el cilindro fueran suficientes para cumplir los requisitos reglamentarios de control de emisiones. Sin embargo, para la implementación y/o regulación del Tier 3 una de las nuevas tecnologías de control para el NO_x fue la recirculación del gas de exosto (EGR) (Purexhaust, 2017). Otras tecnologías clave son los controles electrónicos avanzados del motor, los turbocompresores de geometría variable (VGT) y los sistemas cada vez más sofisticados de inyección de combustible a alta presión (ICCT, 2016b).

Adicionalmente, los motores no de carretera siguieron variando entre las distintas clases de potencia y, en menor medida, dentro de una misma clase de potencia durante la fase reglamentaria Tier 3. Esta variabilidad se debió tanto a las diferencias en los requisitos de emisiones entre clases de potencia como a los avances en las tecnologías de control de emisiones, que proporcionaron a los fabricantes de motores un cierto grado de

flexibilidad en el diseño para cumplir los límites de emisiones de una clase de potencia determinada (ICCT, 2016b).

Tabla 8. Intensidad tecnológica

Intensidad tecnológica	Diseño del motor
Baja	Inyección mecánica de combustible + turbocompresor de geometría fija + refrigerador de carga del aire
Media	Inyección de combustible de riel común + turbocompresor Válvula de descarga + refrigerador de carga del aire + control electrónico total
Alta	Inyección de combustible de riel común + turbocompresor de geometría variable (VGT) + refrigeración del aire de sobrealimentación + EGR refrigerada + control electrónico total

Fuente. (ICCT, 2016b)

Tabla 9. Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 3

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
<37 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM
37-56 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO
		Inyección mecánica directa (MDI) con una actualización con la aplicación limitada de una unidad de control electrónico (ECU)	
	Control del aire (AH)	Limitada Motor de alimentación natural (NA) con uso de turbocompresor (TC) o geometría fija (FG) o Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Aumento de la aplicación de EGR	NO _x

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
56-75 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección mecánica directa (MDI) y aumento del uso de inyección electrónica directa (EDI)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Aumento en el uso de turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Aumento de la aplicación de EGR	NO _x
75-130 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Limitada implementación de inyección mecánica directa (MDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Uso de inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x
130-560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Aumento en el uso de inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG) y geometría variable (VG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
>560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tier 4 intermedio

En el año 2004, la US-EPA firmó una norma definitiva relacionada a las normas de emisiones Tier 4i, que se introdujo progresivamente en el periodo 2008-2015 (Tabla 10) para la reglamentación de motores de 19-37 kW en 2008, motores de 56 kW y menores a 130 kW en 2012 y para motores de 130 kW a 560 kW en 2011.

Tabla 10. Año de implementación de Tier 4 intermedio a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
19 ≤ P < 37	2008
56 ≤ P < 75	2012
75 ≤ P < 130	2012
130 ≤ P < 225	2011
225 ≤ P < 450	2011
450 ≤ P < 560	2011
P ≥ 560	2011

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Las normas Tier 4i exigen que las emisiones de PM y NO_x se reduzcan, esto a partir del uso de tecnologías avanzadas de postratamiento de gases de escape, y a que la mayoría de las familias de motores Tier 4i utilizan catalizadores de urea-SCR para el control de NO_x, además que algunos motores Tier 4i también utilizan un DPF, mientras que otros cumplen las normas sin filtros de partículas (Purexhaust, 2017). Es de resaltar que para las clases de potencia de 56-130 kW y 130-560 kW, los fabricantes podían optar por normas alternativas o por un porcentaje de introducción progresiva de los motores Tier 4i para el cumplimiento de las normas sobre NO_x (Purexhaust, 2017).

Las normas Tier 4i tratan los motores y el combustible como un sistema en el sentido de reducción del contenido de azufre del combustible diésel junto con el endurecimiento de las normas sobre emisiones de PM. Esta reducción del contenido de azufre en el diésel no

de carretera fomentó la reducción de las emisiones mediante el control directo de las emisiones derivadas del azufre (por ejemplo, dióxido de azufre y PM) y la eliminación de un importante obstáculo para la aplicación de tecnologías avanzadas de control de emisiones (DieselNet, s.f.). Por lo tanto, para permitir las tecnologías de control sensibles al azufre en los motores Tier 4 -como los filtros catalíticos de partículas (CPF) y los absorbedores de NO_x -, la US-EPA ordenó reducir el contenido de azufre en los combustibles diésel no de carretera, de la siguiente manera (DieselNet, s.f.):

- 500 ppm a partir de junio de 2007 para combustibles diésel no de carretera, locomotoras y embarcaciones (NRLM).
- 15 ppm (diésel ultra bajo en azufre) a partir de junio de 2010 para los combustibles no de carretera, y junio de 2012 para los combustibles de locomotoras y embarcaciones.

Tecnología:

Hasta cierto punto, los fabricantes de motores ya disponían de las mismas tecnologías avanzadas de control de emisiones, como EGR, DOC, DPF y SCR. La disponibilidad generalizada de combustibles ultra bajos en azufre (<15 ppm) permitió el uso de estas tecnologías en los diseños de motores; sin embargo, los límites de emisiones no se fijaron a un nivel que forzara una vía tecnológica concreta, lo que permitió que los fabricantes pudieran adoptar estas tecnologías de diversas formas para equilibrar los requisitos de control de emisiones con el rendimiento y el coste del motor (ICCT, 2016b).

Tabla 11. Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 4i

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
<37 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI)	
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
37-56 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Inyección mecánica directa (MDI) con una actualización con la aplicación limitada de una unidad de control electrónico (ECU)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Limitada Motor de alimentación natural (NA) con uso de turbocompresor (TC) o geometría fija (FG) o Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Aumento de la aplicación de EGR	NO _x
56-75 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) y Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Aumento en el uso de turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Aumento de la aplicación de EGR	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF	PM, HC, CO

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
75-130 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Uso de inyección electrónica directa (EDI) con el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría variable (VG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF o SCR	PM, HC, CO, NO _x
130-560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Aumento en el uso de inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora(EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG) y geometría variable (VG) y/ o 2-stage	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF o SCR	PM, HC, CO, NO _x

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
>560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Implementación limitada de Exterior refrigerado de EGR	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Implementación limitada catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF o SCR	PM, HC, CO, NO _x y NH ₃
Implementación limitada de SCR		NO _x	

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tier 4 final

Relacionado a Tier 4 final (Tier 4f) a pesar de que se ha adoptado para todos los tamaños de motores se hace especial énfasis en que esta reglamenta motores de 56-560 kW de forma en que se obliga a generalizar el uso de tecnologías de postratamiento para el control de PM y NO_x a fin de tener una reducción que representara el 80-90% respecto a las normas Tier 4i (ICCT, 2016b). Para los motores de menos de 19 kW, las normas Tier 4f se aplicaron en 2008 (Tabla 12), sin embargo, las normas para estos motores eran menos estrictas que las de los motores de más de 19 kW debido al elevado coste de las tecnologías de postratamiento en relación con el coste de los motores de este tamaño y a la necesidad previa de inyección electrónica de combustible para la regeneración del filtro de partículas diésel (DieselNet, s.f.). Considerando lo anterior, es de resaltar que los límites de PM para los motores de entre 19- 56 kW se endurecieron considerablemente, teniendo respectivamente cambios de los valores límites presentados en la Tabla 12.

Tabla 12. Límites de emisión Tier 4 dependiendo de su rango de potencia

Rango de potencia (Kw)	Valor límite Tier 4i (g/kWh)	Valor límites Tier 4f (g/kW/h)
19 -37	0,30	0,03
36-56	0,40	0,03
560- 900	0,10	0,04
>900	0,10	0,04

Fuente. Autores a partir de (CALAC+, 2021b)

Tabla 13. Año de implementación de Tier 4f a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
<8	2008
$8 \leq P < 19$	2008
$19 \leq P < 37$	2013
$37 \leq P < 56$	2012
$56 \leq P < 75$	2014
$75 \leq P < 130$	2014
$130 \leq P < 225$	2014
$225 \leq P < 450$	2014
$450 \leq P < 560$	2014
$P \geq 560$	2015

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

En general, la diferencia de la Tier 4 intermedia y final radica en que los fabricantes de motores no de carretera han pasado de los sistemas de control de emisiones que incorporan DPF a los sistemas SCR en respuesta a la normativa Tier 4f (ICCT, 2016b).

Tabla 14. Tecnología del motor a partir de su potencia Tier 4f

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
<19 Kw	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Limitada implementación de EGR refrigerada (cEGR) o EGR interior	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Limitada implementación de Catalizador de oxidación diésel (DOC)	PM, HC y CO

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
19,37 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección indirecta (IDI)	NO _x , PM, HC y CO con especial énfasis en los dos primeros contaminantes
		Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Motor de alimentación natural (NA)	NO _x y PM
		Uso de turbocompresor (TC)	PM, HC y CO
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Implementación de EGR refrigerada (cEGR)	NO _x
		EGR interior	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC) + DPF	PM, HC y CO
37-56 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI)	NO _x , PM, HC y CO
		Riel de alta presión (CR)	
	Control del aire (AH)	Uso de turbocompresor (TC) con geometría fija (FG) o Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Implementación de EGR refrigerada (cEGR)	NO _x
		EGR interior	NO _x
Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC) + DPF	PM, HC y CO	
56-75 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) y Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Aumento en el uso de turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Aumento de la aplicación de EGR	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ SCR	PM, HC, CO y NO _x
		Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF + SCR	PM, HC, CO y NO _x

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
75-130 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Uso de inyección electrónica directa (EDI) con el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría variable (VG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ SCR	PM, HC, CO y NO _x
		Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF + SCR	PM, HC, CO y NO _x
130-560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Aumento en el uso de inyección electrónica directa (EDI) con el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC), geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG) y geometría variable (VG) y/ o 2-stage	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Exterior refrigerado de EGR implementado en el 50% de las familias de motor	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ SCR	PM, HC, CO y NO _x
		Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ DPF + SCR	PM, HC, CO y NO _x

Potencia	Componente del sistema	Tecnología del motor	Contaminante regulado
>560 kW	Equipo de inyección de combustible (FIE)	Inyección electrónica directa (EDI) con la unidad electrónica inyectora (EUI) o el Riel común de alta presión (CR)	NO _x , PM, HC y CO
	Control del aire (AH)	Turbocompresor (TC) con geometría fija (FG) y Válvula de descarga (WG)	NO _x , PM y HC
	Recirculación de los gases de escape (EGR)	Implementación limitada de Exterior refrigerado de EGR	NO _x
	Dispositivos de postratamiento (ATD)	Catalizador de oxidación diésel (DOC)	PM, HC y CO
		Catalizador de oxidación diésel (DOC)+ SCR	PM, HC, CO y NO _x

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tier 5

En noviembre del año 2021, la CARB celebró el primer taller público sobre el desarrollo de normas de emisiones Tier 5 que tratarán de reducir aún más las emisiones de NO_x y PM en un 50-90%, dependiendo de la categoría de potencia del motor, en el plazo de 2028-2030 (ICCT, 2016b). Los cambios considerados también incluyen un nuevo ciclo de pruebas de certificación de baja carga (LLAC), la ampliación de la vida útil completa (FUL) y los períodos de garantía de emisiones, los requisitos OBD, y más (ICCT, 2016b). Es de resaltar que la CARB a partir de la implementación de Tier 5 tiene por objetivo reducir las emisiones de NO_x y PM de los nuevos motores fuera de carretera de encendido por compresión (IC) en comparación con lo permitido por las normas actuales de emisiones Tier 4 final. Es probable que esta nueva incluya normas de escape más estrictas para todas las categorías de potencia, incluidas las que actualmente no utilizan postratamiento de gases de escape, como los filtros de partículas diésel (DPF) y la reducción catalítica selectiva. A partir del año de modelo 2020, más de la mitad de todas las nuevas familias de motores de combustión interna todoterreno seguirán estando certificadas en California conforme a las normas de emisiones Tier 4 final sin DPF (CARB, 2021).

Regulación niveles de azufre estándares de emisión US-EPA:

El combustible con alto contenido en azufre impide la introducción de tecnologías avanzadas de control de emisiones y también contribuye a las emisiones de PM (DieselNet, s.f.). Por lo tanto, con el fin de fomentar el uso de combustible diésel con bajo y ultrabajo contenido de azufre en aplicaciones reales (DieselNet, s.f.), la US-EPA estableció que:

Tabla 15. Estándar de emisión y contenido de azufre US-EPA

Estándar de emisión	Contenido de azufre
Tier 1	300 – 5000 ppm
Tier 2 y Tier 3	300 – 4000 ppm
Tier 4	300 – 500 ppm
	7 -15 ppm

Fuente. (ICCT, 2016b)

Es importante tener en cuenta que para los motores anteriores al Tier 2, se supone que el azufre del combustible base es de 3300 ppm, para los motores Tier 2 de potencia inferior o igual a 37 kW se fija en 2000 ppm, tal como se estableció en el Clean Air Nonroad Diesel Rule (US-EPA, 2004) citado por la (US-EPA, 2008), ya que estos motores más pequeños están sujetos a las mismas normas que los motores diésel terrestres, para los motores Tier 2 de más de 37 kW se fija en 350 ppm (US-EPA, 2008), basándose en los datos de certificación más recientes para estos motores. Finalmente, para los motores Tier 3 y posteriores, no se aplica ningún ajuste de azufre; estos motores se certificarán con un nivel de azufre en el combustible igual o inferior a los niveles episódicos de azufre en el combustible previstos cuando se introduzcan estos motores (US-EPA, 2008) relacionado a Tier 4 la regulación se fija en 500 ppm a partir de 2007 para combustibles diésel no de carretera, locomotoras y embarcaciones (NRLM) y 15 ppm (diésel ultra bajo en azufre) a partir de junio del año 2010 para los combustibles no de carretera, y año 2012 para los combustibles de locomotoras y embarcaciones (US-EPA, 2008).

3.1.2 Unión Europea

Las normas europeas sobre emisiones de los motores utilizados en MMNC se han estructurado en niveles gradualmente más estrictos conocidos como Stage (DieselNet, 2021), de acuerdo a la Directiva 97/68/CE y en cinco Directivas modificativas adoptadas entre el periodo 2002 y 2012. Asimismo, las Directivas incluyen normas de emisiones para los motores no de carretera de encendido por chispa (ICCT, 2016b). A partir de la implementación de Stage V, el Reglamento 2016/1628 especifica los requisitos de emisiones para todas las categorías de motores móviles no de carretera de encendido por compresión (diésel) y encendido por chispa, sustituyendo a la Directiva 97/68/CE y sus modificaciones. Es de resaltar que la Unión Europea regula contaminantes como NO_x, PM, HC, CO y Número de Partículas, de igual manera desde el estándar de Stage IIIB se regula las emisiones de amoníaco, sin embargo, la Unión Europea no regula la eficiencia del combustible o emisiones de CO₂; de igual modo la UE solo hasta la implementación de Stage V reguló la emisión para motores con potencias menores a 19 kW y mayores a 560 kW.

Las normas de emisiones europeas definen los límites aceptables para las emisiones de escape de los vehículos nuevos vendidos en los estados miembros de la Unión Europea

(UE). Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la UE que prevén la introducción progresiva de normas cada vez más estrictas (US- EPA, 2023).

Stage I

Las normas de emisión relacionadas a Stage I fueron promulgadas el 16 de Diciembre del año 1997 en la Directiva 97/68/CE por la Comisión Europea (DieselNet, 2021), sin embargo, esta normativa se introdujo progresivamente de 1999 a 2002 (Tabla 16) la cual regulaba equipos cubiertos como perforadoras industriales, compresores, cargadoras de ruedas para la construcción, excavadoras, camiones no de carretera, excavadoras de carretera, carretillas elevadoras, equipos de mantenimiento de carreteras, quitanieves, equipos de apoyo en tierra en aeropuertos, elevadores aéreos y grúas móviles (ICCT, 2016b).

Tabla 16. Año de implementación de Stage I a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
$37 \leq P < 56$	1999
$56 \leq P < 75$	1999
$75 \leq P < 130$	1999
$130 \leq P < 225$	1999
$225 \leq P < 450$	1999
$450 \leq P < 560$	1999

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Los límites de Stage I en general, son paralelos a los de Tier 1 de la US-EPA y también se aplica a motores con potencias comprendidas entre 37 y 560 kW. En este caso, los límites de HC, CO y PM se incluyeron para todas las clases de potencia reguladas, sin embargo, a diferencia de Estados Unidos en esta primera etapa las normas sobre humos nunca se adoptaron en la Unión Europea. Sin embargo, es importante resaltar que para el caso de la Unión Europea parte de la regulación aplica a motores de potencias a 37 kW hasta potencias menores a 560 kW, por lo que este estándar de emisión deja por fuera las potencias de motores menores a 37 kW y mayores a 560 kW.

Tecnología:

Dada la similitud con el estándar de emisión Tier 1 de la US-EPA, cuyo énfasis está el control de emisiones de NO_x a fin de que los fabricantes puedan cumplir con lo estipulado las tecnologías implementadas en esta fase se pueden evidenciar en la Tabla 4.

Stage II

Las normas de Stage II se promulgaron junto con las de Stage I en la Directiva 97/68/CE, sin embargo, el Parlamento Europeo adoptó la Directiva 2002/88/CE, por la que se

modifica la Directiva 97/68/CE sobre motores no de carretera añadiendo normas de emisión para los pequeños motores de encendido por chispa de menos de 19 kW. A su vez, la Directiva también amplió la aplicabilidad de las normas de Stage II a los motores de velocidad constante (ICCT, 2016b), que aplican a maquinaria como: maquinarias de construcción, como cargadores sobre neumáticos, bulldozers, tractores de oruga, cargadores sobre orugas, cargadoras tipo cambián, camiones todoterreno, excavadoras hidráulicas, etc. (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2001).

Considerando lo anterior, las normas se establecieron para motores de un rango de 18- 560 kW, siendo de esta forma que estos estándares se introdujeron entre los años 2002 a 2004 (Tabla 17) teniendo presente la función de la potencia del motor, para la regulación de la emisión de PM y NO_x a fin de reducirlo en un 50-60% y un 30% respectivamente, en relación con los niveles de Stage I (DieselNet, 2021). En este caso a diferencia de la US-EPA con el Tier 2 aquí los contaminantes de NMHC y NO_x se mantienen regulados de forma independiente.

Tabla 17. Año de implementación de Stage II a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
19 ≤ P < 37	2001
37 ≤ P < 56	2004
56 ≤ P < 75	2004
75 ≤ P < 130	2003
130 ≤ P < 225	2002
225 ≤ P < 450	2002
450 ≤ P < 560	2002

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

Relacionado a la implementación tecnológica como respuesta a este estándar de emisión se presente al igual que en Tier 2 (Tabla 6), la mejora de los sistemas de inyección de combustible, la adopción generalizada de controles electrónicos del motor en motores de mayor tamaño y uso de sistemas de refrigeración del aire de sobrealimentación aire-aire con motores turboalimentados (DieselNet, 2021).

Stage IIIA

Las normas de la Stage IIIA se promulgaron en 2004 mediante la Directiva 2004/26/CE y se introdujeron gradualmente entre 2006 y 2007 (Tabla 18). Las normas son equivalentes a las normas Tier 3 para motores de 19-560 kW, sin embargo, al igual que el estándar de emisión de Stage IIIA no se regulan los motores con una potencia menor a 19 kW y mayores a 560 kW.

Por otro lado, se introdujo un programa de flexibilidad para los fabricantes de motores que permite la comercialización de un número limitado de motores certificados conforme a los límites de emisiones de la fase anterior durante el período comprendido entre dos fases reglamentarias sucesivas (ICCT, 2016b). El número de motores que los fabricantes pueden comercializar utilizando esta disposición es un número fijo especificado en la normativa o un porcentaje de las ventas medias anuales de cinco años del fabricante. El programa de flexibilidad es aplicable a todas las transiciones de Stage II a la Stage IV (DieselNet, 2021).

Tabla 18. Año de implementación de Stage IIIA a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
$19 \leq P < 37$	2007
$37 \leq P < 56$	2008
$56 \leq P < 75$	2008
$75 \leq P < 130$	2007
$130 \leq P < 225$	2006
$225 \leq P < 450$	2006
$450 \leq P < 560$	2006

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

En cuanto a la tecnología implementada para la mayoría de los tamaños de motor, los controles relacionados al Stage IIIA eran suficientes para cumplir con lo requerido. Sin embargo, como se exhibe en la Tabla 9 se incorporó a los diseños de motores diésel no de carretera la EGR.

Stage IIIB

Las normas de la Stage IIIB se promulgaron a través de la misma directiva 2004/26/CE (Parlamento Europeo y del consejo, 2004) que las normas de Stage IIIA, las normas se introdujeron gradualmente entre 2011 y 2013 (Tabla 19), por lo tanto, a partir de estos estándares se regulan los motores de entre 37 y 560 kW y reflejan en gran medida las normas estadounidenses Tier 4i, con la excepción de la regulación de los límites de emisiones de partículas para determinadas clases de potencia (ICCT, 2016b). Por otro lado, los motores de velocidad constante quedaron exentos de la normativa, al igual que los motores de menos de 37 kW y mayores a 560 kW, igualmente se enfatiza que Stage IIIB impone un límite a las emisiones de amoníaco, que no debían superar las 25 ppm a lo largo del ciclo de pruebas de certificación (DieselNet, 2021).

Tabla 19. Año de implementación de Stage IIIB a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
$37 \leq P < 56$	2013
$56 \leq P < 75$	2012

Potencia (KW)	Año de implementación
$75 \leq P < 130$	2012
$130 \leq P < 225$	2011
$225 \leq P < 450$	2011
$450 \leq P < 560$	2011

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

Relacionado a la tecnología implementada, respecto a los estándares límites de PM de 0,025 g/kWh, los cuales representan una reducción de las emisiones de aproximadamente el 90% en cuanto a Stage II se hace necesario la inclusión en los equipos con filtros de partículas (DieselNet, 2021). Es de resaltar que, aunque no se establecieron nuevas normas sobre PM para esta clase de potencia, los límites de PM para los motores de entre 19 y 56 kW, así como de más de 560 kW en Estados Unidos y de entre 37 y 56 kW en la Unión Europea, se endurecieron considerablemente (ICCT, 2016b).

Stage IV

Las normas de Stage IV se adoptaron en 2005 mediante la Directiva 2004/26/CE, pero su aplicación se dio en el 2014 (Tabla 20), en este caso presentan gran similitud en gran medida con las normas Tier 4f de la US-EPA para las clases de potencia comúnmente reguladas, con la excepción de los motores de entre 19 y 37 kW, que siguen estando regulados al nivel de Stage IIIA, adicionalmente, la regulación se estableció sólo para los motores de entre 56 y 560 kW, los motores de menos de 19 kW y de más de 560 kW siguen sin estar regulados. Relacionado a las normas Stage IV estas endurecen el límite de emisiones de amoníaco a 10 ppm (TransporPolicy, 2018).

Tabla 20. Año de implementación de Stage IV a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
$56 \leq P < 75$	2015
$75 \leq P < 130$	2015
$130 \leq P < 225$	2014
$225 \leq P < 450$	2014
$450 \leq P < 560$	2014

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

La tecnología implementada para el estándar de emisión de Stage IV es similar a la implementada en el estándar de Tier 4f (Tabla 14), sin embargo, para este caso los fabricantes de motores no de carretera han adoptado diversos paquetes tecnológicos para cumplir las normas de emisiones, los avances en los sistemas SCR han llevado a la adopción generalizada de esta tecnología para los motores de entre 56 y 560 kW, que se

enfrentan a los requisitos de control de NO_x más estrictos (ICCT, 2016b). La EGR refrigerada se utiliza junto con la SCR en algunos diseños de motor, además que los controles en el cilindro y DOC suelen ser suficientes para cumplir los requisitos de emisiones de PM, aunque también se incluyen DPF en algunos diseños de motor, especialmente en motores más grandes o en motores diseñados para aplicaciones en las que es posible la regeneración pasiva del filtro, como los tractores agrícolas (ICCT, 2016b).

Las normas de emisiones para motores de entre 19 y 37 kW se mantienen en los niveles de la fase IIIA en la Unión Europea, y pueden cumplirse sin necesidad de tecnologías avanzadas de postratamiento (ICCT, 2016b).

Stage V

Los estándares de emisión para Stage V por primera vez regula los límites relacionados al número de partículas (PN) para los motores no de carretera, también se incluye por primera vez normas de emisiones para motores de menos de 19 kW y de más de 560 kW, por lo que los límites de partículas de Stage V para motores de entre 19 y 560 kW. A su vez, este estándar de emisión entró en vigor en el periodo de 2018 a 2019 para todas las potencias de los motores (Tabla 21).

Tabla 21. Año de implementación de Stage V a partir de su potencia

Potencia (KW)	Año de implementación
<8	2018
8 ≤ P <19	2018
19 ≤ P < 37	2018
37 ≤ P < 56	2018
56 ≤ P < 75	2019
75 ≤ P < 130	2019
130 ≤ P < 225	2018
225 ≤ P < 450	2018
450 ≤ P < 560	2018
P ≥ 560	2018

Fuente. Autores a partir de (ICCT, 2016b)

Tecnología:

Con relación a la respuesta tecnológica clave al programa de Stage V se destaca la aplicación casi universal de filtros de partículas para cumplir las normas más estrictas sobre PM y los nuevos PN para los motores de entre 19 y 560 kW. Para los motores de entre 56 y 560 kW, se espera que los sistemas de control de emisiones.

Regulación niveles de azufre estándares de emisión Unión Europea:

A fin de introducir tecnologías más avanzadas de control de emisiones la Unión Europea estableció que:

Tabla 22. Estándar de emisión y contenido de azufre UE

Estándar de emisión	Contenido de azufre
Stage I	1000 – 2000 ppm
Stage II	1000 – 2000 ppm
Stage IIIA	<300 ppm
Stages IIIB y IV	<10ppm

Fuente. (ICCT, 2016b)

3.1.3 Comparación regulación de US-EPA y la Unión Europea

Contemplando las similitudes que presentan los estándares de emisión Tier de la US-EPA y Stage de la Unión Europea, se comparan los valores límites por cada contaminante regulado dependiendo del estándar de emisión.

Tier 1 Y Stage I

Estos son los primeros estándares de emisión lanzados por la US-EPA y por la UE a fin de regular las emisiones de los motores dependiendo de la potencia del motor. Para el caso de Estados Unidos el Tier 1 como se mencionó anteriormente entró en vigor en el año 1996, inicialmente para potencias de motores de 130 – 560 kW; de resto la introducción de estos estándares se dio hasta el año 2000 para las demás potencias de motores. La UE implementó por primera vez el estándar de Stage I en el año 1999 aplicable para potencias entre 37 y 560 kW.

A continuación, se muestra la comparación de los valores límites por contaminante:

Tabla 23. Comparación de valores límites Tier 1 y Stage I

Potencia (kW)	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
<8	8	-	10,5	-	-	-	-	-
8 ≤ P < 19	6,6	-	9,5	-	-	-	-	-
19 ≤ P < 37	5,5	-	9,5	-	-	-	-	-
37 ≤ P < 56	-	6,5	-	-	-	1,3	9,2	9,2
56 ≤ P < 75	-	6,5	-	-	-	1,3	9,2	9,2
75 ≤ P < 130	-	5,0	-	-	-	1,3	9,2	9,2

Potencia (kW)	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
130 ≤ P < 225	11,4	5,0	-	-	1,3	1,3	9,2	9,2
225 ≤ P < 450	11,4	5,0	-	-	1,3	1,3	9,2	9,2
450 ≤ P < 560	11,4	5,0	-	-	1,3	1,3	9,2	9,2
P ≥ 560	11,4	-	-	-	1,3	-	9,2	-

Fuente. Valores adoptados de (ANMOPYC, 2013) y (CALAC+, 2021b)

Como se puede apreciar en la Tabla 23 para el caso de CO la UE tiende a tener valores más exigentes a comparación de los valores presentados por la US-EPA, en cuanto a los NMHC y NO_x la US-EPA y la UE presentan los mismos valores restrictivos. La US-EPA regula la combinación de NMHC + NO_x, en tanto que la UE no.

Tier 2 y Stage II

En el caso de Estados Unidos el Tier 2 entró en vigor en el año 2001 inicialmente para potencias de motores de 225 a 450 kW, de resto la introducción de estos estándares se dio hasta el 2007 para las demás potencias de motores. En la UE se implementó por primera vez el estándar de Stage II en el año 2001 para potencias de 19 – 37 kW, mientras que, para el resto de las potencias se introdujo este estándar a partir del 2007.

A continuación, se muestra la comparación de los valores límites por contaminante:

Tabla 24. Comparación de valores límites Tier 2 y Stage II

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
<8	8,0	-	7,5	-	-	-	-	-
8 ≤ P < 19	6,6	-	7,5	-	-	-	-	-
19 ≤ P < 37	5,5	5,5	7,5	-	-	1,5	-	8,0
37 ≤ P < 56	5,0	5,0	7,5	-	-	1,3	9,2	7,0
56 ≤ P < 75	5,0	5,0	7,5	-	-	1,3	9,2	7,0
75 ≤ P < 130	5,0	5,0	6,6	-	-	1,0	9,2	6,0
130 ≤ P < 225	3,5	3,5	6,6	-	-	1,0	9,2	6,0

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
225 ≤ P < 450	3,5	3,5	6,6	-	-	1,0	9,2	6,0
450 ≤ P < 560	3,5	3,5	6,4	-	-	1,0	9,2	6,0
P ≥ 560	3,5	-	6,4	-	-	-	9,2	-

Fuente. Valores adoptados de (ANMOPYC, 2013) y (CALAC+, 2021b)

Como se puede apreciar en la Tabla 24 para el caso de NO_x la UE tiende a tener valores más exigentes en comparación de los valores presentados por la US-EPA; en cuanto al CO, US-EPA y la UE presentan los mismos valores restrictivos, a diferencia del Stage I que presentaba un valor más restrictivo.

Tier 3 Y Stage IIIA

En el caso de Estados Unidos el Tier 3 entró en vigor en 2006 inicialmente para potencias de motores de 130 kW y potencias menores de 560 kW, de resto la introducción de estos estándares se dio hasta el año 2011 para las demás potencias de motores. Para la UE se implementó por primera vez el estándar de Stage IIIA en el año 2006 para potencias de 130 y menores a 560 kW, mientras que para parte del resto de potencias se introdujo este estándar hasta el año 2017 (19 a 37 kW).

A continuación, se muestra la comparación de los valores límites por contaminante:

Tabla 25. Comparación de valores límites Tier 3 y Stage IIIA

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
19 ≤ P < 37	-	5,5	-	-	-	7,5	-	7,5
37 ≤ P < 56	5,0	5,0	4,7	-	-	4,7	-	4,7
56 ≤ P < 75	5,0	5,0	4,7	-	-	4,7	-	4,7
75 ≤ P < 130	5,0	5,0	4,0	-	-	4,0	-	4,0
130 ≤ P < 225	3,5	3,5	4,0	-	-	4,0	-	4,0
225 ≤ P < 450	3,5	3,5	4,0	-	-	4,0	-	4,0
450 ≤ P < 560	3,5	3,5	-	-	0.4	4,0	3,5	4,0

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
P ≥ 560	3,5	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. Valores adoptados de (ANMOPYC, 2013) y (CALAC+, 2021b)

Como se puede apreciar en la Tabla 25 para el caso de CO la US-EPA y la UE cuentan con los mismos valores de regulación para los distintos motores, mientras que también presentan los valores para NMHC + NO_x de la US-EPA con los contaminantes por separados NMHC y NO_x para la UE.

Tier 4i Y Stage IIIB

En Estados Unidos, el Tier 4i entró en vigor en 2008 para potencias de 19-37 kW, mientras que para el año 2011 la introducción se dio para potencias de motores de 130 y menores a 560 kW, de resto la introducción de estos estándares se dio hasta el año 2014 para el resto de las potencias. En la UE se implementó por primera vez el estándar de Stage IIIB en el año 2011 para potencias de 19 – 37 kW, mientras que para el resto de las potencias se introdujo este estándar hasta el año 2017 (potencias en un rango de 37 – 56 kW).

A continuación, se muestra la comparación de los valores límites por contaminante:

Tabla 26. Comparación de valores límites Tier 4i y Stage IIIB

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
<8	8,0	-	7,5	-	-	-	-	-
8 ≤ P < 19	6,6	-	7,5	-	-	-	-	-
19 ≤ P < 37	5,5	-	7,5	-	-	-	-	-
37 ≤ P < 56	5,0	5,0	4,7	-	-	4,7	-	4,7
56 ≤ P < 75	5,0	5,0	4,7	-	-	0,19	-	3,3
75 ≤ P < 130	5,0	5,0	4,0	-	-	0,19	-	3,3
130 ≤ P < 225	3,5	3,5	4,0	-	-	0,19	-	2,0
225 ≤ P < 450	3,5	3,5	4,0	-	-	0,19	4,0	2,0
450 ≤ P < 560	3,5	3,5	-	-	-	0,19	-	2,0
P ≥ 560	3,5	-	-	-	0,40	-	3,5	-

Fuente. Valores adoptados de (ANMOPYC, 2013) y (CALAC+, 2021b)

Como se puede apreciar en la Tabla 26 para el caso de CO la US-EPA y la UE cuentan con los mismos valores de regulación para los distintos motores, mientras que también presentan los valores para NMHC + NO_x de la US-EPA con los contaminantes por separados NMHC y NO_x para la UE.

Tier 4f Y Stage IV

En Estados Unidos, el Tier 4f entró en vigor en el año 2008 inicialmente para potencias de motores de 8 a 19 kW, mientras que para las potencias entre el rango de 37- 56 kW la introducción se dio para el año 2012; de resto la introducción de estos estándares se dio hasta el 2014 para parte del resto de potencias a excepción de las potencias mayores a 560 kW en donde la introducción se dio en el año 2015. En la UE se implementó por primera vez el estándar de Stage IV en el año 2014 con una diferencia de 6 años para potencias de 130 y menores a 560 kW, mientras que para el resto de las potencias (56-130kW) los estándares de emisión se introdujeron hasta el año 2015.

A continuación, se muestra la comparación de los valores límites por contaminante:

Tabla 27. Comparación de valores límites Tier 4f y Stage IV

Potencia	CO (g/kWh)		NMHC + NO _x (g/kWh)		NMHC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	
	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE	EPA	UE
<8	8,0	-	7,5	-	-	-	-	-
8 ≤ P < 19	6,6	-	7,5	-	-	-	-	-
19 ≤ P < 37	5,5	-	4,7	-	-	-	-	-
37 ≤ P < 56	5,0	-	4,7	-	-	-	-	-
56 ≤ P < 75	5,0	5,0	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4
75 ≤ P < 130	5,0	5,0	-	-	0,19	0,19	4,0	0,4
130 ≤ P < 225	3,5	3,5	-	-	0,19	0,19	0,4	0,4
225 ≤ P < 450	3,5	3,5	-	-	1,3	0,19	0,4	0,4
450 ≤ P < 560	3,5	3,5	-	-	1,3	0,19	3,5	0,4
P ≥ 560	3,5	-	-	-	1,3	-	3,5	-

Fuente. Valores adoptados de (ANMOPYC, 2013) y (CALAC+, 2021b)

Como se puede apreciar en la Tabla 27 los valores límites establecidos para cada uno de los estándares son similares entre los rangos de potencias entre la US-EPA y la UEA para cada uno de los contaminantes comparados.

Stage V

A diferencia de Estados Unidos, la UE implementó por primera vez el estándar de Stage V en el 2018 para la mayoría de las potencias, mientras que para las potencias en rangos de 56 a 130 kW estas entraron en vigor en el año 2019.

A continuación, se muestran los valores límites por contaminante presentados en el estándar de emisión Stage V:

Tabla 28. Valores límites Stage V

Potencia	CO (g/kWh)	NMHC + NO _x (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	NP (#/kWh)
<8	8,0	7,5	-	-	0,40	-
8 ≤ P < 19	6,6	7,5	-	-	0,40	-
19 ≤ P < 37	5,0	4,7	-	-	0,015	1x10 ¹²
37 ≤ P < 56	5,0	4,7	-	-	0,015	1x10 ¹²
56 ≤ P < 75	5,0	-	0,19	0,4	0,015	1x10 ¹²
75 ≤ P < 130	5,0	-	0,19	0,4	0,015	1x10 ¹²
130 ≤ P < 225	3,5	-	0,19	0,4	0,015	1x10 ¹²
225 ≤ P < 450	3,5	-	0,19	0,4	0,015	1x10 ¹²
450 ≤ P < 560	3,5	-	0,19	0,4	0,015	1x10 ¹²
P ≥ 560	3,5	-	0,19	3,5	0,015	-

Fuente. Valores adoptados de (CALAC+, 2021b)

3.2 Experiencias internacionales y nacionales

A fin de poder evidenciar los distintos escenarios de implementación y las estrategias para la reducción de emisiones de la MMNC con mejor tecnología a nivel internacional y nivel local, se llevó a cabo la revisión del caso de Noruega, declaración de C40 en el contexto internacional y a nivel local una revisión de los antecedentes a nivel nacional y a escala local para la ciudad de Bogotá.

3.2.1 El caso de Oslo, Noruega

El caso mencionado de Noruega merece una mayor atención, debido a que a nivel mundial por la reducción de emisiones por MMNC, ya que uno de los objetivos de la ciudad de Oslo es que las actividades de edificación y construcción en Oslo sean de emisión cero en 2030. Por lo tanto, partir de 2025 los trabajos de edificación y construcción realizados por encargo para la ciudad de Oslo serán de emisión cero (KlimaOslo, 2022b).

Por lo tanto, respecto lo anterior para poder lograr este objetivo Noruega ha implementado diversas estrategias para que los trabajos de edificación y construcción sean de cero emisiones, por lo que desde el año 2017 Oslo publicó una nueva estrategia de contratación “Oslo Municipality’s procurement strategy” (Global Compact Cities Programme, 2017) (Figura 2) que exige que todos los proyectos municipales utilicen, en la medida de lo posible, tecnología eléctrica para todos los vehículos y maquinaria de construcción (lo que se conoce como construcción de emisiones cero) (C40, 2020b), por lo que la estrategia de contratación también debe servir como base para que la contratación municipal contribuya a hacer de Oslo una ciudad más verde y creativa que dé cabida a todos (Global Compact Cities Programme, 2017).

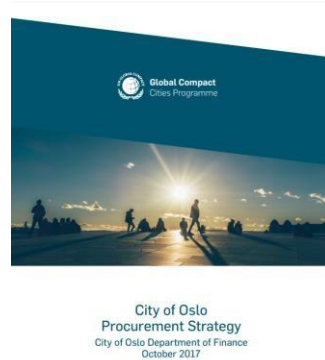


Figura 2. Oslo Municipality’s procurement strategy”

Fuente. (Global Compact Cities Programme, 2017)

Al año siguiente, los gobiernos municipal y nacional publicaron una declaración conjunta en la que anunciaban su intención de exigir biocombustibles o tecnología eléctrica para todos los proyectos futuros (C40, 2020b). Respecto a lo anterior para el año 2017 se estableció que es obligatorio que los proyectos de construcción de la ciudad no utilicen combustibles fósiles, logrando que la mayor parte de la maquinaria de construcción funcione con biocombustible sostenible, contribuyendo así a una rápida reducción de las emisiones, destacando de esta forma que la calefacción urbana y la electricidad son una buena alternativa al uso de energía fósil en la fase de construcción (KlimaOslo, 2019a). A su vez los requisitos de estas obras que no utilizan fuentes de energía fósiles es implementar maquinaria que hace uso del biocombustible (HVO100), siendo esto el inicio para la implementación y uso de máquinas con cero emisiones (KlimaOslo, 2019a).

En el año 2019, se empezaron a implementar diferentes tipos de medidas para apoyar la entrada de maquinaria eléctrica. Una de las principales estrategias fue impulsar el desarrollo del mercado a través de incentivos desde la contratación pública. Otras acciones complementarias han incluido planes de apoyo como incentivos para invertir en vehículos pesados y maquinaria cero emisiones, el compromiso con la construcción de la infraestructura eléctrica de recarga necesaria para dar soporte a la maquinaria eléctrica,

cooperación mediante una relación más cercana con la industria y la financiación para proyectos piloto (Nasta, 2019).

Noruega organizó un trabajo conjunto entre clientes, constructores, ayuntamientos, organizaciones de investigación, socios y organizaciones de interés, para promover el desarrollo y fabricación de maquinaria de construcción cero emisiones. En particular se ha trabajado con la fabricante noruega de maquinaria de construcción Nasta, a través de iniciativas públicas, financiación y programas de apoyo para el desarrollo de nuevas excavadoras sin emisiones (Nasta, 2019). En septiembre del año 2019, comenzó a funcionar la primera obra de construcción con maquinaria cero emisiones, utilizando únicamente maquinaria eléctrica, este proyecto de construcción de cero emisiones que hallevado a cabo Noruega fue la puesta en marcha de dos proyectos para el mejoramiento de las calles en “Olav Vs gate” y “Eastern Klingenberggate”; este sería el primer proyecto sin emisiones en el año 2019 con el uso de tres excavadoras eléctricas y cargadores sobre ruedas en la obra Olav Vs Gate (Figura 3) que tenía como fin transformar una zona congestionada en una zona peatonal, siendo este un proyecto ambicioso en vista de que todos los procesos de construcción en el sitio deben ser de cero emisiones evitando de esta forma la emisión de CO₂, partículas y NO_x en el sitio (KlimaOslo, 2019a).



Figura 3. Maquinaria eléctrica implementada en el Proyecto piloto
Fuente. (KlimaOslo, 2019b)

Es de resaltar que este proyecto empezó como un encargo específico y un reto exigente del ayuntamiento para llevar a cabo un proyecto piloto sin emisiones, en vista de que la tecnología de emisiones cero para el 2019 estaba lentamente introduciéndose en el mercado de construcción (KlimaOslo, 2019a).

Para esta obra se sustituyeron los tradicionales motores diésel por equipos eléctricos (Figura 4), lo que significó que todas las máquinas utilizadas en el recinto cerrado eran libres de emisiones, es decir que funcionaban con motores eléctricos por cable, baterías, pilas de combustible, o una combinación de ambos (KlimaOslo, 2019a).



Figura 4. Excavadoras y cargadores eléctricos usados en la obra
Fuente. (KlimaOslo, 2019b)

El proyecto piloto de Olav vs. Gate representó fue el paso inicial para la implementación de requisitos para las obras con cero emisiones en Oslo, dado que en su momento la implementación de este marcó el ritmo del desarrollo tecnológico (KlimaOslo, 2019a), teniendo en cuenta que para el momento del desarrollo de la obra las máquinas de construcción eléctricas no estaban disponibles en el mercado, además que la demanda de excavadoras eléctricas era demasiado baja para que los proveedores pudieran aumentar la producción, lo que en consecuencia su adquisición resulta cara para los contratistas ya que el mercados de las excavadoras eléctricas era inmaduro (KlimaOslo, 2019b).

A partir de la experiencia con el piloto desarrollado en el año 2019, el ayuntamiento de Oslo con su propuesta de nueva Estrategia Climática, ha fijado el objetivo de que la construcción municipal sea de emisiones cero para el año 2025. Esto implica que no se adjudicarán obras a los contratistas que no utilicen máquinas eléctricas (KlimaOslo, 2019b), esto se puede ver representado en el documento “Climate and environmental requirements for the City of Oslo’s construction sites Version 1.0” (The Agency for Improvement and Development, 2019) (Figura 5) el cual, contiene requisitos climáticos y medioambientales estándar para las obras de construcción de la ciudad de Oslo como parte de la ambición de la ciudad de tener obras libres de combustibles fósiles y, con el tiempo, con cero emisiones; las emisiones de las obras forman parte del impacto medioambiental total de los contratos de construcción (The Agency for Improvement and Development, 2019).

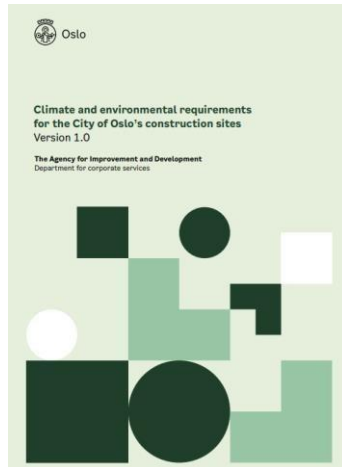


Figura 5. Climate and environmental requirements for the City of Oslo's construction sites Version 1.0

Fuente. (The Agency for Improvement and Development, 2019)

En el documento "Climate and environmental requirements for the City of Oslo's construction sites Version 1.0" (The Agency for Improvement and Development, 2019) se establece los requerimientos específicos como la calefacción y el secado la cual debe llevarse cabo con cero emisiones, por ejemplo, utilizando electricidad, calefacción urbana u otra tecnología de emisiones cero.

Asimismo, se dan las especificaciones de competencia en cuanto a los criterios de adjudicación relacionados al Medio Ambiente, en este caso el Proveedor con la mayor puntuación agregada en los subcriterios para los criterios de adjudicación de Medio Ambiente recibe 10 puntos, mientras que a las demás ofertas se les otorga una puntuación inferior que refleja las diferencias relevantes de la oferta (The Agency for Improvement and Development, 2019). En este caso se especifican los criterios de adjudicación de contratos públicos por un valor estimado superior a 5 millones NOK sin IVA o también a 5 millones NOK sin IVA (Tabla 29).

Tabla 29. Criterios de adjudicación de contratos públicos

Ponderación recomendada	Criterio	Requisitos de documentación
50%	Maquinaria con cero emisiones: El proveedor recibe puntos por la proporción de máquinas con cero emisiones y/o basadas en biogás que se en la ejecución del contrato.	El Proveedor adjuntará la versión completa de la lista de máquinas y vehículos

Ponderación recomendada	Criterio	Requisitos de documentación
30%	<p>Transporte de materiales a granel:</p> <p>Se concederán puntos al proveedor por la proporción de vehículos de emisiones cero y/o biogases utilizados para el transporte de materiales a granel hasta o desde el edificio o a la obra de construcción.</p> <p>El Proveedor también recibe puntos por la reducción del transporte de materiales a granel, en función del número de kilómetros y el número de toneladas de materiales.</p>	<p>El Proveedor adjuntará la versión completa de la lista de máquinas y vehículos</p>
20%	<p>Otros transportes y otras medidas:</p> <p>El Proveedor recibe puntos por su capacidad para reducir el uso de vehículos fósiles para el transporte de materiales residuos, equipos, personal, etc.</p> <p>El Proveedor describirá otras medidas que para reducir la contaminación local y las emisiones de gases de efecto invernadero durante la ejecución del contrato. Los puntos se concederán en función de la reducción estimada de las emisiones.</p>	<p>Descripción del proveedor. La descripción tendrá como máximo 3.500 caracteres</p>

Fuente. (The Agency for Improvement and Development, 2019)

En este documento también se evidencian los requisitos contractuales: Medio ambiente los cuales deben ser incluidos en cada uno de los contratos relevantes durante el periodo contractual (Tabla 30).

Tabla 30. Requisitos contractuales

Requisitos contractuales	Descripción
Maquinaria y vehículos de construcción sin combustibles fósiles	<p>Todas las máquinas utilizadas en el edificio/la obra deberá ser libre de fósiles. Todas las máquinas utilizadas deberán tener la homologación CE y estar inscritas en el registro de máquinas.</p> <p>Todos los vehículos utilizados para el transporte de materiales a granel y residuos desde el edificio/la obra deberá cumplir como mínimo la norma de emisiones Euro 6/VI y utilizar combustible no fósil.</p>
Requisitos para cero emisiones en las obras de construcción de aquí a 2025	<p>El Proveedor tomará medidas activas para hacer el máximo uso de soluciones de emisiones cero en la obra desde el inicio de la construcción hasta la puesta en marcha. Todas las máquinas y equipos utilizados en la obra deberán ser de cero emisiones para 2025. La transición a máquinas y equipos de emisiones cero deber ser incluido en el precio del encargo.</p>
Requisitos relacionados a vehículos de emisiones cero y de biogás para el transporte de materiales a granel para 2025	<p>El Proveedor tomará medidas activas para reducir las emisiones procedentes del transporte de materiales a granel. Para 2025, todos los vehículos para el transporte de materiales a granel a/desde las obras de edificación/construcción se llevarán a cabo utilizando vehículos de cero emisiones (es decir, eléctricos de batería o de hidrógeno) o vehículos de biogás que, como mínimo, cumplan los requisitos de Euro 6/VI. La transición a vehículos con las tecnologías de combustible mencionadas se incluirá en el precio del encargo.</p>
Información general para máquinas y vehículos	<p>El Proveedor está obligado a utilizar las tecnologías de máquinas y vehículos y/o los tipos de combustible especificados en la licitación. Los nuevos vehículos o tipos de combustible que se introduzcan durante el periodo contractual deberán ser, como mínimo, igual de ecológicos y respetuosos con el clima que los especificados en el contrato original.</p>

Requisitos contractuales	Descripción
Combustible	El Proveedor deberá poder presentar en todo momento la documentación relativa a los tipos de combustible han sido adquiridos y utilizados durante el periodo contractual. Para este contrato, el Proveedor se ha comprometido a utilizar combustible que cumpla los criterios de sostenibilidad de la UE en materia de biocombustible.
Funcionamiento del ralenti	El funcionamiento del ralenti no está permitido en las direcciones del Director. Esto se aplica a todas las máquinas y vehículos.
Disposiciones relativas a las exenciones	El Mandante podrá conceder exenciones de todas o parte de las disposiciones medioambientales si el Proveedor puede documentar que no es posible en la práctica cumplir con los requisitos. La exención se emitirá por escrito y describirá, por ejemplo, el tiempo y el alcance de la exención.

Fuente. Autores a partir de (The Agency for Improvement and Development, 2019)

A partir de las bases generadas en Noruega progresivamente se ha incrementado el número de obras con maquinaria pesada cero emisiones. Para el caso de Oslo, 30 obras cuentan con esta característica, y, en las obras del municipio se utilizan más de 20 tipos diferentes de maquinaria y vehículos de construcción con cero emisiones (KlimaOslo, 2022a). Los resultados son alentadores, incluso después de dos años. Se está produciendo una rápida reestructuración de las obras de Oslo en las que el ayuntamiento es el cliente. El informe de Sintef “Impact assessment of zero emission building processes in Oslo” (SINTEF, 2022) muestra que la tendencia hacia la construcción sin emisiones avanza a buen ritmo, aunque persisten algunos retos (KlimaOslo, 2022a).

Cuando se trata de proyectos de edificación y construcción del propio municipio, Oslo ha premiado a los proveedores que pueden ofrecer un proceso de construcción sin emisiones (KlimaOslo, 2022c). En este caso, los contratistas compiten para ganar a distintos niveles cuando se anuncia un posible contrato, por lo que se les evalúa por el nivel de precios, la calidad de su trabajo y el impacto medioambiental (KlimaOslo, 2022c). El aspecto ambiental es cada vez más importante desde octubre del año 2019, teniendo este un porcentaje que representa el 30% de la decisión, mientras que la importancia del precio ha disminuido, lo que facilita que los contratistas destaquen las inversiones y los riesgos que están asumiendo para reducir las emisiones, sin disminuir las posibilidades de ganar el contrato (KlimaOslo, 2022c).

Adicionalmente, Nasta modernizó sus máquinas de construcción sustituyendo los motores diésel por la cadena cinemática eléctrica de ABB. Esto trajo ventajas importantes en cuanto al funcionamiento sin emisiones y la reducción del ruido. Debido al éxito del proyecto piloto, un objetivo de la municipalidad es que las obras públicas se hagan con maquinaria eléctrica y que en la próxima década se logre el objetivo de tener construcciones cero emisiones. Para esto se propone desarrollar una estrategia que combina mejores prácticas, incentivos en las contrataciones públicas y modificaciones a los permisos de construcción. Esta estrategia se apoya en el poder adquisitivo que tiene la municipalidad en los proyectos de construcción de contratación pública (Bernard, 2022)

A fin de seguir avanzando en el proceso de electrificación en nombre de la Agencia del Clima de Oslo, Sintef ha trazado un mapa de los resultados de los nuevos requisitos climáticos en el documento “Impact assessment of zero emission building processes in Oslo” (SINTEF, 2022) (Figura 6). El estudio demuestra que este tipo de requisitos pueden ser una herramienta climática muy poderosa y da una luz frente a los avances y retos relacionados a este recambio (KlimaOslo, 2022c), ya que tiene en cuenta aspectos como las consecuencias de una transición gradual en la implementación de cero emisiones en los procesos de construcción en Oslo, considerando variables como consumo de energía, suministro de energía, análisis de costos, análisis de mercado y evaluación de diversos escenarios de desarrollo.



Figura 6. *Impact assessment of zero emission building processes in Oslo*

Fuente. (SINTEF, 2022)

Ahora bien, las empresas municipales de Oslo han sustituido varias máquinas con combustibles fósiles de construcción por otras eléctricas en los últimos años; otras máquinas han pasado del gasóleo al biocombustible y como resultado, la maquinaria de construcción supuso el mayor descenso porcentual de las emisiones de gases de efecto invernadero del funcionamiento de la ciudad el año pasado. Según los cálculos de la Agencia del Clima de Oslo, las emisiones se redujeron a la mitad a partir de 2020 (KlimaOslo, 2023).

Se reporta que las emisiones de gases de efecto invernadero cayeron un 24% en 2021. Ahora son un 86% más bajas que en 2012, según los informes. Adicionalmente, toda la ciudad reducirá sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 95% para 2030 (KlimaOslo, 2023). A partir de ahí, el municipio tendrá que funcionar sin emisiones, esto teniendo en cuenta que desde 2020, el objetivo del Ayuntamiento de Oslo es que las empresas pasen a utilizar vehículos de transporte y maquinaria de construcción con cero emisiones o biocombustibles sostenibles (KlimaOslo, 2023).

Relacionado al sector de construcción según (KlimaOslo, 2023) se han presentado los siguientes avances:

- Las emisiones relacionadas con los combustibles fósiles para maquinaria de construcción han disminuido de 926 toneladas de CO₂-eq. a 448 toneladas de CO₂-eq.
- Las emisiones están relacionadas con el consumo de combustible para el funcionamiento de barcos, excavadoras, máquinas forestales, excavadoras, tractores, cortacéspedes, motosierras, etc.
- En el año 2021, toda la maquinaria de construcción propiedad de la ciudad funcionaba con gasolina o gasóleo. En el año 2021, la actividad de la construcción es algo mayor que en el año 2020, pero las emisiones siguen siendo menores debido al uso de vectores energéticos libres de fósiles y de emisiones.
- El consumo de gasóleo es de unos 143.000 litros, el de gasolina de unos 23.000 litros. El consumo de biodiésel se duplicó con creces de 2020 a 2021, pasando de 232.000 litros a 470.000 litros.
- Las cuentas de emisiones solo incluyen las emisiones de la maquinaria de construcción propia del municipio, no la maquinaria de construcción de los proveedores en las obras municipales.

3.2.2 Declaración C40 de construcción limpia

El programa de C40 maneja un acelerador de construcción limpia, teniendo en cuenta el contexto en donde el entorno construido es una de las mayores fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y genera una cantidad significativa de contaminación del aire en nuestras ciudades, amenazando nuestra salud pública y el bienestar de nuestras comunidades (C40, 2020a). Específicamente, los materiales de construcción, la construcción, el mantenimiento y la demolición son responsables de una proporción cada vez mayor de la huella de carbono de los edificios y constituyen la mayor parte de la infraestructura de la que dependemos a diario (C40, 2020a).

Varias ciudades ya se han comprometido a garantizar que sus edificios e infraestructura apoyen una agenda verde y promuevan comunidades saludables, sostenibles y energéticamente eficientes a través del Acelerador de Edificios Net Zero Carbon de C40 (C40, 2020a), el cual, se ha desarrollado para reconocer y promover el liderazgo avanzado

en materia de clima de empresas, organizaciones, ciudades y gobiernos subnacionales en la descarbonización del entorno construido, para inspirar a otros a tomar medidas similares y eliminar las barreras a la aplicación (World Green Building Council). Este compromiso requiere que para el 2030 (World Green Building Council):

- Los edificios existentes reducen su consumo de energía y eliminan las emisiones procedentes de la energía y los refrigerantes eliminando el uso de combustibles fósiles tan rápido como sea posible (cuando proceda). Cuando sea necesario, compensar las emisiones residuales.
- Los edificios nuevos y las renovaciones importantes se construyen para ser altamente eficientes, alimentados por energías renovables, con una reducción máxima del carbono incorporado y la compensación de todas las emisiones residuales iniciales.

Para poder cumplir este compromiso C40 se compromete a promulgar regulaciones y/o políticas de planificación para garantizar que los nuevos edificios funcionen con emisiones netas de carbono cero para 2030 y todos los edificios para 2050 (C40, s.f.) . Para cumplir con este compromiso, C40 se compromete a (C40, s.f.):

- Establecer una hoja de ruta para nuestro compromiso de alcanzar edificios con emisiones netas de carbono cero.
- Desarrollar un conjunto de incentivos y programas de apoyo.
- Informar anualmente sobre el progreso hacia el cumplimiento de nuestros objetivos y evaluar la viabilidad de informar sobre emisiones más allá del carbono operativo (como los refrigerantes).

Relacionado al acelerador de construcción limpia, esta prioriza la modernización de edificios y garantiza que los nuevos edificios e infraestructuras incorporen principios de economía circular en sus elecciones de diseño, materiales y construcción (C40, 2020a). Por lo que las ciudades firmantes se comprometen a cumplir con los siguientes objetivos del acelerador:

Al asumir los compromisos anteriores, C40 invita a las partes interesadas a tomar las medidas necesarias para cumplir los objetivos colectivos del Acelerador (C40, 2020a):

- Reducir las emisiones incorporadas en al menos un 50% para todos los edificios nuevos y modernizaciones importantes para 2030.
- Reducir las emisiones incorporadas en al menos un 50% de todos los proyectos de infraestructura para 2030.
- Exigir sitios de construcción con cero emisiones en toda la ciudad para 2030, donde haya tecnología disponible.

Las ciudades firmantes de la declaración de “Construcción Limpia” son:

Budapest, Los Ángeles, Londres, Nueva York, Ciudad de México, Milán, Oslo, San Francisco

Asimismo, los nuevos signatarios deben completar la plantilla de acciones compartida “C40 Clean Construction Accelerator Planned Actions to Deliver Commitments”⁴. el cual, ofrece una visión general de las medidas que la ciudad tiene prevista adoptar para cumplirlos compromisos del Acelerador de Construcción Limpia. Estos compromisos se refieren a:

Tabla 31. Compromisos aceleradores

	Descripción del compromiso
Compromisos del acelerador	<p>Dar prioridad a un mejor uso, reutilización y modernización de los edificios e infraestructuras existentes en toda la ciudad para garantizar su uso óptimo antes de considerar nuevos proyectos de construcción.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Predicar con el ejemplo en la contratación pública municipal: • Exigiendo evaluaciones del ciclo de vida (ECV) y el desvío de residuos de construcción y demolición de la eliminación para todos los proyectos municipales. • Utilizar el poder adquisitivo municipal para adquirir o exigir maquinaria de construcción con cero emisiones en los proyectos municipales a partir de 2025, cuando esté disponible. • Recompensar el diseño circular y eficiente en el uso de los recursos, el uso de materiales con bajas emisiones de carbono y la construcción de obras con un nivel de residuos bajo o nulo en todos los proyectos nuevos y en las reformas importantes.
	<p>Exigir transparencia y responsabilidad, empezando por exigir ACV en los permisos de planificación e integrarlos en las políticas de planificación, los procesos y los códigos de construcción en el plazo de un año desde la aprobación de este Acelerador o en la próxima revisión de las políticas y códigos de planificación. Exigir la divulgación pública de estos datos para facilitar una mayor transparencia y fomentar la responsabilidad para desarrollar líneas de base, normas, certificaciones y políticas sólidas.</p>

⁴ Acelerador de construcción Limpia: <https://www.c40.org/accelerators/clean-construction/>

	Descripción del compromiso
Compromisos del acelerador	Trabajar con las empresas, la industria, las instituciones públicas, los residentes, los trabajadores, los interlocutores sociales y otras organizaciones para establecer una hoja de ruta conjunta y fijar objetivos intermedios hacia los objetivos colectivos de 2030 que se adhieran a los principios de la economía circular en un plazo de dos años a partir de la aprobación de este Acelerador e incorporarlo a nuestro Plan de Acción Climática. La hoja de ruta proporcionará una vía de aplicación de los compromisos del Acelerador de la Construcción Limpia y permitirá alcanzar sus objetivos de forma inclusiva y equitativa.
	Aprobar al menos un proyecto emblemático de emisiones netas cero (operativas e incorporadas) para 2025.
	Evaluar el impacto que nuestra elección de materiales y diseño de construcción tendrá en la resistencia general de nuestras ciudades a los impactos climáticos (es decir, el aumento de la isla de calor urbana, la superficie impermeable que aumenta el riesgo de inundaciones, etc.).
	Colaborar con los gobiernos regionales, nacionales y supranacionales y abogar por que actúen sobre las fuentes que escapan a nuestro control.
	Informar públicamente cada año sobre los avances que nuestras ciudades están realizando hacia estos objetivos.

Fuente. (C40, s.f.)

Asimismo, en el documento se pide especificar información relacionada a (C40, s.f.):

1. Superficie total que se construirá anualmente en m² por sector (comercial, residencial, municipal, industrial).
2. Superficie total de suelo que se rehabilitará anualmente en m² por sector (comercial, residencial, municipal, industrial).
3. Total de grandes obras de infraestructura realizadas en la ciudad (valor).
4. Emisiones medias incorporadas (kg CO₂e/ m²) por tipo de edificio (comercial residencial municipal industrial).
5. Residuos de construcción y demolición generados anualmente en la ciudad total
6. Materiales de construcción importados anualmente en la ciudad (valor).
7. Cuota municipal en el mercado de la construcción de la ciudad (valor).
8. Relación entre las emisiones de las actividades de construcción y las emisiones totales de la ciudad.

9. Crecimiento previsto de la población de la ciudad en los próximos diez años.
10. Previsión de construcción de nuevas viviendas en la ciudad en los próximos diez años.
11. Alcance de los ACV exigidos para los permisos de urbanismo.

Adicionalmente, se pide especificar acción/enfoque previsto para apoyar los objetivos anteriormente mencionados frente al acelerador de construcción limpia, esto a fin de que C40 pueda estimar el impacto del Acelerador de Construcción limpia haciendo uso del tipo y número de acciones tomadas por la ciudad signataria y de la información anteriormente mencionada en páginas anteriores del documento.

En este documento se solicita en lo posible especificar la normativa o política y su impacto estimado frente a los GEI teniendo en cuenta el impacto potencial de las normativas y acciones en materia de emisiones relacionadas a los edificios, también se pide especificar la normativa o políticas y beneficios estimados en cuanto a las dimensiones económicas, sociales y ambientales.

3.2.3 Contexto Colombiano

Colombia ha tenido avances significativos en la construcción de políticas públicas en materia de calidad del aire, y especialmente, en el tema de control de emisiones a fuentes móviles. En el año 2010, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece la *Política Nacional de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*, en cuyo plan de acción establece el “prevenir y minimizar la generación de emisiones de contaminantes y de ruido a la atmósfera” (MADS, 2010). Aunque esta política no menciona criterios frente a MMNC si da paso a la reglamentación de fuentes móviles como un primer avance.

Posteriormente, en el año 2015, el Congreso de la Republica expide el Decreto 1076, que crea el Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en cuya sección 8 establece que “El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante resolución, establecerá los mecanismos para la evaluación de los niveles de contaminantes emitidos por los vehículos automotores en circulación” Decreto 1076 de 2015 (Función Pública, 2015); esto incluye una certificación del cumplimiento de normas de emisión para vehículos automotores y la evaluación de emisiones de vehículos automotores. Sin embargo, pese a generar un avance en materia de reglamentación de fuentes móviles, aun no se mencionan criterios frente a MMNC.

En el año 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide la Resolución 2254, que establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, la norma establece los valores máximos permisibles de emisión a condiciones de referencia para contaminantes que ponen en riesgo la salud, no es específica frente a los valores de emisión de contaminantes por fuentes fijas y móviles. En el capítulo 3 expresa que es necesario “Reforzar de los programas de seguimiento al cumplimiento de la normativa

para fuentes fijas y móviles. Renovación del parque automotor, priorizando la incorporación de tecnologías de cero y bajas emisiones.” (MADS, 2017b).

En la misma vía, para el año 2018, el Departamento Nacional de Planeación (DNP), expide la Política para el Mejoramiento de Calidad del Aire por medio del CONPES 3943, allí se menciona que “Las fuentes móviles son las de mayor aporte a las emisiones de partículas, por lo que es prioritario orientar los esfuerzos para promover la transición del parque automotor hacia el uso de tecnologías más limpias y mejores combustibles, así como el mejoramiento del seguimiento y control a los vehículos” (CONPES 3943, 2018)

En el año 2020, el Plan Estratégico Para La Gestión Integral de La Calidad Del Aire de Bogotá 2030 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaboró el documento titulado Análisis de impacto normativo: Emisiones generadas por fuentes móviles, este documento presenta el análisis de impacto de la regulación propuesta para la actualización de la norma nacional de emisiones generadas por fuentes móviles en el territorio nacional, a partir de una evaluación costo-beneficio. Expone que “(...) Se ha identificado la necesidad de implementar acciones que permitan exigir un mejor desempeño ambiental a los vehículos, tanto nuevos como en uso (fuentes móviles terrestres) y maquinaria para uso fuera de carretera que opera en el país(...); como respuesta a la necesidad de ejercer control y seguimiento de las emisiones generadas por la maquinaria definida como: “para uso fuera de carretera” se propone el establecimiento de estándares mínimos de cumplimiento, así como los mecanismos de seguimiento respectivos, para este tipo de fuente móvil” (MADS, 2022).

Para el año 2022, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expide la Resolución 762, la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres y se reglamentan los artículos 2.2.5.1.6.1, 2.2.5.1.8.2 y 2.2.5.1.8.3 del Decreto 1076 de 2015, esta resolución establece los límites máximos permisibles para fuentes móviles terrestres de uso fuera de carretera con motor de encendido por compresión así como Información de Etiqueta de Control de Emisiones de las fuentes móviles terrestres de uso fuera de carretera y otras disposiciones relacionadas con MMNC . Sin embargo, es importante mencionar que esta norma entrara en vigor a partir del mes de agosto de 2024.

En el año 2022, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con apoyo de CALAC+ elaboró el Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia, documento que se divide en dos bloques temáticos: el primero consiste en la metodología empleada para la construcción de una base de datos de maquinaria apropiada para el cálculo de emisiones. El segundo bloque temático corresponde a la metodología y cálculo de las emisiones de la flota construida en la primera parte. A grandes rasgos, el inventario muestra que “El sector que más contribuye en las emisiones contaminantes es el de construcción. Dependiendo del contaminante, este sector aporta entre el 67% y el 75% de las emisiones de la flota, valores superiores al porcentaje en términos de cantidad de maquinaria activa en el 2018 que representa el sector: 63%. La

razón de esto puede inferirse por la distribución tecnológica por rubro, en la que se evidencia que este sector tiene un gran porcentaje de maquinaria con los niveles tecnológicos menos avanzados, Tier 0 y Tier 1” (MADS & COSUDE, 2022).

El programa CALAC+ en el marco de su estrategia “Incubadora de políticas urbanas para maquinaria móvil no de carretera” ha desarrollado diferentes guías y herramientas con el fin de apoyar la reducción de partículas ultrafinas, carbono negro y GEI de maquinaria urbana móvil no de carretera, mediante el diseño e implementación de normativa y el fortalecimiento técnico institucional en las ciudades donde opera el programa (Bogotá, Ciudad de México, Lima y Santiago de Chile). La Tabla 1 sintetiza la información de interés (reportes, video, seminarios/Conferencias, infografías, webinar y noticias) disponibles en el sitio web del programa CALAC+⁵.

3.2.4 Contexto Bogotano

Al nivel de Bogotá en el marco normativo, la Secretaria Distrital de Ambiente, expide el Decreto 332 de 2021, que formula el Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del aire de Bogotá 2030, el cual “establece como meta para el año 2030 reducir en un 23% del PM_{2.5} y un 17% del PM₁₀ respecto a las emisiones registradas en el Inventario de emisiones de 2018 y mantener el nivel de los demás contaminantes criterio (dióxido de azufre SO₂, dióxido de nitrógeno NO₂, monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO₂ y ozono O₃) dentro de los límites fijados en la norma de calidad de aire” (SDA, 2021).

Por otro lado, la SDA, expidió en septiembre del año 2023 la Política pública de Acción Climática 2023-2050. En donde se busca “promover la inclusión, en el Código de Construcción de Bogotá, de nuevas tecnologías para mitigar la crisis climática, tales como las pinturas que capturen CO₂ y nuevos materiales e insumos de origen bio que permitan consolidar la construcción sostenible en la ciudad. (...). Por lo anterior, como factor estratégico, se busca la creación de políticas públicas y normatividad, encaminadas a la reglamentación de medidas de ecurbanismo y construcción sostenible del Distrito, así como Proyectos orientados a la gestión integral de la energía y espacio urbano en el Distrito con énfasis territorial para zonas de bajas y ultra-bajas emisiones y otras zonas estratégicas establecidas, como ejemplo las Zonas Urbanas por un mejor aire ZUMAs.” (SDA, 2023b)

Además de instrumentos administrativos obligatorios, en el país se han promovido instrumentos de participación voluntaria que pueden contribuir con la reducción de emisiones en la MMNC. Un ejemplo de estos instrumentos es la “construcción sostenible”, entendida como “construcciones civiles diseñadas y construidas de manera segura, que incorporan componentes y materiales con bajos niveles de energía, materiales reciclables y renovables, hacen uso eficiente de la energía y el recurso hídrico, utilizan diseños de bioarquitectura y técnicas de construcción más eficientes”. (MADS, 2020b). El Decreto

⁵ <https://programacalac.com/>

1285 de 2015, que se materializa con la Resolución 0549 de 2015, promueve la consolidación de nuevas resoluciones y lineamientos técnicos para la construcción sostenible, mencionando medidas de ahorro en agua y energía según el clima y tipo de edificaciones, herramientas de seguimiento y promoción de incentivos. Adicionalmente los lineamientos de Construcción Sostenible se definen a través de la Norma Técnica Colombiana NTC 6112 de 2016, el cual tiene que ver con el Sello Ambiental Colombiano (SAC) que tiene en cuenta criterios ambientales para el diseño y construcción de edificaciones para uso diferente a vivienda (MADS, 2012).

Si bien el tema del control de emisiones en la MMNC no está explícito en los lineamientos de la construcción sostenible, se están haciendo los primeros acercamientos con las entidades certificadoras para incluir la reducción de contaminantes por maquinaria de construcción. La certificación CASA para viviendas, creada por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible en 2016, busca "impulsar la incorporación de criterios de sostenibilidad, facilitando la estructuración costo eficiente de nuevos proyectos, aportando soluciones al mercado en cumplimiento de la normatividad vigente y con un concepto de sostenibilidad integral en el que no solo prima el uso eficiente de los recursos sino con un enfoque claro en salud y bienestar" (CCCS, 2023). En la versión 3.0 del aplicativo CASA, lanzado en julio de 2023, y con el acompañamiento del programa CALAC+, se incluye como requerimiento opcional la gestión avanzada de impactos durante la construcción, en especial, la reducción de emisiones contaminantes por maquinaria de construcción cumpliendo los umbrales de estándares Tier3/Stage IIIA o superiores (CCCS, 2023).

Adicionalmente a la certificación CASA, el CCCS avanza en el acompañamiento a la construcción "*net zero carbono*" donde se promueve el uso de maquinaria de construcción eléctrica.

3.2.5 Instrumentos de participación voluntaria

Otros instrumentos de participación voluntaria pueden estar asociados a políticas ambientales corporativas o programas de sostenibilidad. Al revisar estos instrumentos en algunas de las compañías distribuidoras o que alquilan MMNC se encontró:

CASA TORO: Grupo colombiano, distribuidor de vehículos y maquinaria pesada desde el año 1934. En sus compromisos como BIC⁶, en el componente ambiental busca "Evaluar las emisiones de gases invernadero generadas por su actividad empresarial." Por otro lado, en su portafolio sostenible exponen la necesidad de buscar la innovación en métodos de construcción respetuosos con el medio ambiente (que promueve la reducción del 60% de CO₂-eq. por trabajo).

⁶ Beneficio e Interés Colectivo (BIC) aquella empresa que combina las ventajas de su actividad comercial y económica, con acciones concretas para propender por el bienestar de sus trabajadores, aportar a la equidad social del país y contribuir a la protección del medio ambiente (Decreto 2046 de 2019)

En su informe de gestión sostenible del año 2022: Huella de Sostenibilidad, Casa Toro expone que “neutralizó la totalidad de sus emisiones directas en línea con su estrategia de descarbonización a 2050 y obtuvo los sellos de verificación ISO 14064-1:2018 y de carbono neutralidad PAS 2060:2014 por parte de la certificadora internacional Bureau Veritas, por tercer año consecutivo” (Casa Toro, 2022), el informe muestra que para el caso de maquinaria agrícola Los productos Harvester y Forwarder, son amigables con el medio ambiente al contar con motores de bajas emisiones y bajos consumos de combustible, además que frente a los vehículos de combustión interna, se cuenta con la adopción de las normas Euro VI (sin embargo no especifica si aplica a maquinaria de construcción) y en las medidas de mitigación y compensación en la estrategia de carbono neutralidad mencionan el aumentar la participación vehicular de tecnología híbrida y eléctrica, pero no se mencionan medidas para MMNC de la construcción (Casa Toro, 2022).

KOMATSU: En el año 2021, Komatsu anuncia una alianza colaborativa con clientes para avanzar en soluciones de equipos de cero emisiones, en donde, “como empresa, Komatsu se compromete a minimizar el impacto ambiental a través de su negocio, apuntando a una reducción del 50% en las emisiones de CO₂ derivadas del uso de sus productos y la producción de sus equipos para 2030 (en comparación con los niveles de 2010) y el desafiante objetivo de lograr el carbono neutralidad para el 2050.” (Komatsu, 2021). Por otro lado, Komatsu Colombia y su compromiso ambiental promueven la implementación de La tecnología Tier 4 en motores diésel que incorpora sistemas avanzados como la Recirculación de Gases de Escape” y la Reducción Catalítica Selectiva (este proceso transforma los óxidos de nitrógeno en nitrógeno diatómico y en agua, por medio de un agente reductor y un catalizador) (Komatsu, 2023a).

En el caso de empresas como **SK Rental S.A.S**, una de las empresas más grandes en el alquiler de MMNC, propiedad del grupo chileno Sidgo Koppers, afirma que distribuye maquinaria pesada moderna y bien mantenida. Cuenta además con una política integrada de seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y calidad, en donde para el componente ambiental “promoverán la responsabilidad ambiental en todas sus operaciones de negocio, aumentando progresivamente la eficiencia en el uso y gestión de los recursos naturales. Como empresa establecemos un compromiso real con nuestro entorno y comunidad, identificando, minimizando y controlando los impactos ambientales producto de sus operaciones” (SK RENTAL, s.f.).

JCB: Es proveedor y marca de maquinaria amarilla a nivel internacional, con influencia en Colombia, cuenta con un portafolio de soluciones sostenibles, frente a sus productos, menciona que “han trabajado en el desarrollo de motores durante los últimos 15 años para ofrecer mejoras significativas en cuanto a los objetivos de calidad del aire. Recientemente ha estado en proceso de adopción de los estándares de emisión europeos y en su estrategia para conseguir que sus productos tengan cero emisiones netas incluye múltiples enfoques: implementación de motores de combustión de hidrógeno, Introducción de máquinas de baterías eléctricas en productos de menor tamaño aptos

para aprovechar las capacidades energéticas de las baterías, también, mejoras en la eficiencia de los productos diésel para reducir las emisiones de carbono.”(J C Bamford Excavators Ltd, 2023) (J. C. Bamfors Excavators, 2023).

KOBELCO: Es proveedor y marca de maquinaria amarilla a nivel internacional de origen estadounidense con influencia en Colombia, ha trabajado en el desarrollo tecnológico de excavadoras híbridas, a través de un sistema de oscilación eléctrico independiente que funciona exclusivamente con la batería de iones de litio y recarga la batería durante la desaceleración del balanceo, que ha mostrado una reducción de aproximadamente 15% en el consumo de combustible en comparación con una máquina tradicional, además sus motores se acogen a los estándares de emisión Stage IV (Kobelco, 2023).

Sotelanche Bachy, actor mundial y líder europeo referente al sector de la construcción. En Colombia opera la firma Sotelanche Bachy cimas desde el año 1997. Su política ambiental contempla la reducción en el 40% de la huella de carbono al año 2030, reduciendo el consumo directo o indirecto de energías fósiles como diésel de maquinarias, por medio de su política medio ambiental que promueve acciones en torno a tres temas específicos: reducción del consumo de combustible, disminución de volúmenes de cemento y reciclaje y recuperación de desechos (Soletanche Banchy Colombia , 2021).

4. POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS A NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional se presenta un gran bagaje de políticas, normativas y estrategias aplicadas a la regulación de las MMNC en cuanto a la fabricación, importación, uso de la maquinaria nueva y usada. Por lo tanto, considerando lo anterior el documento “Sistematización de políticas y normativa de experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera (MMNC)” de (CALAC+, 2021b) en el cual se puede evidenciar que el país que cuenta con una mayor cantidad de instrumentos para la reducción de emisiones es Estados Unidos que presenta un total de 40 instrumentos identificados para la reducción de emisiones.

La presente sección recopila la información internacional sobre las condiciones habilitantes y barreras relacionados a la renovación de la flota de maquinaria amarilla fuera de ruta para países como Estados Unidos, y análisis en conjunto de las barreras para México, Perú y Chile.

4.1 Estados Unidos

Estados Unidos se ha destacado por los distintos esfuerzos que ha llevado a cabo para la regulación de la maquinaria amarilla en términos de normativa y estrategias para abordar las emisiones y eficiencia en la industria de la maquinaria amarilla. En su regulación se dan lineamientos que cubren aspectos relacionados al fin de la vida útil de la maquinaria, control de los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos y evaluación de emisiones la cual tiene en cuenta el deterioro de los sistemas de control de emisiones de las máquinas a lo largo de su vida útil.

Como se había mencionado anteriormente, Estados Unidos cuenta con 40 instrumentos regulatorios los cuales tienen en cuenta aspectos como:

Tabla 32. Aspectos regulatorios de los instrumentos

Instrumentos	Objeto
Regulatorio administrativo	Regulación en cuanto a los límites máximos permisibles, importación, homologación y etiquetado.
Incentivos fiscales y programas de financiamiento	Estados Unidos y en especial algunos estados ofrecen incentivos fiscales y programas de financiamiento para promover la adquisición de maquinaria amarilla más limpia y eficiente en términos de combustible, a fin de reducir los costos iniciales y fomentar la inversión en equipos con tecnologías más limpias.

Instrumentos	Objeto
Programas de capacitación y certificación	Con estos programas se busca garantizar que el operador utilice la maquinaria de manera eficiente y segura. De igual forma, estos programas pueden incluir capacitación sobre las regulaciones de emisiones y mantenimiento adecuado.
Programas de sustitución y modernización	Estos programas buscan la sustitución de maquinaria antigua por modelos más limpios y eficientes, a partir de incentivos financieros otorgados a las empresas que reemplacen equipos obsoletos.
Seguimiento y control	Aplicación de distintas estrategias para el seguimiento a fin de que las empresas puedan monitorear y gestionar las emisiones de su flota de maquinaria, lo que puede ayudar a cumplir con las regulaciones y reducir el impacto ambiental.

Fuente. Autores

4.1.1 Condiciones regulatorias administrativas

La regulación de emisiones en Estados Unidos se lleva a cabo a través de un proceso que involucra varias agencias gubernamentales para la regulación de las emisiones en Estados Unidos de las cuales se destaca la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA), el cual, es la encargada de la consolidación de las políticas y normativas relacionadas a la regulación de la MMNC.

Por lo tanto, para la regulación de las emisiones el proceso comienza con el establecimiento de normativas ambientales por parte de la US-EPA, atendiendo a que dichas normativas se basan en leyes federales, como la Ley de Aire Limpio, y abordan una gran variedad de contaminantes atmosféricos. Una vez que se ha determinado la necesidad de regular ciertos contaminantes se establecen los estándares de emisión con aportes de algunos fabricantes de MMNC.

Para el caso de Estados Unidos los estándares de emisión prestan especial atención a lo que es la vida útil de los motores la cual está establecida por el tiempo en operación de estos, ya sea en horas de uso o años de antigüedad, cualquiera que ocurra primero.

Por ende, para los límites máximos de emisión (g/kWh) Estados Unidos tiene en cuenta cinco contaminantes los cuales son:

- Hidrocarburos no metánicos (HCNM)
- HCNM + NO_x
- NO_x

- PM
- CO

Como se presentó, para los límites de emisión de contaminantes para motores de ignición por compresión se presenta un rango de potencia en kW que van de potencias <8 kW hasta potencias >900 kW, para el establecimiento de límites por contaminante para cada estándar de emisión para tecnologías Tier 1 hasta Tier 4 final, año modelo que van desde el año 1996 a 2015 en adelante y vida útil (hh/aa) la cual depende del rango de potencia del motor, siendo que para potencias <8 KW la vida útil es de 3000 /5 horas de uso y años de antigüedad, y para potencias >900 kW la vida útil está para 8000/10 horas de uso y años de antigüedad, dichos detalles relacionados a los estándares de emisión se pueden encontrar más a fondo en el documento realizado por (CALAC+, 2021b) denominado como “Sistematización de políticas y normativa de experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera (MMNC)”.

En consecuencia, en Estados Unidos se implementa lo que son:

- Controles de emisiones para los motores el cual se realiza a partir de lineamientos para el control de las emisiones de motores de ignición por compresión para motores no de carretera nuevos y en uso, junto con los límites de emisión, pruebas y procedimientos, regulación sobre importación y re-inspección, programas de compensación, excepciones y prohibiciones, entre otras.
- Lineamientos para el control de emisiones evaporativas.
- Lineamientos relacionados a los estándares de emisión de humo, respecto a los límites de nivel de opacidad
- Vida útil y tiempos de garantía de los motores en términos de horas de operación o años de uso, cualquiera que se cumpla primero, considerando que la vida útil depende de los factores de deterioro de los motores durante su uso.

De la normatividad de Estados Unidos se resalta que las regulaciones de motores afectan a todos los vehículos vendidos, parte de la responsabilidad en el cumplimiento de las regulaciones cae en los fabricantes si la maquinaria se encuentra en fabricación o venta, así mismo, para el caso de la maquinaria que ya está en uso la responsabilidad del cumplimiento de las regulaciones ya no recae en los fabricantes, sino en los propietarios u operadores.

Parte importante de la regulación es que esta debe estar en constante revisión y actualización con el fin de poder reflejar los avances tecnológicos y metas de reducción las cuales son cada vez más estrictas. Por lo tanto, a fin de adoptar nuevas medidas para el cambio de la flota con mejores tecnologías, se está llevando a cabo la regulación del nuevo estándar de motor el cual aún se encuentra en desarrollo el cual va enfocado a motores con tecnología Tier 5.

Por otro lado, además de regular los estándares de emisión y vida útil para la MMNC se llevan a cabo otras actividades regulatorias como lo son los requisitos de importación, homologación y etiquetado.

Requisitos de importación:

Relacionado a los requisitos de importación en Estados Unidos, la US-EPA es quien establece la regulación y los requisitos detallados sobre la admisión para motores estacionarios y para uso fuera de carretera apoyado en regulaciones como: (19 CFR § 12.74, 2022) y (40 CFR § 1068 Subparte D, 2008)

En estos requisitos planteados se establece que los importadores deben presentar el Formulario 3520-21 y remitir la información a la Oficina de Transporte y Calidad del Aire de la US-EPA (EPA-OTAQ) y mantener guardados dichos documentos y soportes por al menos cinco años posteriores a la fecha de importación (CALAC+, 2021b).

En los formularios requeridos para la importación se presentan los procedimientos de las pruebas que se deben aplicar para la maquinaria de importación, en este caso relacionado a que los parámetros ajustables estén en un rango dentro del recomendado por el comprador final, revisión en pruebas de acumulación o emisión y revisión de algún tipo de malfuncionamiento, entre otros.

Procesos de homologación y etiquetado:

El proceso de homologación es una etapa fundamental para la regulación de las emisiones y tiene como objetivo establecer y verificar que la MMNC cumpla con los estándares de emisiones establecidos por la US-EPA, (CALAC+, 2021b), por lo que se cuenta con un certificado de conformidad, y sistema de información de cumplimiento de motores y vehículos (Engines and Vehicles Compliance Information System EV-CIS).

En cuanto al proceso de etiquetado, Estados Unidos es uno de los países que maneja el proceso en donde cada etiqueta presenta un número único de identificación al motor, y se especifican las características técnicas de la MMNC incluyendo información sobre el nivel de emisiones lo que facilita el control y la aplicación de las regulaciones de emisiones.

4.1.2 Incentivos fiscales y programas de financiamiento

Los incentivos fiscales y programas de financiamiento en Estados Unidos están destinados a promover la adquisición de maquinaria y equipos de construcción más limpios y eficientes, los cuales son generalmente implementados a nivel federal, estatal y local (CARB, 2022a).

Estos incentivos y programas se centran en proporcionar beneficios financieros y fiscales a empresas y propietarios de equipos que están buscando adquirir maquinaria o vehículos más limpios y eficientes, esto a partir de la reducción de los costos iniciales de adquisición y el gasto operativo a largo plazo. Los incentivos fiscales pueden incluir créditos fiscales, amortización acelerada, deducciones de depreciación y otros beneficios relacionados con

los impuestos. Los programas de financiamiento ofrecen préstamos a tasas de interés reducidas o subvenciones para ayudar a financiar la compra de equipos más limpios, además estos programas suelen aplicarse a la compra de equipos nuevos o a mejoras en los equipos existentes (IRS, 2023).

Incentivos Fiscales Federales:

- **Créditos fiscales:** Estados Unidos cuenta con el Servicio de Impuestos Internos (IRS) el cual ofrece créditos tributarios a fin de reducir la cantidad de impuestos que se pueda adeudar o aumentar la cantidad de su reembolso de los impuestos (IRS, 2023). Uno de los créditos con los que se cuenta en IRS es el “Crédito para vehículos comerciales Limpios”. Las empresas y organizaciones exentas de impuestos que compren un vehículo comercial limpio calificado pueden calificar para un crédito fiscal para vehículos limpios. El crédito máximo es de \$7.500 para vehículos calificados con clasificaciones de peso bruto vehicular (GVWR) de menos de 14.000 libras y \$40.000 para todos los demás vehículos (IRS, 2023).
- **Deducción de depreciación de bonificación:** La IRS también maneja las deducciones las cuales pueden reducir la cantidad de sus ingresos antes de que se calcule el impuesto que adeuda (IRS, 2023).

Programas de Financiamiento Estatales y Locales:

- **Préstamos y subsidios**

Las agencias federales proporcionan a los ciudadanos y empresas programas de préstamos, en el caso de las empresas estos préstamos pueden estar dirigidos a la compra de maquinaria más limpia y eficiente. De estos programas o préstamos se destacan:

- **Préstamos 7(a) para Pequeñas Empresas:** La Agencia Federal para el Desarrollo de la Pequeña Empresa (SBA, por sus siglas en inglés) ayuda a las pequeñas empresas a obtener financiamiento mediante el establecimiento de pautas para los préstamos y la reducción del riesgo de los prestamistas. Estos préstamos respaldados por la SBA facilitan que las pequeñas empresas obtengan los fondos que necesitan (SBA, 2023b). Este préstamo se puede utilizar para activos fijos a largo plazo como lo son la maquinaria, equipos y construcción.
- **Programa de Préstamos a Empresas Certificadas de Desarrollo (504) (CDC):** El Programa de Préstamos 504 proporciona financiamiento a largo plazo y tasa fija para los principales activos fijos que promueven el crecimiento empresarial y la creación de empleos. Un préstamo 504 se puede utilizar para una variedad de activos que promueven el crecimiento empresarial y la creación de empleo. Estos incluyen la compra o construcción de Maquinaria y equipos a largo plazo (SBA, 2023a).

4.1.3 Programas de capacitación y certificación

En Estados Unidos, existen varios programas de capacitación y certificación para operadores de maquinaria amarilla y equipos de construcción. Estos programas tienen como fin garantizar que los operadores de las maquinarias estén calificados y cuenten con las habilidades necesarias para operar de manera segura y eficiente, por lo que la importancia y beneficios que trae la implementación de estos programas radica en (GrupoMakro, 2020):

- Mayor ganancia y menos costos de producción.
- Mayor eficiencias y productividad de la maquinaria.
- Contribuye a cumplir con los objetivos y metas planificadas en su producción.
- Perfeccionamiento técnico del operador de maquinaria de equipo pesado.

Programas de Capacitación en Escuelas Técnicas y Comunitarias:

Muchas escuelas técnicas y comunitarias en Estados Unidos ofrecen programas de capacitación en operación de maquinaria amarilla y equipos de construcción.

Capacitación por parte de Caterpillar:

- **Capacitación para operadores:**

Los instructores certificados de Caterpillar ofrecen capacitación para operadores dirigida por un instructor en su lugar de trabajo o en uno de nuestros centros de demostración y aprendizaje (CAT, 2023a). La capacitación con simuladores CAT proporciona una experiencia segura y práctica a los operadores. Cada simulador enseña las operaciones de los equipos pesados utilizando los mismos controles OEM (Original Equipment Manufacturer, Fabricante de equipo original) y las aplicaciones de la máquina que se encuentran en los lugares de trabajo del mundo real (CAT, 2023a).

Servicios de productividad: Tiene por objetivo mejorar la productividad y reducir los costos relacionados a la operación de la MMNC a partir de la implementación de las capacitaciones.

- **Capacitación global para supervisores:**

Esta capacitación está diseñada para proporcionar a los gerentes de las empresas la capacidad de llevar a cabo evaluaciones en el lugar de trabajo e identificar oportunidades de mejora en el mismo. Las sesiones cubren áreas de seguridad en el lugar de trabajo, eficiencia de la producción, funcionamiento adecuado de los

equipos, mantenimiento de las instalaciones, selección de máquinas por aplicación y puntos de referencia de rendimiento (CAT, 2023b).

- **Equipo de análisis de producción en el lugar de trabajo:**

El análisis de producción y las evaluaciones en el lugar de trabajo son un servicio que Caterpillar proporciona a los clientes para mejorar sus operaciones y sacarle mayor provecho a su inversión. Este curso se centra en el análisis de variables como (CAT, 2023b):

- Productividad del vehículo/de la flota.
- Sistemas de carga y acarreo.
- Revisión del funcionamiento de los equipos.
- Dimensionamiento/ajuste de las herramientas de carga.
- Pesaje/productividad de la carga útil.

4.1.4 Programas de sustitución y modernización

En Estados Unidos, existen varios programas de sustitución y modernización que se enfocan en ayudar a las empresas y propietarios de equipos para poder reemplazar la maquinaria antigua por maquinaria nueva con mejor tecnología. De igual forma estos programas ofrecen incentivos inmediatos para retirar y reemplazar equipos obsoletos los cuales ya no cumplen con los estándares de emisión, de esta forma los propietarios pueden recibir descuentos en la compra de nuevos equipos o incentivos financieros. El objetivo principal de estos programas es reducir las emisiones contaminantes al retirar equipos viejos y poco eficientes y reemplazarlos por modelos más limpios y eficientes.

Programa de vehículos pesados limpios (Clean Heavy- Duty Vehicle Program)

La Ley de Reducción de la Inflación invierte \$1.000 millones para reemplazar los vehículos pesados sucios por vehículos limpios de cero emisiones, apoyar la infraestructura de vehículos de cero emisiones y capacitar y desarrollar a los trabajadores (US-EPA, 2022).

La US-EPA distribuirá estos \$1.000 millones en fondos para vehículos pesados limpios de aquí a 2031, y de estos \$400 millones se destinarán a comunidades en áreas de no cumplimiento (US-EPA, 2022). Por lo tanto, se ofrecerán subvenciones y/o reembolsos a los beneficiarios elegibles para reemplazar los vehículos pesados existentes con vehículos limpios y de cero emisiones. Además, se proporcionarán fondos para:

- Infraestructura de vehículos de cero emisiones.
- Desarrollo y capacitación de la fuerza laboral.
- Planificación y actividades técnicas.

De acuerdo con lo implementado en este programa como resultado se tiene que (SDGE, 2022):

El presupuesto en 5 años de 107 millones de dólares ha permitido el recambio de 3.000 nuevos vehículos dentro y fuera de carretera con la disminución en los cargos de demanda, tarifas fijas más bajas. De igual manera, una forma de controlar a los usuarios de estos programas es demostrar:

- Compromiso para adquirir mínimos 2 vehículos de flota eléctrica.
- Plan a largo plazo para el crecimiento del parque automotor eléctrico y cronograma de aumento de carga.
- Ser propietarios o arrendar una estación de carga que opere por lo menos 10 años.

Programa Carl Moyer

El Programa Carl Moyer proporciona subvenciones monetarias a empresas privadas y agencias públicas para limpiar sus motores de servicio pesado más allá de lo requerido por la ley mediante la modernización, repotenciación o reemplazo de sus motores por otros más nuevos y limpios (CARB, 2022b). Esto incluye camiones con un peso bruto superior a 14.000, equipos todoterreno como equipos de construcción y agrícolas, embarcaciones y locomotoras marinas, equipos agrícolas estacionarios, montacargas, vehículos livianos y otros recursos agrícolas y equipos de apoyo en tierra para aeropuerto (CARB, 2022b).

La CARB a partir de este programa proporciona fondos para motores, equipos y otras fuentes de contaminación del aire más limpias esto para financiar directamente cualquier proyecto. Algunos de los tipos de proyectos anteriores que han sido financiados con fondos de la Reserva Estatal son proyectos de reemplazo de autobuses escolares, reemplazo de camiones de troncos a través del Programa de Mejora/Modernización de Camiones en Beneficio de Reducción de Emisiones (TIMBER), proyectos todoterreno y vehículos pesados en carretera a través del Programa de Vales de Incentivo (VIP) (CARB, 2022c).

Relacionado a los resultados obtenidos a partir de la implementación de programa se resalta que según los informes entregados por la CARB “Carl Moyer Program Statistics”, se encontró que:

Tabla 33. Recopilación resultados implementación programa Carl Moyer

Categoría	Total	Reducción de emisiones NO_x (Ton)	Reducción de PM (Ton)	Fondos ejecutados en dólares	Año
Fuera de ruta	3.444	43.035	1.450	\$308.458.669	2021
	3.273	41.307	1.441	\$272.454.503	2020
	3.190	40.844	1.428	\$262.428.618	2019
	3.056	40.046	1.391	\$240.718.050	2017
	2.977	39.699	1.738	\$232.462.104	2016

Fuente. Autores a partir de (Carl Moyer Program , 2016), (Carl Moyer Program , 2017), (Carl Moyer Program, 2019), (Carl Moyer Program , 2020) y (Carl Moyer Program, 2021)

La categoría de total se refiere a los motores que han sido repotenciados, cambio de equipos o refabricados, mientras que la reducción de emisiones para un rango de 1- 7 años de vida del proyecto.

4.1.5 Actividades de seguimiento y control

En Estados Unidos se realizan inspecciones periódicas para asegurar que las empresas cumplan con las regulaciones de emisiones, además dichas actividades son fundamentales para garantizar que los motores, vehículos y equipos cumplan de manera continua con los estándares de emisiones y otras regulaciones ambientales. De igual modo, las empresas también llevan a cabo las actividades de monitoreo y reporte de las emisiones, lo que permite a las agencias reguladoras verificar el cumplimiento.

Relacionado al seguimiento y control se llevan a cabo pruebas en motores en uso, siguiendo lineamientos para pruebas de medición directa de contaminantes; preparación de la prueba, información y tiempos de registro, parámetros de los flujos de combustible, aire, gases de salida, parámetros de las diluciones, análisis de datos, ciclos de operación de los motores, tratamiento de datos (CALAC+, 2021b).

Reglamento sobre flotas todoterreno alimentadas con diésel en uso

El objetivo del Reglamento sobre flotas de combustible diésel todoterreno en uso es reducir las emisiones de partículas (PM) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de los vehículos diésel pesados todoterreno en uso (existentes) en California. El reglamento cubre una amplia gama de tipos de vehículos utilizados en (pero no limitado a) industrias tan diversas como la construcción, los viajes aéreos, la manufactura, el paisajismo y las estaciones de esquí (CARB , 2023).

4.1.6 Condiciones habilitantes para el recambio

Tomando en consideración el contexto actual de Estados Unidos se encontraron diversas condiciones habilitantes para el recambio de la MMNC a una de cero emisiones, así como acciones que permiten la reducción de las emisiones en la MMNC. Relacionado a las condiciones habilitantes se resalta el gran bagaje de instrumentos de regulación con los que cuenta Estados Unidos, puesto que sus regulaciones resultan ser la base para la implementación de las distintas estrategias aplicadas en este país; es importante tener presente que las regulaciones resultan ser cada vez más estrictas y abarcan distintos frentes como son la regulación de las emisiones, control de las emisiones para los motores de ignición por compresión, emisiones evaporativas, emisiones de humo relacionadas a los límites de opacidad, importación, re-inspección, control de la vida útil y tiempos de garantía de los motores en términos de hora de operación o años de uso. De igual modo, Estados Unidos cuenta con una regulación robusta y estricta en temas de importación, homologación y etiquetado los cuales sirven para indicar el nivel de cumplimiento con los estándares de emisión establecidos por la US-EPA. Además de contar con varios frentes de

regulación Estados Unidos se destaca por tener una constante actualización de la reglamentación en función del cambio a mejores tecnologías.

Estados Unidos también ofrece oportunidades de financiamiento ya que maneja programas con dicho énfasis a partir de préstamos y subsidios a empresas tanto grandes como pequeñas, también manejan programas de arrendamiento, sustitución y modernización los cuales hacen más asequible y facilita que las industrias, empresas puedan generar el recambio de la maquinaria con una mejor tecnología lo cual se traduce a una mejora en eficiencia, reducción de costos operativos y aumento de la competitividad.

Además de tener una regulación robusta y que se va actualizando constantemente Estados Unidos cuenta con más instrumentos los cuales le permiten evaluar las necesidad en cuanto a costos operativos, eficiencia y seguridad de la maquinaria existente, luego de evaluar la necesidad de recambio se cuentan con instrumentos relacionados en el presupuesto y financiamiento para facilitar la adquisición de la maquinaria nueva en un mercado el cual se encuentra en constante crecimiento y con mayor variedad frente a las tecnologías, además de considerar la importancia de la adquisición de nueva maquinaria. También se tiene en cuenta la variable de capacitación y adaptación de los operarios y personal de mantenimiento lo cual se da a partir de diversos programas que se ofrecen.

4.2 Chile

Actualmente, Chile es el país latinoamericano que está liderando en cuanto al despliegue de normativas y estrategias relacionadas a la regulación de la MMNC. Por lo tanto, se destaca que Chile cuenta con el documento de “Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión 2013”, el cual es un resumen del análisis del estado actual de la maquinaria fuera de ruta existente en el sector de la construcción en la Región Metropolitana.

A su vez, Chile en materia de regulación cuenta con dos instrumentos regulatorios los cuales se enfocan en:

Tabla 34. Instrumentos regulatorio y estrategias en Chile

Instrumentos	Objetivo
Regulatorio administrativo	Regulación relacionada a la exigencia de los límites máximos permisibles y establecimiento del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica.
Estrategias	Iniciativas que se refieren a la implementación obligatoria de filtros de partículas diésel (DPF) en maquinaria y electrificación del parque automotor.

Fuente. Autores

4.2.1 Condiciones regulatorias administrativas

La regulación de emisiones en Chile se lleva a cabo a través de una serie de normativas y regulaciones ambientales que establecen los estándares de emisión, para este caso las autoridades encargadas de supervisar y hacer cumplir esta regulación es el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Por lo tanto, para la regulación de las emisiones el proceso comienza con el establecimiento del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago, a fin de dar cumplimiento a las normas primarias de calidad ambiental de aire vigentes, asociadas a las contaminantes Material Particulado respirable (PM₁₀), Material Particulado Respirable (PM_{2.5}) y Ozono en un plazo de 10 años (Decreto 31 de 2017).

Para el caso de Chile las exigencias de límites máximos permisibles se apoyan en estándares de emisión para Stage IV y Stage V (siendo que para Stage V este es una norma superior opcional), a partir de la Norma de Emisión para Maquinaria Móviles. En dicha norma se especifica que la regulación aplica para maquinarias que tengan una potencia entre 19 y 560 kW, a partir de 24 meses desde la publicación de la norma para todas las maquinarias a excepción de los tractores que tiene 30 meses de plazo (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2021).

Por lo tanto, relacionado a los límites máximos de emisión para Chile se tiene:

Tabla 35. Comparación límites máximos de emisión por estándar de emisión

Estándar de Emisión Stage IV	Estándar de Emisión Stage V
Regulación de (g/kWh): <ul style="list-style-type: none"> • Hidrocarburos no metánicos (HCNM) • HCNM + NO_x • NO_x • PM • CO 	Regulación de (g/kWh): <ul style="list-style-type: none"> • HC (Hidrocarburos no quemados o quemados parcialmente) • HC + NO_x • NO_x • PM • CO • NP (Número de partículas)
Los límites máximos de emisión provenientes del sistema de escape para Stage IV se emplean las unidades de g/kWh y g/bhp-h, y se manejan potencias que van de un rango de 19 a 560 kW.	Los límites máximos de emisión provenientes del sistema de escape para Stage V se emplean las unidades de g/kWh, y se manejan potencias que van de un rango de 19 a 560 kW los cuales se encuentran menos desagregados en cuanto a rangos.

Fuente. Autores a partir de (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2021)

Requisitos de importación

Relacionado a los requisitos de importación en Chile, según el Decreto 39 del año 2020, los distribuidores o fabricantes deben cumplir con los límites de emisión exigidos por el decreto; asimismo, estos deberán presentar un certificado ante la Superintendencia del Medio Ambiente a fin de verificar el cumplimiento de las emisiones del tipo o familia de motor de la maquinaria móvil previo a la importación atendiendo a los procedimientos establecidos por el Reglamento (UE) 2016/1628 del Parlamento Europeo y del Consejo, o por el Código de Regulaciones Federales (UE) de los Estados Unidos de América (CFR), título 40, parte 1039. Atendiendo a lo especificado en la norma, para poder llevar a cabo el control del ingreso de los productos a Chile se desarrolló un portal en donde se realiza la declaración en el SISAT para el registro de importador, registro de productos con la identificación del producto, identificación del motor, emisiones asociadas y declaración de importación.

De igual modo, el Servicio Nacional de Aduanas deberá informar mensualmente a la Superintendencia del Medio Ambiente acerca de la importación de maquinaria móvil que se hubiere efectuado en el mes inmediatamente anterior a aquel que se informa.

Se destaca el ejercicio teórico presentado en el inventario de Chile relacionado a los requisitos de importación. En este inventario el cual realiza un análisis del estado actual de la maquinaria fuera de ruta a nivel nacional (Maquinaria nueva) y un inventario de emisiones para la maquinaria existente en el sector de la construcción en la Región Metropolitana, se presenta un análisis regulatorio de la maquinaria fuera de ruta relacionado a un sistema para la inscripción en el ámbito de importación de la maquinaria (Geasur, 2013) (Figura 7).

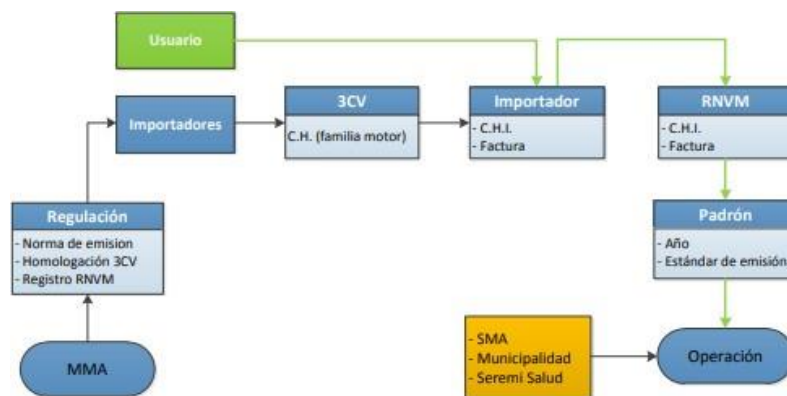


Figura 7. Diagrama de flujo de sistema de inscripción de la MMNC en Chile

Fuente. (Geasur, 2013)

La explicación del diagrama y planteamiento del sistema de inscripción según (Geasur, 2013) se basa en:

1. El fabricante, distribuidor o importador de maquinaria fuera de ruta deberá adquirir maquinaria que cumpla con los estándares de emisión exigidos. Ello se debe reflejar en la documentación relacionada a la maquinaria acompañada por el fabricante.
2. El fabricante, distribuidor o importador deberá acudir al 3CV con el objeto de que este certifique que el modelo de motor de la maquinaria fuera de ruta cumple con los estándares de emisión exigidos para ser ingresadas y ocupadas en nuestro país.
3. El 3CV entregará un certificado y rotulará en el motor de la maquinaria que ésta cumple con los estándares exigidos.
4. Obtenido el certificado de parte del 3CV, el fabricante, distribuidor o importador deberá entregar al comprador un certificado con indicaciones similares a las contenidas en el rótulo y certificados entregados por el 3CV, según sea el caso. Dicho Certificado, además, deberá contener los siguientes datos: individualización del respectivo motor por marca, tipo y número identificador de la maquinaria, tales como, marca, modelo, tipo de maquinaria, año de fabricación, color, número de identificación y demás que se establezcan. Este certificado será otorgado en tres ejemplares.
5. El Certificado deberá ser exhibido al momento de solicitarse la primera inscripción en el “Registro de Maquinarias Fuera de Ruta”, del Registro Nacional de Vehículos Motorizados, del Servicio de Registro Civil e Identificación debiendo otorgarse por el Registro Civil una placa especial, que podrá ser semejante a la placa patente única o una placa diversa, que identifique a la maquinaria según su registro, pero que en definitiva nos permita identificar que ingresó cumpliéndolos requisitos exigidos en términos medio ambientales.
6. Vendida las unidades éstas deberán ser objeto de la revisión técnica, a nuestro entender cada 2 años, incluida la prueba de opacidad. Para ello deberá realizarse un cambio al actual DS N° 156/ 1990, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que establece un periodo de 4 años.
7. En el evento que la autoridad considere no conveniente realizar revisión técnica a esta maquinaria, el numeral 5°, no debe ser considerado. Ello dependerá de lo que arroje como resultado el estudio de la conveniencia técnica de efectuar revisión técnica a las Maquinarias Fuera de Ruta.
8. Post- venta y post uso de la maquinaria, además de la revisión técnica; deberán estar las máquinas fuera de ruta sometidas a un plan de fiscalización, el cual, debe provenir de la Superintendencia del Medio Ambiente, no obstante, la fiscalización xii proveniente de otros servicios como la SEREMI de Salud o las Municipalidades, en razón de sus atribuciones en materia de salud ocupacional y/o autorización de obras de construcción.

Procedimientos de control y seguimiento de la MMNC en la etapa de operación

El control y seguimiento de la MMNC según el Decreto 39 de 2020 es responsabilidad de la Superintendencia del Medio Ambiente la autoridad encargada establecer los protocolos y procedimientos para velar por el cumplimiento de la norma. Tomando en consideración que la Superintendencia del Medio Ambiente es el ente responsable de este procedimiento, sin embargo, una de las adaptaciones a la normativa jurídica relacionado

es el registro obligatorio de la maquinaria fuera de ruta a fin de verificar el inicio de su actividad y el cumplimiento de la normativa de emisiones.

A pesar del despliegue que tiene Chile en cuanto a normatividad aún existen aspectos los cuales no se han regulado como lo es el proceso de etiquetado, además este país permite lo que es el ingreso de maquinaria usada, esto debido a que el Decreto 39 del año 2020 solo aplica para fuentes nuevas que ingresan al país por lo que no existe un tipo de control de la maquinaria en uso. Relacionado al control y seguimiento en la norma de emisión para maquinaria móvil se especifica que la Superintendencia del Medio Ambiente es la entidad encargada de establecer los protocolos y procedimientos para el cumplimiento del Decreto.

4.2.2 Estrategias de ascenso tecnológico

Estrategia Nacional de Electro-movilidad

La presente estrategia tiene por objetivo establecer ejes estratégicos, así como medidas y metas específicas que permitan el desarrollo acelerado y sostenible del transporte eléctrico desde una perspectiva integral, global y participativa (Ministerio de Energía, 2022) (Figura 8).



Figura 8. Estrategia Nacional de Electro-movilidad

Fuente. Ministerio de Energía, 2022

En el año 2017 se analizó el estado y características del sector transporte en Chile, con foco en las oportunidades que presenta su electrificación. Con ello y luego de un proceso participativo se desarrolló la primera Estrategia Nacional de Electromovilidad. Su creación contó con la participación de más de 70 actores del sector público y privado y estableció un primer grupo de acciones a realizarse entre los años 2017 y 2020, a través de cinco ejes estratégicos (Ministerio de Energía, 2022):

1. Regulación y estándares.
2. Transporte público como motor de desarrollo.

3. Fomento de la investigación y desarrollo de capital humano.
4. Impulso inicial al desarrollo de la electromovilidad.
5. Transferencia de conocimiento y entrega de información.

Relacionado a la maquinaria, a partir de esta estrategia nacional se tiene por meta que la maquinaria minera, forestal, de construcción y agrícola sus ventas sean 100% de maquinaria cero emisiones con una potencia menor a 560 kW para el 2035, mientras que la otra meta es que las ventas sean 100% de maquinaria cero emisiones con una potencia menor a 19 kW (Figura 9). Esto a partir de compromisos de terminar con la importación de vehículos y maquinaria de combustión a partir de mediados de la próxima década. Esta es una señal clara de largo plazo para la adaptación del sector automotriz, para acelerar la llegada de una oferta más amplia de vehículos a baterías, y más adelante también a hidrógeno verde (Ministerio de Energía, 2022).

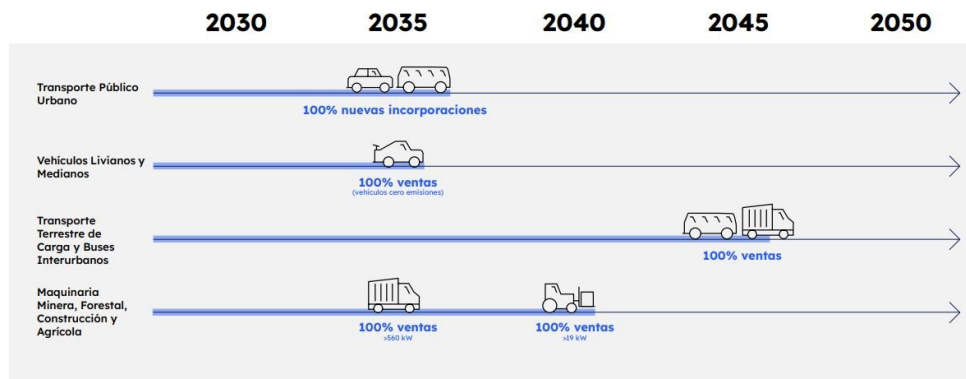


Figura 9. Metas relacionadas a la regulación de maquinaria

Fuente. Ministerio de Energía, 2022

Por medio de esta estrategia se promoverá la adopción de maquinaria minera, alineados a la política Nacional Minera y, maquinaria forestal cero emisiones con el fin de contribuir al proceso de descarbonización, con apoyo del ministerio de medio ambiente y ministerio de minería (Ministerio de Energía, 2022).

Filtro de partículas Diésel (DPF)

Para Chile se resalta la iniciativa que surgen en marco del cumplimiento del Plan de Descontaminación (Plan de Prevención y Descontaminación atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago) adoptada en el 2017, esta iniciativa se refiere a la implementación obligatoria de filtros de partículas diésel (DPF) (Figura 10) en maquinaria móvil fuera de ruta en obras ejecutadas por el Ministerio de Obras Públicas de Chile, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Salud (CALAC+, 2021a), esto siguiendo los principios economía circular y reducción de la huella de carbono.



Figura 10. Filtro de partículas diesel (DPF)
Fuente. Autofácil, 2018

Dicha implementación se debe hacer cuando según el Artículo 18 del PPDA de 2017 “Se ejecuten obras de construcción deberán usar filtros de partículas cerrados para el total de la maquinaria móvil fuera de ruta de construcción que tenga una potencia superior a 56 kW e inferior o igual a 560 kW. Si la ejecución de las obras de construcción se efectúa a través de terceros, la referida obligación de utilización de filtros deberá quedar contenida en las respectivas bases administrativas, términos de referencia y/o contratos.”, de igual manera la implementación de los DPF surge en circunstancias como obras ejecutadas por maquinaria propia, obras realizadas con presupuesto del Ministerio de Obras Públicas, pero subcontratadas por terceros y obras concesionadas (CALAC+, 2022).

Por ende, para la aplicación de los filtros de partículas se sigue un esquema de revisión del motor y el estado de mantenimiento de la máquina, desinstalación del silenciador, instalación del filtro, prueba de funcionamiento del filtro, verificación de que no han surgido riesgos adicionales para la seguridad (restricción del campo de visión, protección térmica), aprobación del sistema de filtro por el fabricante del filtro y el propietario de la máquina (CALAC+, 2021a).

CODELCO

Chile cuenta con la estrategia Nacional de Electromovilidad que establece ejes estratégicos, políticas y metas alineados con la reducción de emisiones GEI en transporte. La meta para el año 2035 es lograr que el 100% de las ventas de la mayoría de las categorías vehiculares sean cero emisiones. Para la MMNC se propone que las ventas de la maquinaria minera, forestal, agrícola y de construcción con una potencia mayor a 560 kW deberá ser cero emisiones para el 2035, y mientras que las ventas de MMNC con una potencia mayor a 19 kW será cero emisiones en 2040 (Gobierno de Chile, 2021).

La empresa minera pública Codelco cuenta con un plan de descarbonización para sus operaciones al año 2050, con una meta de reducción del 70% de su huella de carbono para 2030. Hacen parte de esta estrategia la electrificación de la flota vehicular liviana y la electrificación de la MMNC, para lo cual Codelco ha desplegado diversos proyectos piloto de uso de flota y MMNC cero emisiones desde 2018 (CODELCO, 2022).

Para el año 2019, en la División El Teniente de Codelco debutó el primer LHD híbrido de la industria minera mundial. Este equipo de carga, transporte y descarga de mineral, tan

habitual en las faenas mineras, opera industrialmente por primera vez de manera 100% eléctrica, sin caja de cambios, filtros, ni accionamientos mecánicos y utilizando diésel únicamente para la generación de energía motriz.

Esta innovación desarrollada por la empresa Komatsu aumenta la productividad de dichos equipos entre un 10 y un 20% y se usará industrialmente por primera vez en División El Teniente, para luego iniciar su comercialización al resto de la industria a nivel internacional (CODELCO, 2019).



Figura 11. Cargador eléctrico en una demostración de operación

Fuente. (CODELCO, 2019)

Junto al LHD híbrido comienzan a operar un elevador eléctrico tipo tijera (equipo alza hombre) para uso en el interior de la mina cuyo costo de operación es un 70% menor a la versión diésel, con un 100% de disminución de emisiones y ruido (CODELCO, 2019).

4.2.3 Condiciones habilitantes para el recambio

Chile ha avanzado en la estrategia frente al recambio de la MMNC y se destaca el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica y la Estrategia Nacional de Electro-movilidad lo que ha permitido sentar las bases para la reglamentación y hoja de ruta para poder llevar a cabo el recambio y avance tecnológico de las MMNC, ya que se cuenta con un diagnóstico actual del sector, identificación de actores e implementación de metas a corto y largo plazo, además, se han llevado a cabo iniciativas relacionadas a la instalación de los filtros DPF por lo que se tiene conocimiento de lo que es necesario reglamentar y proceso a seguir para la implementación de estos filtros junto con sus costos económicos. Adicionalmente, se expone el caso con un actor público que es Codelco en donde a fin de cumplir con el plan de descarbonización se lleva a cabo la estrategia de electrificación a partir de la adopción de maquinaria híbrida y eléctrica en obras mineras.

Por otro lado, Chile cuenta con una reglamentación para la regulación de emisiones de la MMNC por lo que actualmente cuenta con un Decreto el cual regula los límites máximos permisibles para estándares de emisión como Stage IV y Stage V. Además, este país se encuentra constantemente avanzando en su reglamentación y diagnóstico referente a los vacíos legales y oportunidades a partir del establecimiento de normativas y estrategias para el recambio.

4.3 Perú

Perú cuenta con el Inventario de emisiones de MMNC a nivel nacional, y en Lima Metropolitana y Callao para el año 2016, el cual, describe la metodología, el proceso de elaboración y los resultados del inventario de flota de la maquinaria móvil a nivel nacional y a nivel Lima – Callao lo que sirve como diagnóstico del estado de las MMNC.

Por otro lado, relacionado a los instrumentos normativos en Perú este no cuenta con normativa que regule las emisiones generadas por la MMNC por lo cual, no existen estándares de emisión de contaminantes atmosféricos para las MMNC. Adicionalmente, no cuentan con procesos de etiquetado y homologación o control y seguimiento en la etapa de operación, además no se cuenta con un sistema informático para el almacenamiento y gestión de la información para el control de la importación y homologación de las MMNC por lo que se permite la importación de maquinaria ya usada.

No existe ningún tipo de regulación relacionada a la vida útil o repotenciación de las MMNC, sin embargo, existe una práctica llevada a cabo en el sector privado por parte de la empresa de Ferreycorp la cual cuenta con un programa de recuperación de maquinaria usada a través de la economía circular, esta es la iniciativa de “Programa de Reparaciones Generales Certificadas de Maquinaria CAT” para cargadores frontales de bajo perfil. Este programa busca la reparación de máquinas CAT, bajo las especificaciones del fabricante, consiste en el cambio de repuestos críticos mandatorios y aplicación de mejoras quedando en condiciones similares que una máquina nueva, asimismo CAT otorga una garantía de un año a esta reparación certificada (Ferreycorp, 2017).

A pesar de la falta de instrumentos regulatorios en Perú relacionado a la MMNC se destaca que en la Comisión Multisectorial para la “Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao” se aprobó el “Plan de Acción para el Mejoramiento de la Calidad de Aire de Lima y Callao 2021- 2025” aprobado por Resolución Ministerial No. 142-2021- MINAM. Este plan incluye tres medidas relacionadas a la MMNC:

- Socialización, validación y aprobación del primer inventario de emisiones de maquinaria móvil de no uso en carretera (MMNC).
- Elaboración periódica del inventario de emisiones de maquinaria móvil de no uso en carretera (MMNC).
- Elaboración de normativa que establece límites máximos permisibles para emisiones de la maquinaria móvil que ingresa al país. En este aspecto se ha avanzado en la regulación de maquinaria nueva de construcción con motores diésel.

Condiciones habilitantes para el recambio de MMNC

El país cuenta con el Inventario de emisiones de MMNC en el Perú y en Lima Metropolitana y Callao para el año 2016 el cual sirve como un diagnóstico del estado de las MMNC, por lo tanto, a partir de este diagnóstico se abren las puertas para la

generación de una normatividad que atienda las necesidades del sector teniendo en cuenta el contexto actual y el contexto internacional el cual sirve como referencia para la regulación de las emisiones, programas de financiación, certificación, junto con el control y seguimiento. A partir de la presentación y generación de este inventario se sientan las bases para la creación a futuro de más inventarios.

Por otro lado, se ha llevado a cabo una estrategia relacionada al cambio a una maquinaria cero emisiones en actividades mineras, por lo que a partir de esta oportunidad se pueden sentar las bases para tener un recambio a mayor escala y en otros ámbitos donde influyen las MMNC. A partir de este proyecto ya se tiene una idea de los costos y variables para tener en cuenta para proyectos a mayor o menor escala.

4.4 México

El país cuenta con un inventario de emisiones el cual es un instrumento para conocer el estado actual de las MMNC. No obstante, México no cuenta con normativa que regule la entrada al país de maquinaria usada, tampoco hay una regulación relacionada a las emisiones generadas por la MMNC por lo que se cuenta con el Proyecto de Normativo para los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes del escape de los motores nuevos y la maquinaria móvil nueva no de carretera para Diésel o normativa que regule la importación, homologación y control y evaluación de las MMNC que ya está en operación.

A pesar del vacío regulatorio se han adelantado esfuerzos para la mejora de la calidad del aire, uno de estos es la iniciativa apoyada por la Ciudad de México denominada Declaración de construcción limpia (Clean Construction Declaration), en el cual, la ciudad se compromete a exigir maquinaria de construcción de cero emisiones en proyectos municipales, teniendo en cuenta que los objetivos son (CDMX Construcción, 2020):

- Reducir las emisiones incorporadas en al menos un 50% para todos los edificios nuevos y remodelaciones para 2030.
- Disminuir las emisiones incorporadas en al menos el 50% de todos los proyectos de infraestructura para 2030.
- Adquirir y utilizar maquinaria de construcción de cero emisiones a partir de 2025.

México cuenta con el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ProAire ZMVM) 2021-2030, el cual es un instrumento de gestión que establece acciones para prevenir y revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire, con la puesta en marcha diversos programas y estrategias a escala local y federal con las que se ha visto, de manera significativa, una mejora en la calidad del aire (Secretaría del Medio Ambiente, 2021).

Condiciones habilitantes para el recambio de MMNC

México cuenta con el Inventario de emisiones de MMNC el cual sirve como un diagnóstico del estado de las MMNC, por lo tanto, a partir de este diagnóstico se abren las puertas para la generación de una normatividad que atienda las necesidades del sector teniendo en cuenta el contexto actual y el contexto internacional el cual sirve como referencia para la regulación de las emisiones, programas de financiación, certificación, junto con el control y seguimiento.

El país actualmente se encuentra en proceso de aprobación del proyecto de Normativo para los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes del escape de los motores nuevos y de maquinaria móvil nueva no de carretera para Diésel o normativa que también regule la importación, homologación y control y evaluación de las MMNC que ya está en operación, lo cual funciona como una base y hoja de ruta para que la reglamentación considere otros aspectos frente al manejo y regulación de la MMNC en México y de esta forma pueda actualizarse constantemente frente a este aspecto.

Por otro lado, México tiene la iniciativa de Declaración de construcción limpia (Clean Construction Declaration) del programa c-40, en el cual la Ciudad de México se compromete a exigir maquinaria de construcción de cero emisiones en proyectos municipales lo cual marca la hoja de ruta para que en futuros proyectos y planes de descontaminación se planteen metas a corto y mediano plazo relacionados a la implementación de MMNC de cero emisiones.

5. CONDICIONES DE ALQUILER O COMPRA

A partir de la información recolectada en las mesas de trabajo se identificaron condiciones de alquiler y compra para la MMNC. El Anexo 1. Reunión con CALAC+ y actores, presenta las actas de cada una de las mesas de trabajo realizadas con entidades como:

- SDA, SCAAV.
- SDA, SEGAE.
- CAMACOL.
- Cámara de Comercio de Bogotá, clúster de la construcción.
- Consejo Colombiano de construcción sostenible.
- IDU
- UMV
- Empresas fabricantes, importadoras y distribuidoras de MMNC o sus partes (nueva o usada)
- Empresas de alquiler de MMNC (usada)
- Constructoras o consorcios

De esta forma, con base a lo recopilado en las distintas mesas de trabajo, consultas a las entidades y visitas en campo se identificaron las condiciones y características de alquiler o compra de la MMNC en la ciudad de Bogotá desde los componentes técnicos, económicos y normativos.

5.1 Componente técnico de los procesos de alquiler y compra

En el presente componente a partir de las visitas en campo realizada se identifican los patrones de utilización de las fuentes móviles de uso fuera de carretera operadas o contratadas por las entidades distritales en Bogotá, en términos de las horas de operación al día y los días calendario de utilización, según tipo de maquinaria, proyecto y fase o etapa de este, de igual forma, también se hace una identificación en campo de los procesos de alquiler y compra los cuales se encuentran consignados en el Anexo 2. Formatos de salida de campo.

5.1.1 Identificación de actores en campo

Aprovechando los pilotos de mediciones de opacidad se hizo consulta a representantes del IDU y/o contratistas del mismo, consorcios, constructoras, sobre la operación de MMNC. Para este propósito se diseñó un formato de recolección de información (Anexo 2. Formatos de salida de campo), donde se consulta sobre el tipo de máquina, marca y modelo, tenencia, fabricación, condición, potencia, energía, operación, fase o etapa de la obra donde opera la maquinaria, periodicidad en mantenimientos, información de costos compra y/o alquiler, permisos con que cuenta la maquinaria, entre otros. La Tabla 36 presenta las obras visitadas junto con algunas características.

Tabla 36. Características generales puntos salidas de campo

Fecha del piloto	Obra	Contrato	Área o longitud de obra	Lugar	Ejecutor	Actuaciones
12/10/2023	Tramo 5 Avenida La Esperanza, calle 24, hasta la calle 46	Contrato 349 de 2020	77.546 m ²	Av. 68 en cercanías de la Av. Calle 26	Concreto	Rehabilitación de los dos puentes existentes, un puente vehicular curvo para los biarticulados, un deprimido, construcción de redes, urbanismo y espacio público.
12/10/2023	Calle 13 a Av. La Esperanza	Contrato 348 de 2020	1,96 km	Cercanía Calle 22 ^a - Canal San Francisco	Pavimentos Colombia	Construcción para la adecuación al sistema Transmilenio de la Avenida Congreso Eucarístico (Avenida Carrera 68) desde la Avenida Centenario (Calle 13) hasta la Avenida Esperanza (Calle 24) y obras complementarias en Bogotá D.C.

Fecha del piloto	Obra	Contrato	Área o longitud de obra	Lugar	Ejecutor	Actuaciones
12/10/2023	Tramo 5 Avenida La Esperanza, calle 24, hasta la calle 46	Contrato 349 de 2020	77.546 m ²	Av. 68 en cercanías de la Av. Calle 26	Concreto	Rehabilitación de los dos puentes existentes, un puente vehicular curvo para los biarticulados, un deprimido, construcción de redes, urbanismo y espacio público.
02/11/2023	Av. Congreso Eucarístico (Av. Carrera 68) desde la Av. Centenario (Calle 13) hasta la Av. Esperanza (Calle 24)	Contrato 1647 de 2020	---	Av. Cali entre la Av. Bosa y Av. Villavicencio	Consortio Santa María 004	Adecuación al sistema Transmilenio y obras complementarias
03/11/2023	Tramo 1 de la Troncal Av. Ciudad de Cali	Contrato 1653 de 2020	36.647 m ²	Av. Cd. De Cali entre Av. Villavicencio y Manuel Cepeda Vargas	OHL S.A. Sucursal Colombia	Carriles mixtos Carriles BRT Estaciones TM Ciclorrutas
17/11/2023	Calle 46 hasta la Av. Calle 99	Contrato 350 de 2020	2,08 km	Cerca a la Calle 47 con Av. carrera 68	Consortio LHS	Ciclopunte, zonas verdes de espacio público y Estación de TM

Fuente. Autores a partir de (Concreto, 2022c), (Concreto, s.f.), (Pavimentos Colombia, s.f.), (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022), (OHL, 2021) y (Grupo Empresarial LHS, 2023).

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)

El Instituto de Desarrollo Urbano es el encargado de ejercer obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de Bogotá, esto a partir de la estructuración y desarrollo de proyectos de infraestructura vial y movilidad multimodal, de forma sostenible, incluyente, innovadora y eficiente, para contribuir al desarrollo urbano de Bogotá Región y

mejorar la calidad de vida (IDU, s.f.). Es de resaltar que el IDU es el encargado de la planificación, diseño, ejecución y supervisión de los proyectos, de igual manera, este es el encargado de realizar los procesos de contratación esto a partir de la publicación de Proyecto de Pliego de Condiciones o la Invitación Pública en procesos de Mínima Cuantía: La finalidad de la publicación es de que los interesados al proceso realicen las observaciones a los requisitos señalados en los documentos publicados y conjuntamente se pueda definir unas reglas claras, objetivas, transparentes, que brinden pluralidad de oferentes en el proceso (IDU, 2016).

Considerando las funciones que ejerce el IDU en las obras este instituto resulta ser un actor clave para la identificación de las barreras y condiciones habilitantes en componentes relacionados al regulatorio, económico y técnico, debido a los procesos de contratación que maneja y los lineamientos técnicos con los que cuentan cada uno de los contratos que celebra esta entidad, asimismo, el IDU es un actor primordial como puente de comunicación con los contratistas que cuentan bajo su manejo MMNC. El IDU también lleva un registro de la MMNC implementada en cada una de las obras, lo cual permite tener una identificación micro de los patrones de uso de esta maquinaria en Bogotá.

Concreto

Concreto es una compañía con 60 años de experiencia en desarrollo de proyectos de infraestructura, edificaciones y vivienda en Colombia, Panamá y Estados Unidos. Está encargada de Desarrollar, construir, diseñar y gerenciar proyectos de infraestructura, edificaciones y vivienda con los más altos estándares de calidad y eficiencia, para algunos sectores como aeroportuario, logístico, transporte, institucional, salud, industrial, entre otros (Concreto, 2022b). Actualmente, se encuentra ejecutando cuatro proyectos para el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en Bogotá como Transmilenio Avenida 68 (grupo 5 y grupo 8), Ciclovía 116 (Concreto, 2022a).

Pavimentos Colombia

Pavimentos Colombia es una compañía colombiana con más de cinco décadas en el mercado dentro de los cuales han manejado proyectos de gran envergadura como doble calzadas, viaductos, pavimentación de pistas de aeropuertos y desarrollo urbanístico, especializándonos en el desarrollo de proyectos sostenibles que generan valor en Colombia y Perú. Igualmente, han construido más de 110 proyectos de infraestructura de transporte, participado en ocho concesiones viales en Colombia y actualmente tiene en ejecución 15 proyectos de infraestructura (Pavimentos Colombia, 2023).

Consorcio Santa María 004

El Consorcio Santa María 004 es una empresa que opera principalmente en el sector de la infraestructura (bnbamericas, s.f.), además es pertinente tener presente que este consorcio se encuentra dividido entre 2 integrantes que cuentan cada uno con un

porcentaje de operación de la obra en un 50%, estos son Alca Ingeniería S.A. la cual es una empresa de ingeniería civil (Alca Ingeniería & Construcción, 2022) y Castro Tcherassi S.A. constructora con más de 62 años de experiencia con más de 150 obras realizadas en vías, aeropuertos y consorcios (Castro Tcherassi, s.f.).

OHL S.A sucursal Colombia

OHL S.A es un grupo global de infraestructuras, con una presencia que se extiende a los cinco continentes y actuaciones en carreteras, ferrocarriles, puertos y hospitales, en el caso de Colombia cuenta con la adjudicación de nuevos contratos en los sectores aeroportuario y viario por un valor conjunto de más de 61,7 millones de euros. Con estos proyectos, OHL refuerza su presencia en este país en el que está presente desde 2008 (OHL, 2021).

Consortio LHS

El Grupo Empresarial LHS barca las líneas de negocios de: obras civiles y construcción de bienes inmuebles; producción y comercialización de mezclas asfálticas; producción, suministro y transporte de materiales pétreos y agroindustria. En los 20 años de trayectoria, tales como contratos de gran envergadura a nivel nacional en el área de la construcción con entidades del sector público como ANI, INVIAS, Gobernación de Antioquia e IDU y entidades privadas como EMGESA, Drummond LTDA, entre otras (Grupo Empresarial LHS, s.f.).

5.1.2 Tipologías de alquiler y compra

A partir de lo recopilado en las visitas en campo con los distintos actores involucrados se lograron identificar algunas condiciones relacionadas al alquiler y compra de la maquinaria las cuales están relacionados principalmente a los costos (relación costo-beneficio), tipología y condición relacionada a su vida útil, ya que dependiendo de estos factores los actores involucrados pueden optar por comprar la maquinaria o alquilarla.



En cuanto al proceso de compra, para que se lleve a cabo este proceso se depende de la relación costo-beneficio, el músculo financiero de la empresa, y tipología a adquirir, ya que de acuerdo a lo comentado por varios actores en las visitas en campo al momento de adquirir la maquinaria se considera si la empresa cuenta con la solvencia y las ganancias a futuro que significa la compra de maquinaria nueva o usada. Las empresas grandes suelen comprar maquinaria nueva para evitar gastos de mantenimiento correctivo y de preferencia las tipologías más comunes (excavadores, motoniveladoras, cargadores, vibrocompactadores).

En cuanto al alquiler, las empresas de construcción grandes suelen rentar maquinaria que no es tan común en la obra, como piloteadoras, en tanto que el resto de los equipos son adquiridos. Al contrario, empresas pequeñas recurren al alquiler de equipos más

frecuentemente. El costo de alquiler depende de las horas de uso, el tipo de maquinaria, modelo y marca. Se maneja el concepto de “stand-by” como el tiempo mínimo de renta de una máquina, independientemente esta sea usada o no en la obra.




En la visita a los pilotos de medición se identificaron en total 50 unidades de MMNC divididas en 12 distintas tipologías de distintas marcas que se emplean para la ejecución de las obras (Tabla 37 y Tabla 38).

Tabla 37. Tipologías identificadas en campo junto con imagen de referencia

Tipología	Referencia tipología
Autohormigonera	 <p data-bbox="724 890 1239 926">Fuente. (TRACSA The Rental Store, s.f.)</p>
Camión Grúa	

Tipología	Referencia tipología
Excavadora de ruedas	 <p>Fuente. (CAT, s.f.)</p>
Excavadora de oruga	
Minicargador	

Tipología	Referencia tipología
Motoniveladora	
Retroexcavadora	
Vibrocompactadora	

Tipología	Referencia tipología
Telehandler	 <p data-bbox="797 699 1166 737">Fuente. (United Rental, s.f.)</p>
Fresadora	
Piloteadora	

Tipología	Referencia tipología
Terminadora Asfáltica	

Fuente. Autores

Tabla 38. Tipología y marcas encontradas en obra

Tipología	Cantidad	Marcas
Autohormigonera	1	-
Camión Grúa	1	Link Belt
Excavadora de ruedas	3	JCB
Excavadora de oruga	11	CATERPILLAR
		XCMG
		John Deere
		Hitachi
		Komatsu
Minicargador	9	Lovol
		CASE
		New Holland
		John Deere
Motoniveladora	4	CATERPILLAR
		Bobcat
		SDLG
		Komatsu
Retroexcavadora	4	CASE
		CATERPILLAR
		John Deere
Vibrocompactadora	10	John Deere
		JCB
		VOLVO
		HAMM
		HYPAC
		Dynapac
Hammer Head		
		Bomag

Tipología	Cantidad	Marcas
Telehandler	1	JCB
Fresadora	3	Wirtgen
		Roadtec
Piloteadora	2	Junttan
		Mait
Pavimentadora de Asfalto	1	Vogele

Fuente. Autores

El tipo de maquinaria y cantidad depende de la etapa de la obra, así como del tiempo de ejecución. La Tabla 39 presenta las etapas y funciones de la maquinaria de construcción identificado en los frentes de obra en los pilotos de CALAC+, de esta forma se puede identificar grosso modo la maquinaria necesaria para algunos frentes de obra.

Tabla 39. Función de la MMNC identificada en campo

Función de la MMNC	Características	Tipología MMNC
Movilización y montaje	Al tener ya aislada el área de construcción se lleva acabo la logística, movilización y montaje de las instalaciones, junto con el movimiento de distintos materiales.	Camión grúa y piloteadora, grúa, telehandler
Movimiento de materiales	Maquinarias destinadas a alzar, bajar y acarreo de material dentro de la obra.	Camión grúa
Excavación y movimiento de tierras	Esta maquinaria está relacionada a la preparación del terreno como lo es la nivelación y limpieza de la zona, junto con el movimiento de tierras.	Excavadora de ruedas y de oruga, retroexcavadora, minicargadores y motoniveladora
Compactación	Relacionado a la preparación del terreno está el proceso de compactación que incrementa la densidad del suelo.	Vibrompactora
Perforadoras	Empleadas en la construcción especial de caminos, canales y túneles (RHEINMENTALL, s.f.)	Piloteadora

Función de la MMNC	Características	Tipología MMNC
Construcción de carreteras	Equipos diseñados para el transporte del material y construcción de pavimentos,	Fresadora
Producción y tratamiento de hormigón	Equipos diseñados para fabricar, transportar y descargar el hormigón.	Autohormigonera

Fuente. Autores a partir de (OVACEN, 2017), (Fundación estatal para la prevención de riesgos laborales F.S.P., s.f.), (DEMALQ, s.f.), (Universidad Nacional de Ingeniería, 2008) y (MADS & COSUDE, 2022).

En cuanto a la proveniencia de la MMNC observada en campo, de acuerdo a la marca es posible identificar el país de fabricación (Tabla 40), lo cual, no significa que la máquina se haya comprado de dicho país, pues pudo haber sido importada ya usada de otro país. En cuanto al origen de la máquina, sobresalen las fabricada en Estados Unidos, seguidos de Alemania, China y Japón.

Tabla 40. Países de las marcas identificadas

Marca	País de las marcas identificadas
Liebherr	Alemania
Bomag	Alemania
HAMM	Alemania
Wirtgen	Alemania
XCMG	China
Lovol	China
SDLG	China
CAT	Estados Unidos
John Deere	Estados Unidos
CASE	Estados Unidos
Bobcat	Estados Unidos
HYPAC	Estados Unidos
Junttan	Finlandia
Hitachi	Japón

Marca	País de las marcas identificadas
Komatsu	Japón
JCB	Reino Unido
VOLVO	Suecia

Fuente. Autores

5.1.3 Condiciones de mantenimiento

De acuerdo a lo observado en campo, la maquinaria no ha sido objeto de re-fabricación o repotenciación, por lo que se mantiene en las condiciones originales en las que se compraron. Por otro lado, la vida útil de las máquinas es variable, y depende de la cantidad de horas de uso y el mantenimiento (preventivo y correctivo). La diferencia entre ambos mantenimientos es la periodicidad con la que se realizan, el mantenimiento preventivo es el que indica el fabricante para cada maquinaria, e incluye el cambio de aceite y filtros, el engrase, etc, tratando de prevenir averías (Recanpri S.L. Recambios de maquinaria, 2021). Según las visitas de campo, este mantenimiento se suele hacer cada cinco meses o cada 250 o 300 horas. Es común clasificar el mantenimiento en cinco niveles (Tabla 41).

Por otra parte, el mantenimiento correctivo es el que ocurre cuando ya se detectan elementos desgastados, que llegan al final de su vida útil, o con averías (Recanpri S.L. Recambios de maquinaria, 2021).

Tabla 41. Niveles de mantenimiento

Nivel de mantenimiento	Características
Primer nivel	<p>Corresponde a intervenciones sencillas y necesarias realizadas en elementos fácilmente accesibles. Se trata, por tanto, de operaciones que no requieren el desmontaje o la apertura del equipo, y que pueden ser realizadas por el propio operario o por un operario no especializado.</p> <p>Para estas intervenciones se utilizan pocas piezas de recambio o consumibles. No suponen un riesgo especial para la seguridad si se dispone de las instrucciones esenciales, por ejemplo, en un folleto o en instrucciones visuales.</p>

Nivel de mantenimiento	Características
Segundo nivel	<p>Corresponde a intervenciones poco complejas y cuyos procedimientos son sencillos de seguir. Además, la sustitución de piezas durante estas operaciones no requiere el desmontaje completo del equipo en cuestión.</p> <p>Estas operaciones deben ser realizadas por un técnico cualificado que haya recibido formación sobre seguridad y riesgos. Por lo tanto, suelen ser realizadas por un técnico de cualificación media.</p>
Tercer nivel	<p>Corresponde a las intervenciones complejas. Por lo tanto, deben ir precedidos de un diagnóstico y una identificación. Pueden realizarse in situ o en un taller de mantenimiento, y deben tener en cuenta el equipo en su conjunto, ya que la modificación de un elemento puede tener consecuencias en su funcionamiento general.</p> <p>Las intervenciones de mantenimiento de nivel tres deben ser realizadas por técnicos especializados con las herramientas indicadas en las instrucciones de mantenimiento de la máquina.</p>
Cuarto nivel	<p>Las intervenciones de mantenimiento de nivel cuatro son operaciones complejas e importantes que requieren conocimientos técnicos específicos.</p> <p>Por lo tanto, deben ser realizadas por un técnico especializado o un equipo de técnicos con una cualificación específica, supervisados por un responsable especializado.</p> <p>Estas operaciones se realizan en talleres que disponen de herramientas adecuadas, documentación y bancos de medición.</p>

Nivel de mantenimiento	Características
<p style="text-align: center;">Quinto nivel</p>	<p>incluye acciones complejas llevadas a cabo por el fabricante del equipo o por una empresa aprobada por él. Las acciones que realiza son similares a las de fabricación.</p> <p>Ejemplos de intervenciones de mantenimiento de nivel 5 son la reconstrucción o reparación de equipos o la adecuación de los mismos a la nueva normativa.</p>

Fuente. Autores a partir de (Mobility Work, 2023)

Como se mencionó anteriormente, los niveles de mantenimiento están ligados a las horas de uso de la máquina (Tabla 42).

Tabla 42. Mantenimiento por horas

Mantenimiento por hora	Características y objeto de mantenimiento
<p style="text-align: center;">50 horas de uso</p>	<p>Durante este mantenimiento, un técnico realiza la inspección de la máquina. Se debe de hacer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de aceite • Revisión de los niveles de refrigerantes del motor (búsqueda de fugas, niveles bajos, etc) • Lubricación • Lectura de contadores • Control ensuciamiento filtro.
<p style="text-align: center;">250 horas de uso</p>	<p>Durante este mantenimiento, un técnico realiza la inspección de la máquina. Así mismo, se debe de revisar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lubricación • Nivel de aceite o cambio de aceite y filtro de aceite • Sistema eléctrico • Tensión de la correa del compresor • Niveles de electrolito en la batería • Limpieza de los elementos constituyentes del filtro de aire primario • Funcionamiento freno

Mantenimiento por hora	Características y objeto de mantenimiento
500 horas de uso	<p>El técnico revisa o cambia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de aceite y filtro del motor • Cambio del filtro de combustible • Cambio de filtros del tren de potencia y lubricación de la dirección • Comprobar el nivel de aceite en la caja de mando final, añadir aceite • Cambio de respiradero de tanque hidráulico • Toma de muestra de fluidos de la máquina para análisis en concesionario o experto • Engrasado de la corona de giro o cojinete
1.000 horas de uso	<p>Durante este mantenimiento, se realiza una revisión más intensiva, ya que las piezas estarán más desgastadas y posiblemente se requiera un cambio de bujías, filtro de aire, limpieza de sistema de frenos, cambio de aceite y filtro hidráulico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de aceites de la caja del tren transmisor de potencia, lavar los coladores • Comprobar y limpiar el colador de combustible • Limpiar el respiradero de la caja del embrague • Lubricar polea tensora • Comprobar el apriete de las piezas del turbocompresor • Sustituir el elemento de filtro de carga • Cambio de filtros de aceite piloto • Revisar nivel de refrigerantes

Mantenimiento por hora	Características y objeto de mantenimiento
2.000 horas de uso	<ul style="list-style-type: none"> • Comprobar el nivel de aceite del muelle recuperador • Revisión válvulas del motor y ajuste • Cambio de aceite de los mecanismos de autopropulsión
4.000 horas de uso	<ul style="list-style-type: none"> • El conjunto del amortiguador del cigüeñal no puede repararse y debe cambiarse cada cuatro años o cada 4000 horas uso.
5.000 horas de uso	<ul style="list-style-type: none"> • Realice un cambio completo del aceite del sistema hidráulico. • Revise los niveles de aceite de la bomba hidráulica asegurando que esté llena en su totalidad. • Realice un cambio de los filtros de tapa del respiradero del depósito de aceite del sistema hidráulico. • Vaciado y purgado del sistema de enfriamiento.

Fuente. Autores a partir de (Maquinarias pesadas, 2019), (Axperts, 2017), (SECSA, 2017)

5.2 Componente económico de los procesos de alquiler y compra

Es importante tener en cuenta que el alquiler de maquinaria pesada en Colombia es una actividad económica definida en los códigos CIU 7730 “Alquiler y arrendamiento de otros tipos de maquinaria, equipo y bienes tangibles sin operador” y CIU 4390 “Otras actividades especializadas para la construcción de edificios y obras de ingeniería civil”. Esta actividad permite a una empresa brindar los servicios de alquiler de maquinaria y equipos propios de la construcción y la industria con o sin incluir operadores. Adicionalmente el mercado permite la venta de maquinaria nueva y usada, preservando los lineamientos estipulados por la normatividad colombiana.

Al nivel internacional y dentro del mercado colombiano existe una serie de empresas que destacan como fabricantes, ya sea por su nivel tecnológico o su presencia y reconocimiento en el mercado, como pueden ser:

- **Caterpillar:** Corporación estadounidense quien figura como el principal fabricante del mundo en equipos de minería y construcción, turbinas industriales, motores y locomotoras Diesel y a gas.
- **Komatsu:** Es una compañía japonesa que fabrica maquinaria para la construcción, pero también de tipo industrial, uso militar, tecnologías láser y módulos eléctricos.

- **Hitachi Construction Machinery:** Es una empresa japonesa dedicada a la fabricación, venta y servicio de maquinaria de construcción, maquinaria de transporte y otros dispositivos.
- **Volvo Construction Equipment:** Es una compañía internacional que desarrolla y comercializa maquinaria para construcción e industrias relacionadas.
- **Kobelco:** Es una compañía de origen estadounidense creada en 1930, la cual se destaca por ser uno de los fabricantes de maquinaria pesada más grande del mundo.
- **John Deere:** Es un fabricante de maquinaria agrícola y de construcción de origen estadounidense.

Durante el proceso de consulta de información se encontró que las empresas dedicadas a la venta de equipos nuevos y alquiler maquinaria pesada tipo MMNC, mantiene bajo reserva su información de precios, así como sus inventarios y condiciones de contratos; esta información solo es compartida con personas realmente interesadas en comenzar una relación comercial con estos; páginas web, publicaciones e información publicitaria, no mencionan abiertamente los precios, disponibilidades o condiciones de alquiler o compra; para acceder a esta información fue necesario un acercamiento con estas empresas aludiendo a un supuesto interés comercial gracias al apoyo de una empresa de construcción legalmente constituida y creando un escenario de interés en compra y alquiler de maquinaria para un proyecto de construcción vial.

Al establecer este escenario se encontró que el proceso para la compra de una maquinaria “nueva” el alquiler de una MMNC en la ciudad de Bogotá y en general para el resto del país tiene el siguiente comportamiento.

- **Primer contacto con la empresa proveedora:** Las empresas dedicadas a la venta de equipos nuevos o alquiler de maquinaria, exponen las referencias de MMNC que disponen ya sea por medio de redes sociales, páginas web o avisos publicitarios. Es por esto que el primer contacto es una revisión de los equipos y una evaluación por parte de la persona interesada sobre las necesidades que pueda tener.
- **Asignación de un agente comercial:** Tras realizar el primer contacto, es habitual proceder a la asignación de un agente comercial por parte de la empresa proveedora, el cual dará la introducción de su empresa, preguntara por las necesidades que tenga la persona que se contacta con ellos, la ciudad en que usaran los equipos, el tipo de maquinaria requerida y se establecerá la mejor opción de equipos que se ajusten a las necesidades del cliente. Es normal que estos agentes soliciten reuniones presenciales para esclarecer dudas y presentar el portafolio completo de sus productos.
- **Solicitud de cotización:** Al momento de consultar por los precios de venta o alquiler, el agente procederá a solicitar el RUT de la empresa o persona que hace la consulta de sus equipos, según ellos esta solicitud es necesaria para realizar el registro como “prospecto”, si por alguna razón no se cuenta con este documento, no es posible el suministro de más información por parte del agente comercial. Tras la entrega del RUT, es presentada la cotización de los equipos solicitados.

- **Cierre de negocio:** Después de recibir la cotización con los equipos relacionados, la persona interesada en adquirir el equipo está en la capacidad de pedir un reajuste en el costo presentado, pues este no es un valor definitivo. Las condiciones que pueden afectar el costo de venta o alquiler final están relacionadas con la cantidad de equipos que se requieren, pues entre más equipos sean alquilados o comprados es posible tener un descuento en el precio final. Otro factor relevante en el caso de los contratos de alquiler son los tiempos, pues entre más tiempo se requiere un equipo se puede acceder a descuentos en los costos de alquiler de entre un 15 hasta un 25% del precio pactado inicialmente.
- **Asignación de crédito:** Normalmente las empresas que su actividad económica se centra en la venta de maquinaria nueva presentan formas de pago para la adquisición de los equipos o redirigen a los clientes con asesores bancarios asociados con ellas y de esta forma acceder a formas de crédito. Por otro lado, las empresas cuya actividad es el alquiler de maquinaria generan un “crédito” para el alquiler de los equipos, pues la facturación se realiza a mes vencido, por lo que para producir el suministro de los equipos es necesario contar con esta línea de crédito; el valor de este “crédito” varía con relación a la capacidad de pago de la empresa o persona interesada, así como el tiempo de relación comercial que lleven. Si por alguna razón no es posible asignar una línea de crédito el pago de los equipos debe ser de contado para el caso de la compra de maquinaria nueva o por medio de la firma de un pagaré en blanco y un depósito de hasta el 45% del valor comercial de la maquinaria solicitada en el caso de alquiler.

5.2.1 Procesos de compra de MMNC nueva

La industria colombiana no posee la capacidad técnica ni la tecnología necesaria para la fabricación de maquinaria pesada; por lo anterior es que toda la maquinaria que opera en Colombia debe ser importada. Este proceso está reglamentado por el decreto 723 de 2014 (Circular-047-de-2012-Decreto-2261-de-2012), por el cual se establecen medidas para regular, registrar y controlar la importación y movilización de la maquinaria clasificable en las subpartidas 8429.11.00.00, 8429.19.00.00, 8429.51.00.00, 8429.52.00.00, 8429.59.00.00, 8431.41.00.00, 8431.42.00.00 y 8905.10.00.00 del Arancel de Aduanas y se dictan otras disposiciones (Tabla 43).

Tabla 43. Subpartidas arancelarias afectadas por el Decreto 723 de 2014

Subpartida arancelaria	Descripción de la Mercancía
8429.11.00.00	Topadores frontales (“bulldozers”) y topadoras angulares (“angledozers”), de orugas, autopropulsadas.
8429.19.00.00	Las demás topadoras (“bulldozers”) y topadoras angulares (“angledozers”), autopropulsadas.
8429.51.00.00	Cargadoras y palas cargadoras de carga frontal, autopropulsadas

Subpartida arancelaria	Descripción de la Mercancía
8429.52.00.00	Máquinas cuya superestructura puede girar 360 grados, autopropulsadas.
8429.59.00.00	Las demás palas mecánicas y excavadoras, cargadoras, y palas cargadoras, autopropulsadas.
8431.41.00.00	Cangilones, cucharas, cucharas de almeja, palas y garras o pinzas, de máquinas o aparatos de las partidas 84.26, 84.29 u 84.30.
8431.41.00.00	Hojas de topadoras frontales (“bulldozers”) o de topadoras angulares (“angledozers”).
8905.10.00.00	Dragas.

Fuente. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2012)

Al momento de determinar el presupuesto de un proyecto de construcción vial, la maquinaria pesada puede representar un porcentaje significativo del proyecto; por lo mismo, los contratistas buscan siempre optimizar al máximo las actividades, adquiriendola maquina para su actividad y buscando no incurrir en sobrecostos o desgaste prematuro de equipos. Es por esto por lo que el mercado colombiano tiene una gran variedad de MMNC nueva disponible para venta con diversos fabricantes, capacidades, y tecnologías.

Ahora bien, el costo de la maquinaria nueva en Colombia es determinado en primera medida por i) la potencia o capacidad de la maquinaria, seguido de ii) la reputación y renombre de la marca fabricante y el nivel tecnológico de la misma.

A continuación, se ilustra el precio internacional de MMNC para el año 2021, resaltando su variación respecto a la potencia o caballos de fuerza y discriminando fabricantes como Caterpillar, Volvo, John Deere o Kobelco los cuales suelen ser los más representativos en Colombia.

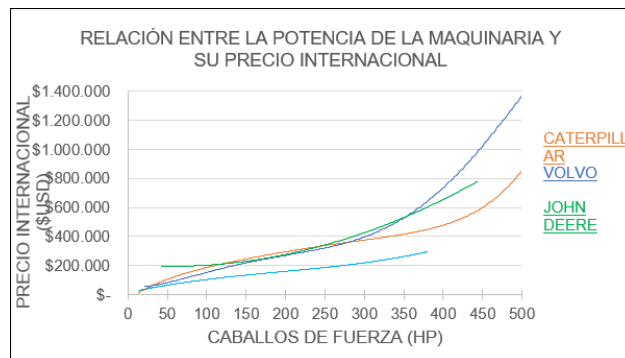


Figura 12. Precio internacional de maquinaria pesada nueva discriminada por su fabricante y potencia

Fuente. Autores

De la Figura 12 se puede determinar que las marcas con un amplio reconocimiento internacional como Caterpillar, John Deere o Volvo se caracterizan por una mayor tecnología en sus inventarios. Se evidencian motores con alto potencial y rendimiento operativo, y tecnologías que permiten la reducción en los consumos de combustible, pero con costos superiores comparados con otros fabricantes como Kobelco que tiene maquinaria con una misma potencia en sus motores, pero con un costo de venta inferior.

Esto resulta relevante ya que, un comprador potencial, al momento de consultar el mercado es más probable que se incline por una marca que le ofrezca un mejor precio de venta a pesar de que su tecnología sea inferior, con el fin de aumentar su margen de ganancia y optimizar su presupuesto.

En Colombia para el año 2023 no existe una normatividad que regule o mantenga un control sobre las emisiones propias de la maquinaria pesada o MMNC; pues no será sino hasta el año 2024 que entrará en vigencia la Resolución 762 de 2022, “Por la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres”. Es por esto, que en la actualidad aún se encuentra maquinaria nueva con estándares de emisiones que ya han sido remplazados o actualizados internacionalmente.

Un ejemplo esto se presentó al consultar empresas dedicadas a las importación y venta de maquinaria pesada en la ciudad de Bogotá, como lo es “Rodríguez y Londoño SA”; la cual es una empresa con más de 44 años de experiencia en la importación y venta de maquinaria nueva de fabricantes como KOBELCO, JCB, DYNAPAC; al consultarse sobre los estándares de emisiones de la maquinaria disponible en su inventario, la compañía reconoció que la mayoría de sus equipos cumplen con un estándar Tier2; al consultarse sobre maquinaria con un estándar de emisiones superior, la respuesta fue que “una maquinaria con estándares superiores representaría un aumento de entre un 20 y 30 % en el costo de venta comparados con equipos de las mismas capacidades, pero con un estándar menor, volviendo así poco atractivos para el mercado el uso de maquinaria con estándares superiores”.

A continuación, se presenta una relación de maquinaria pesada con capacidades y potencia similares (228 a 273 HP) de diferentes fabricantes y con estándares de emisiones diferentes disponibles en el mercado colombiano.

Tabla 44. Precio internacional de maquinaria con capacidades similares y diferentes estándares de emisiones

Fabricante	Referencia	Precio internacional (\$USD)	Potencia (Hp)	Certificación de emisiones
KOBELCO	SK300LC-10	\$ 179,994	232	Tier 2

Fabricante	Referencia	Precio internacional (\$USD)	Potencia (Hp)	Certificación de emisiones
JOHN DEERE	350G LC	\$ 329,026	271	Tier 3
VOLVO	EC300DL	\$ 316,100	228	Tier 4
CATERPILLAR	335	\$ 381,396	273	Tier 4

Fuente. Autores

De la Tabla 44 se puede determinar que los precios entre maquinarias con capacidades o potencias similares pueden tener una variación importante respecto al fabricante y al estándar de emisiones que presentan, convirtiéndose en un punto importante de comparación y apoyado la teoría que un estándar de emisiones superior puede llegar a ser menos atractivo para un posible comprador.

A continuación, se representa el costo internacional de la maquinaria pesada nueva disponible en el mercado colombiano y discriminada por el estándar de emisiones que el fabricante asegura poseer (Anexo 3. Alquiler y venta de maquinaria).

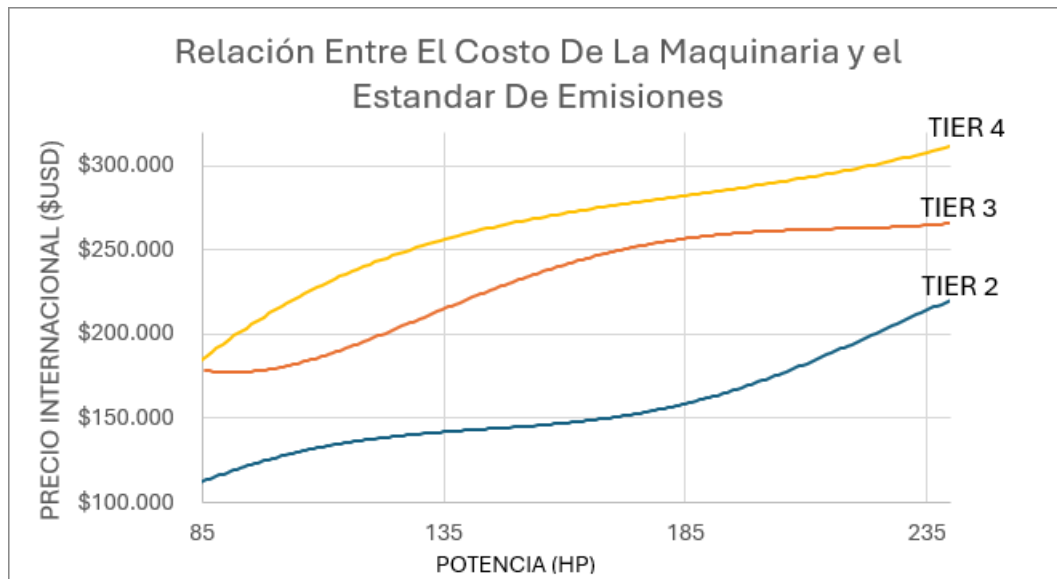


Figura 13. Precio internacional de maquinaria pesada nueva discriminada por el estándar de emisiones

Fuente. Autores

En la Figura 13 nuevamente se evidencia que un estándar superior de emisiones en maquinarias con capacidades similares representa un mayor costo en el precio de una maquinaria nueva.

5.2.2 Procesos de compra de MMNC usada

La compra y venta de maquinaria pesada usada en Colombia es una actividad regulada por el Ministerio de Transporte mediante el RNMA según lo estipulado en la Resolución 1068 del 23 de abril de 2015.

La venta de maquinaria usada en Colombia se considera una actividad privada en donde el precio es acordado entre el vendedor y comprador dependiendo de las condiciones del equipo. La publicación de esta maquinaria es desarrollada principalmente mediante plataformas digitales como son tumaquinaria.com, mercado libre Colombia, superbid.com.

El costo de la maquinaria usada es determinado principalmente por:

1. La potencia o capacidad de la maquinaria, así como sus características operativas; en segundo lugar.
2. La cantidad de horas que el equipo haya estado en servicio.
3. Reconocimiento y reputación propia de la marca fabricante.
4. El año de fabricación.

A continuación, se presenta un diagrama ilustrando la depreciación promedio que sufre la maquinaria usada respecto a la cantidad de horas que está a permanecido en operación, subdividida por su grupo de operación, entre maquinaria pesada grande (>250Hp), maquinaria pesada mediana (121Hp-250Hp), maquinaria pesada pequeña (76Hp-120Hp) y maquinaria pesada tipo mini (0-75Hp).

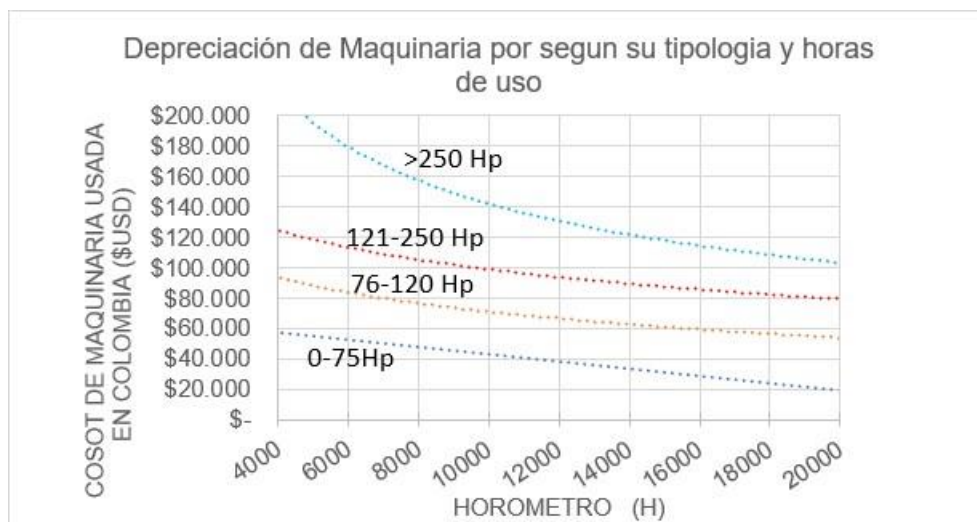


Figura 14. Depreciación en el precio de maquinaria pesada usada discriminada por la cantidad de horas en operación

Fuente. Autores

De la Figura 14 se puede determinar que la depreciación en el precio de venta de la maquinaria usada en Colombia es ampliamente influenciada por la cantidad de horas que

el equipo haya estado en operación. También se evidencia que un equipo con 20.000 horas de operación puede venderse por tan solo una pequeña fracción del precio que se pagaría por una maquinaria nueva; esto se debe principalmente a que una maquinaria con tanta cantidad de horas operativas suele tener altos costos de mantenimiento, convirtiéndose en un equipo poco productivo.

Relacionado al proceso de compra se identificó que existen páginas como “Tu Maquinaria” (Maquinaria Usada)⁷, la cual funciona como un portal para la venta de maquinaria especialmente usada en Colombia. Esta empresa es una marca aliada de Partequipos, con más de 20 años de experiencia en la comercialización de repuestos y venta de maquinaria nueva y usada (TU MAQUINARIA, s.f.). Este portal cuenta en su inventario de venta con 43 diferentes tipos de marcas, de las cuales se destacan: Link-Belt, HITACHI, KOBELCO, KOMATSU, JCB, Bobcat, John Deere, New Holland, Hyundai, Volvo, entre otro.

5.2.3 Procesos de alquiler

El proceso de alquiler de maquinaria en la ciudad de Bogotá es una actividad económica que consiste en que un proveedor o dueño de la maquinaria entrega a su cliente un equipo en condiciones de trabajo, por un periodo de tiempo acordado.

Dentro de las condiciones de alquiler se resalta que siempre las mantenciones preventivas y reparaciones propias del equipo corren por cuenta del proveedor o dueño del equipo y que ante cualquier falla o problema este debe asegurar al cliente el cambio por otro equipo en condiciones o una respectiva compensación económica.

Otros factores como el operador, combustible, mantención diaria, elementos de desgaste, rellenos de lubricantes, seguro específico, transporte y reparaciones o daños producto de mala operación normalmente son responsabilidad del cliente que adquiere el equipo a menos que las negociaciones indiquen lo contrario.

El costo de alquiler de la maquinaria en Colombia es determinado en primera medida por la potencia o capacidad de la maquinaria. Al momento de la negociación del alquiler de una maquinaria factores como el fabricante, horas de uso anteriores o año de fabricación no representa un concepto que influye en el costo de alquiler, debido a que estos factores no hacen parte de la negociación, ya que como ya se había expresado, el proveedor es quien alquila la maquinaria y es responsable de los mantenimientos, fallas o problemas que pueda presentar el equipo alquilado; es así que, lo que para la empresa o persona que quiere el servicio realmente importa es suplir las necesidades de trabajo que se tenga y que ante cualquier falla la respuesta sea eficiente para un arreglo o cambio.

A continuación, se presenta el costo de alquiler por hora en equipos disponibles en el mercado colombiano de dos de las principales casas de alquiler de maquinaria pesada

⁷ Tu Maquinaria Usada: <https://tumaquinaria.com.co/maquinaria-usada/>

como son Sk Rental o Casa Toro rental, discriminados por la potencia de sus equipos disponibles.

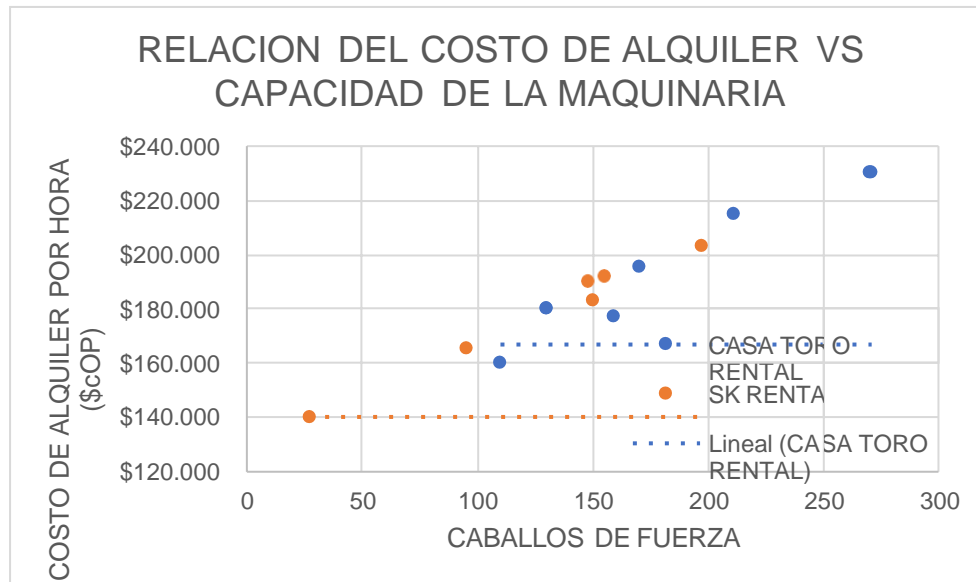


Figura 15. Costo de alquiler en maquinaria pesada discriminada por su potencia y capacidad de operación

Fuente. Autores

En la Figura 15 se puede determinar que el costo de alquiler tiene una tendencia lineal determinada únicamente por la capacidad o potencia de la maquinaria que se alquila.

El proceso de facturación o cobro del alquiler se realiza considerando un valor/hora de la máquina; esto es posible realizarse gracias a que los equipos cuentan con un horómetro, el cual es un medidor que registra la cantidad de horas que el equipo se encontró encendido y realizando trabajos. Con este concepto aclarado se define que el valor/hora de un equipo en el mercado es definido por la capacidad y potencia de la máquina que se está solicitando, sumado al tiempo que la maquina permanecerá bajo alquiler y la cantidad de maquinaria alquilada.

Es por esto que difícilmente se encuentra maquinaria con una antigüedad mayor a 10 años disponible para alquiler, pues los costos de mantenimiento de estos equipos podrían ser un problema para las empresas que prestan el servicio de alquiler.

Conociendo que el proceso de cobro en un contrato de alquiler de maquinaria se realiza por hora, existe un concepto denominado Stand-By, el cual es un periodo de tiempo donde el proveedor reconoce que el equipo puede permanecer apagado sin generar un cobro al cliente, pues no es rentable para una empresa pagar por un equipo apagado.

Ahora bien, revisando las principales empresas de renta de maquinaria pesada en la ciudad de Bogotá, se evidencia que las principales compañías dedicadas a esta actividad son Sk rental y Casa Toro rental; estas empresas se dedican exclusivamente al alquiler de maquinaria pesada y poseen un inventario de equipos con una antigüedad inferior a 5

años (Anexo 4. Inventario disponible para alquiler Casa Toro Rental) los contratos se realizan normalmente por un periodo mínimo de 1 mes y un stand-by de hasta 18 horas diarias, sus inventarios estas en constante renovación y al culminar cierto tiempo de servicio (normalmente antes de las 6.000 horas de trabajo) son vendidos mediante subasta pública o venta directa a cualquier persona natural o jurídica que posea la capacidad de pago y de esta manera actualizar sus inventarios.

Por otro lado, se encuentran las empresas dedicadas a la renta de maquinaria pesada en conjunto con otras actividades como pueden ser Conequipos o Sar VicoVias y Construcciones SA; estas empresas mezclan el alquiler de herramientas o equipos menores e inclusive también actividades de ingeniería con el alquiler de maquinaria pesada; este tipo de empresas suelen ser segundos compradores de maquinaria pesada, sus inventarios son más reducidos y los equipos suelen tener más de 6.000 horas de trabajo. Los contratos de arrendamiento con este tipo de empresas tienen un tiempo mínimo de alquiler menores en comparación con las empresas principales, encontrando periodos de alquiler mínimos de una semana o menos, siendo una ventaja para los clientes que necesitan los equipos por un corto periodo, sin embargo, los tiempos de Stand-By son también menores, llegando incluso hasta las seis horas diarias; esto ocurre porque los costos de mantenimiento y administrativos suelen ser superiores al tratarse de equipos con más horas de trabajo y con requerimientos de mantenimiento más estrictos, y buscando preservar la rentabilidad de los equipos.

5.2.4 Empresas de venta y alquiler en la ciudad de Bogotá

Adicional a la participación en los pilotos de medición de opacidad descritos en el “Componente técnico de los procesos de alquiler y compra”, se llevaron a cabo reuniones en forma presencial o telefónica a un grupo de muestra de empresas de venta y alquiler de MMNC en la ciudad de Bogotá, como lo fueron: SK Rental, SANY, Moto Mart S.A., RYLSA S.A., Rentsol, Gecolsa, Navitrans y Komatsu. Adicionalmente se consultaron los portales web de tumaquinaria.com.co y BeMarket.com.

Como se puede apreciar en la Tabla 45, existe una gran tipología de maquinaria en la ciudad disponible para alquiler y venta, en especial de las líneas de mayor uso en obras de construcción, como son excavadoras, retroexcavadoras, cargadores y niveladoras. Entre las distribuidoras visitadas, RYLSA es la que posee un mayor número de tipologías (17), seguida de SANY (15) y Gecolsa con 12 tipologías ofertadas. En cuanto a los portales web BeMarket ofrece en venta 12 tipologías y tumaquinaria.com.co 10 tipologías. Finalmente relacionado a la renta de equipos SK Rental oferta 11 distintas tipologías y Rentsol 8 tipologías.

Tabla 45. Compilación de tipologías ofertadas por las distribuidoras y páginas web

Fuente. Autores

A continuación, se presentan la información recopilada en las visitas presenciales o telefónicas con las empresas distribuidoras de maquinaria.

MOTO MART S.A.

Moto Mart S.A. es una empresa colombiana con más de 40 años de experiencia en la comercialización de maquinaria agrícola, amarilla, industrial y de construcción (Moto Mart S.A., 2023), y cuentan con sedes en Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Medellín, Palmira, Villavicencio.



Figura 16. Logo de Moto Mart S.A.

Fuente. (Moto Mart S.A., 2023)

Moto Mart S.A. es distribuidor exclusivo de marcas como Kubota, Hidromek, Hyundai, Michigan, Maximal, Bad Boys Mowers y MKT, en especial, para la industria de la construcción comercializan marcas como Hidromek con tecnología turca y motores japoneses. Igualmente, comercializan las marcas Michigan de E.E.U.U. y Kubota de Japón, además en su catálogo cuentan con maquinaria como miniexcavadoras, minicargadores, retroexcavadoras, excavadoras, motoniveladoras y rodillos compactadores (Tabla 46).

Tabla 46. Tipologías de maquinaria comercializado por MotoMart S.A.

Tipología	Total	Porcentaje
CF	4	22%
ER	2	11%
EO	2	11%
MC	1	6%
ME	3	17%
MN	1	6%
RT	4	22%
VC	1	6%
Total general	18	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

La maquinaria que maneja Moto Mart S.A. funciona con Diésel y el parque actual se compone mayormente de tecnología Tier 3 o Stage III-A, aunque algunas variantes de máquinas pueden ser Tier 4i o Stage V (Anexo 5. Base de datos páginas web). Según conversaciones con representantes de Moto Mart S.A., a partir de agosto de 2024 tendrán disponibilidad de maquinaria con tecnología Tier 4 en Colombia. Por el momento no cuentan con la distribución de maquinaria eléctrica.

En cuanto a los costos y líneas de pago relacionadas, esta empresa cuenta con una línea de financiación con Davivienda, Bancolombia o AgroHelp S.A.S. financiera (en caso de ser maquinaria agrícola), en donde se llevan a cabo estudios para identificar la liquidez de la persona u empresa que desee llevar a cabo la compra.

Igualmente, maneja distintas modalidades de pago, la primera es la modalidad de parte pago relacionada a la retoma de un equipo en donde Moto Mart S.A. hace el estudio de revisión de la maquinaria para evaluar su estado actual y de esta forma concluir si aplica para el plan de retoma, esto basado en su funcionalidad, en caso de que se lleve a cabo esta modalidad una de las ventajas relacionadas a esta es la reducción en el precio final de la nueva MMNC a adquirir. La segunda modalidad que aplican es otro tipo de plan retoma el cual también aplica a maquinaria usada, ya que esta modalidad cuenta con las características de que funciona bajo la compra a futuro de la maquinaria que fue usada por el cliente en obra, es decir, si el cliente en su momento usó la maquinaria en obra bajo

alquiler es decir “modalidad de renting” en donde trabajan con la MMNC bajo un contrato de arrendamiento, existe la opción de que al momento de devolverla a Moto Mart S.A. este mismo cliente puede adquirir a futuro ese mismo equipo en donde se incluye el costo de depreciación de esta.

Por otro lado, en cuanto a las garantías de compra esta empresa ofrece garantía total, servicio post-venta y repuestos originales para todos sus equipos importados. Por lo que existen dos tipos de garantías, la primera es de un año o hasta que se alcancen las 1200 horas, alternativamente, la segunda garantía es a los dos años o hasta que se alcancen las 2000 horas, además tienen una línea especial de “renting” para los montacargas⁸.

Relacionado a los mantenimientos periódicos manejados en Moto Mart S.A. estos se hacen cada 250 horas, además cuentan con la facilidad de tener técnicos que están distribuidos en el país, por ende, los repuestos que manejan cada una de las maquinas son fáciles de conseguir, además esta empresa cuenta con un almacén en Colombia lo que hace que sea mucho más fácil conseguir los repuestos y poder llevar a cabo los procesos de mantenimiento periódicos.

Asociado al conocimiento de la nueva Resolución 762 de 2022 Moto Mart S.A. no cuenta con un plan de acción claro para la importación de maquinaria con mejores tecnologías, debido a que al momento de generar la visita no se tenía conocimiento de esta nueva Resolución y lo que implica la entrada en vigor de la misma.

SANY

SANY es una empresa fabricante de origen Chino, y se destaca por ser hoy en día el mayor fabricante de maquinarias de construcción en China y el No. 5 a nivel mundial. SANY tiene 20 parques industriales en China y cinco parques industriales fuera de China, respectivamente en EE.UU., Alemania, India, Brasil, Indonesia (SANY, 2023). SANY tiene representación comercial en Colombia desde el año 2012, sin embargo, con distribuidores propios empezó operación desde el año 2020. Actualmente, es uno de los cuatro importadores grandes de maquinaria en Colombia los cuales son Caterpillar, Komatsu, XCMG y SANY (One Park Finacial, 2022).



Figura 17. Logo de SANY
Fuente. (SANY, 2023)

⁸ <https://motomart.com.co/renting-montacargas/>

Asociado al manejo de maquinaria SANY esta cuenta con siete líneas distintas para la maquinaria⁹, por lo que al consultar su catálogo en línea de maquinaria para el rubro de construcción se identificaron las siguientes tipologías (Tabla 47):

Tabla 47. Tipologías de maquinaria de construcción comercializado por SANY

Tipología	Total	Porcentaje
CF	4	22%
RT	4	22%
ME	3	17%
ER	2	11%
EO	2	11%
MC	1	6%
MN	1	6%
VC	1	6%
Total general	18	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

Actualmente, SANY comercializa maquinaria que cumple con los estándares de emisión Tier 3 y Tier 4 (menos frecuente), con algunas pocas maquinas Tier 2. Sin embargo, la venta de la maquinaria de SANY se apoya en equipos con Tier 3 debido a que para Colombia la adopción de tecnología más avanzada depende de la calidad del combustible que se distribuye, que según SANY tiene aún una alta concentración de azufre. Es importante tener en cuenta que por el momento SANY es una empresa que se dedica a la importación y venta de maquinaria nueva, por lo que se espera que la venta de maquinaria usada y alquiler se dé para el 2025.

Respecto a la línea de costos y financiación que maneja SANY, los costos que presenta la maquinaria SANY tienden a estar un 20% a 30% por debajo de otras marcas, gracias a aspectos como una tecnología más básica, menores costos de mano de obra en China, incentivos del gobierno chino, y presencia de ensambladoras en diferentes regiones del

⁹ <https://www.sanycolombia.com/>

mundo. En el caso colombiano, las ensambladoras en Brasil y en Atlanta son las más cercanas.

Relacionado a las líneas de financiación, esta financiación se puede dar de forma directa con la casa matriz si es una compra grande, pero también se tienen líneas de financiación con bancos, incluso financiaciones de hasta el 100% en periodo de gracia hasta un año y con tasas preferenciales. Además, se han presentado casos u escenarios de exención del IVA, como lo es el caso particular de las zonas francas en las cuales se da una disminución en el porcentaje del IVA dependiendo de las características de la compra. Asociado a líneas de financiación está la opción de hacer una importación temporal en donde SANY vende en zona franca, por lo que el cliente es el encargado en este caso de llevar a cabo el proceso de nacionalización, pero para estos casos SANY ofrece apoyo logístico frente a este escenario de compra. Adicionalmente, se destaca el escenario agrícola en donde a partir de Finagro tiene descuentos en las tasas de interés, pero sin cambio en el IVA.

Respecto a la vida útil de la maquinaria de SANY esta está entre 25.000 y 40.000 horas dependiendo del mantenimiento. Los motores en las máquinas SANY son tecnología japonesa (Isuzu, Cummings, Kawasaki), además SANY cuenta con un stock de repuestos en sus instalaciones en Colombia y en sus plantas de Brasil y Atlanta, lo que facilita los arreglos de la maquinaria. SANY tiene garantía para máquinas capacidad <21 ton de 3000 horas o 18 meses, maquinas más grandes 12 meses.

SANY siendo uno de los cuatro importadores grandes de maquinaria en Colombia relacionado al término normativo que rige a la MMNC en Colombia especialmente la Resolución 762 de 2022 que entrará en vigor en Agosto de 2024, esta empresa cuenta con el conocimiento de los cambios que supone la aplicación de esta Resolución, por lo que cuentan con un plan de acción para la importación de MMNC con mejores estándares para el segundo periodo del año 2024.

SK RENTAL

SK Rental es una empresa de alquiler y venta de maquinaria pesada para la construcción y obras en general. Esta es una empresa filial del grupo chileno Sigdo Koppers, creada el año 1998, con la misión de proveer el arriendo de equipos y maquinarias en distintos segmentos de la industria nacional Chilena, y en países como Perú, Colombia y Bolivia. En el caso de Colombia esta cuenta con tres sedes ubicadas en las ciudades de Bogotá, Barranquilla y Medellín (SK RENTAL, s.f.).



Figura 18. Logo SK Rental

Fuente. (SK RENTAL, s.f.)

Para el alquiler de la maquinaria SK Rental en su portafolio cuenta con 13 distintas marcas como Doosan, Hyundai que son de Corea, JCB marca del Reino Unido, New Holland, Caterpillar, CASE, Bobcat marcas de E.E.U.U., también marcas como Hamm, Bomag que son de Alemania, Volvo de Suecia, Dieci marca de Italia, Manitou marca de Francia y Hangcha la cual es una marca China.

Alquiler

En cuanto al alquiler de la maquinaria, sólo se oferta maquinaria nueva o usada menor a las 2000 horas de trabajo. Una vez alcanza las 2000 horas, la máquina se coloca en venta. En el alquiler, el equipo es entregado sin combustible, sin operadores, sin transporte (opcional), se entrega la póliza, tarjeta de propiedad, certificado de operatividad firmado por un técnico y bitácora de mantenimiento. Opcionalmente, se entrega el certificado de la Organización Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC, en normas ISO/IEC para el cumplimiento del Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica (CEPD). El proceso de alquiler se hace sólo con personas jurídicas, con un periodo mínimo de un mes, y con período de mantenimiento de la maquinaria de cada 400 horas. SK Rental maneja un stand-by de 176 horas para todas las tipologías exceptuando las excavadoras que tienen un Stand-by de 80 horas.

Venta

SK Rental comercializa maquinaria nueva marca Doosan y Hyundai (Corea), sin embargo, relacionado a la línea de venta SK Rental maneja una plataforma de compra y venta (Be Market)¹⁰ en donde ofertan la maquinaria que ya no está disponible para alquiler, de igual forma esta plataforma funciona con terceros en donde estos tienen la posibilidad de ofertar su maquinaria sin tener en cuenta un límite de horómetro, pero asegurando que es funcional debido al proceso de revisión por el que pasa la maquinaria de SK Rental. Para que los terceros puedan postular su maquinaria en esta plataforma se firma un contrato de un año y si la maquinaria llega a ser vendida por medio de esta plataforma SK Rental cobra un porcentaje sobre el precio de venta.

De la revisión de la página web de BeMarket se identificaron a partir de 48 unidades las distintas clases de tipología y marcas ofertadas, junto con los distintos estándares de emisión, años modelo, rangos de horómetro, rangos de precio y país de origen con los que cuentan las MMNC. Se identificaron 13 tipologías ofertadas para Bogotá, de las cuales la excavadora, cargador frontal y vibrocompactador resultan ser las más representativas (Tabla 48).

¹⁰ <https://www.be-market.com/tiendaonline/webapp/home>

Tabla 48. Tipologías y total ofertado en BeMarket

Tipología	Total	Porcentaje
EO – ER	16	33%
CF	9	19%
VC	6	13%
MC	4	8%
MN	3	6%
ME	2	4%
RT	2	4%
BZ	1	2%
AH	1	2%
FR	1	2%
MT	1	2%
MG	1	2%
AF	1	2%
Total general	48	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

Para la tipología EO – ER, se muestran las excavadoras ofertadas en BeMarket, del total de excavadoras ofertadas solo una de estas es una excavadora de ruedas, de resto los 15 restantes cuentan con la característica de ser excavadoras sobre oruga. Por otro lado, en el momento de la revisión del portal web la tipología con mayor cantidad de equipos ofertados son las excavadoras, seguido de los cargadores frontales.

De estas tipologías se identificaron 20 distintas marcas de las 48 maquinarias recopiladas de la página web (Figura 19).

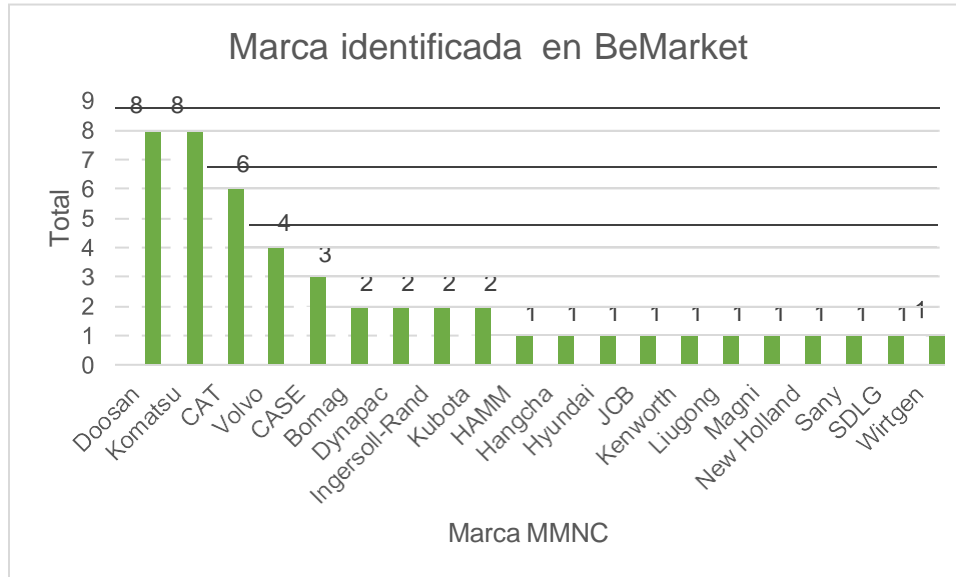


Figura 19. Marcas identificadas en BeMarket

Fuente. Autores

Como se puede apreciar en la Figura 19 las marcas más representativas son Doosan, Komatsu y CAT, de las cuales SK Rental es distribuidor exclusivo de la marca Doosan. Los estándares de emisión identificados para la maquinaria ofertada varían entre Pre-Tier a Tier 4 f (Figura 20), con predominio del estándar Tier 3 el cual representa el 43% del parque automotor, seguido del estándar de emisión Tier 4f el cual representa un 28% del total.

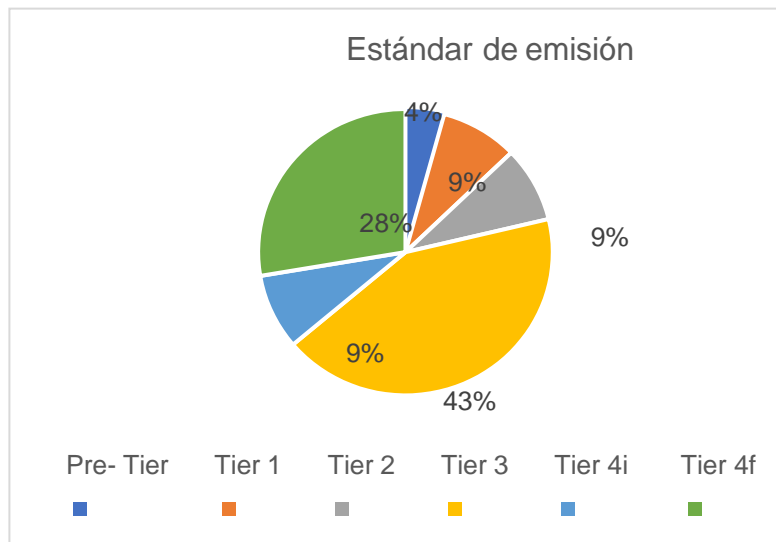


Figura 20. Estándar de emisión MMNC BeMarket

Fuente. Autores

* Los valores de estándares de emisión aquí reportados son indicativos y la representatividad para el caso de Bogotá puede variar debido a que la información fue tomada de catálogos en línea, y si bien corresponden a los mismos modelos de las unidades de maquinaria, no necesariamente son importados con los mismos estándares de emisión para Colombia que para otros países que cuentan con estándares de emisión como Estados Unidos o aquellos de la Unión Europea.

Los años modelo identificados van del año 1984 al año 2022 (Tabla 49), destacando que el 38% de esta maquinaria pertenece a años modelo que van de 2022 a 2018 con cinco años de edad, sin embargo, el 27% de esta maquinaria se encuentra en años modelo de 2007 a 2003, es decir que hay maquinaria en venta con más de 20 años de funcionamiento.

Tabla 49. Año modelo maquinaria ofertada en BeMarket

Año modelo	Total	Porcentaje	Edad
2018 – 2022	18	38%	1 – 5
2013 -2017	5	10%	6 – 10
2008 – 2012	5	10%	11 – 15
2003 – 2007	13	27%	16 – 20
1998- 2002	2	4%	21 – 25
1984 - 1997	5	10%	26 – 39

Fuente. Autores

Se identificaron ocho distintos países de origen de la maquinaria, siendo Estados Unidos el país con mayor representatividad en la maquinaria ofertada con 12 máquinas ofertadas en el portal web, seguidamente está Corea y Brasil con 7 y 6 de máquinas ofertadas (Figura 21). De los 48 equipos identificados en el portal web, 41 de estos presentaban el dato relacionado a su país de origen.

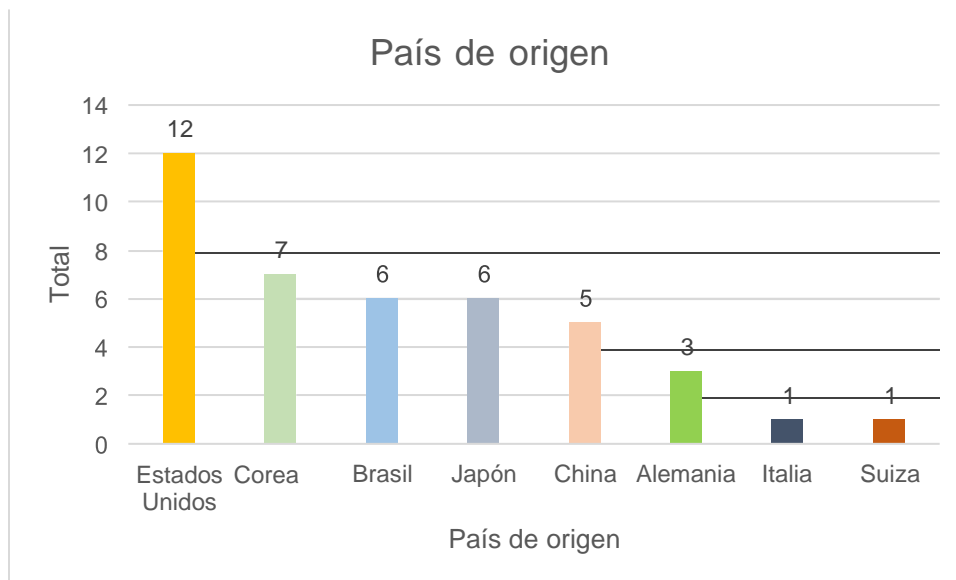


Figura 21. País de origen MMNC ofertada en BeMarket

Fuente. Autores

Por otro lado, asociado a las distintas líneas que maneja SK Rental para la compra o alquiler de maquinaria, para el caso de esta empresa no se cuenta con líneas de financiamiento directas, pero sí tienen convenios con entidades bancarias en crédito y en leasing. En cuanto

a los costos de alquiler, no se maneja una tasa diferencial, es decir que en este caso el precio de alquiler va a ser el mismo para las tipologías independientemente de su año modelo o estándar de emisión u horómetro, sin embargo, el alquiler de la maquinaria depende de la disponibilidad de los modelos que se necesiten al momento de llevar a cabo el alquiler.

Rodríguez y Londoño S.A. – RYLSA

Rodríguez y Londoño S.A. (RYLSA) es una organización Colombiana con funcionamiento desde el año 1979 la cual cuenta con cobertura a nivel nacional y con servicios de venta de equipos nuevos y usados, soporte, venta de repuestos y renta de MMNC, con sedes en Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Cartagena y Medellín (RYLSA, 2023). Adicionalmente, para los servicios de alquiler RYLSA cuenta con RENTSOL la cual es una empresa dedicada a la renta de equipos para el sector de la construcción e industria en general (RENTSOL, 2023).



Figura 22. Logo de RYLSA

Fuente. (RYLSA, 2023)



Figura 23. Logo de RENTSOL

Fuente. (RENTSOL, 2023)

RYLSA es representan marcas como JCB (Inglaterra), Kobelco (japonés), Dynapac (Francia), Koler (Francia), Schwing (Alemania), Fiori (Italia), entre otras. Por lo que esta organización cuenta para la venta distintos equipos relacionados al rubro de construcción como los que se muestran en la Tabla 50:

Tabla 50. Tipología catálogo RYLSA

Tipología	Total	Porcentaje
VC	12	18%
EO	9	14%
ME	9	14%
AF	8	12%
CF	5	8%
PT	5	8%

Tipología	Total	Porcentaje
VC	12	18%
RT	4	6%
AH	3	5%
MT	3	5%
MC	3	5%
FR	2	3%
MG	2	3%
Total general	65	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

RYLSA tiene una variedad de maquinaria con distintos estándares de emisión entre pre-Tier y Tier 3, por lo que se ofrece en maquinaria en catálogo puede variar en estándar de emisión.

Para el proceso de Alquiler, se tiene a RENTSOL el cual presta el servicio de alquiler de maquinaria para equipos livianos y equipos pesados, teniendo para el rubro de construcción las siguientes tipologías ofertadas para alquiler (Tabla 51), esto según el catálogo en línea¹¹:

Tabla 51. Tipologías en el catálogo de renta en RENTSOL

Tipología	Total	Porcentaje
VC	4	36%
EO	3	27%
RT	2	18%
MC	1	9%

¹¹ <https://rylsa.com.co/index.php/rent>

Tipología	Total	Porcentaje
ME	1	9%
Total general	11	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

Los procesos de compra y líneas de financiación, para el caso de RYLSA esta vende maquinaria nueva y usada la cual puede ser pagada a partir de las carteras de financiación que van de 30 a 60 días. También, tiene financiación con bancos o el manejo con Covinoca partir de cheques. Otra opción de forma de pago en la cual se hacen los peritajes y se da el valor de la retoma, ya que en esos casos se tiene en cuenta el estado actual de la maquinaria y si es rentable la retoma de este ya que estos equipos que se reciben quedan para venta o algunos casos para alquiler, sin embargo, sobre la compra de equipo usado no tiene financiación.

RYLSA tiene experiencia de venta de maquinaria con diferencial del IVA del 19%, 16%, 8%, y 5% (este para la línea agrícola). Pueden entregar en sitio o en zona franca. La maquinaria importada se entrega inscrita en el RUNT, con matrícula y con dispositivo de localización o GPS.

Los procesos de alquiler de RYLSA en su gran mayoría es a partir de maquinaria nueva, por lo que son muy pocos los casos en donde se retoma una maquinaria que ya ha sido anteriormente usada y se ponga a disposición para alquilar. La renovación de la maquinaria para alquilar se da a las 5000 horas, pero en algunos casos pueden ser de más horas y es en este caso es cuando se presenta el proceso de venta.

Para el proceso de alquiler se requieren documentos internos para el alquiler esto a fin de poder llevar a cabo el estudio de crédito. Además, se un maneja Stand-by con un valor de 176 horas el cual es un estándar para todas las máquinas, pero si manejan una tasa diferencial del costo de alquiler dependiendo del horómetro. El alquiler incluye el mantenimiento a las 240 horas, pero no incluye combustible, ni operario.

Finalmente, con la entrada en vigor de la Resolución 762 de 2022, se espera que la importación de la nueva maquinaria para RYLSA sea de estándares Tier 4 y superiores debido a que ya cuentan con un plan de acción para poder acomodarse a lo que exige esta Resolución para el segundo semestre del año 2024.

GECOLSA – CAT

Gecolsa es una empresa fundada en el año 1927 como General Electric de Colombia S.A. y desde entonces, hasta hoy como General Equipos de Colombia S.A GECOLSA, ha sido el único distribuidor autorizado de Caterpillar en Colombia (GECOLSA, 2023).



Figura 24. Logo de Gecolsa- CAT

Fuente. (GECOLSA, 2023)

Actualmente manejan distintas líneas de venta de equipos nuevos de los cuales relacionados a maquinaria de construcción están: Maquinaria liviana, maquinaria pesada, montacargas, pavimentación. Por lo que en su catálogo¹² manejan las siguientes tipologías relacionadas a construcción como se puede apreciar en la Tabla 52:

Tabla 52. Tipologías catálogo portal web Gecolsa- CAT

Tipología	Total	Porcentaje
MG	46	27%
CF	23	14%
VC	21	12%
EO	21	12%
TH	10	6%
MC	8	5%
ME	8	5%
MN	8	5%
RT	7	4%
AF	5	3%

¹² <https://gecolsa.com/equipos/>

Tipología	Total	Porcentaje
TR	5	3%
FR	4	2%
RC	3	2%
Total general	169	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. Autores

Sin embargo, en menor medida también llevan a cabo la actividad de venta de equipos usados, siendo de esta forma que manejan un catálogo online por meses¹³ (Figura 25) en donde se presentan los equipos en venta en donde se relaciona la tipología, modelo, año modelo, horómetro y precio de venta, por lo que a nivel local se tiene a la venta maquinaria usada en municipios cercanos a Bogotá como lo son Cota en donde se tiene para el mes de Diciembre la oferta de cinco excavadoras y un cargador frontal con años modelo que van del 2003 al 2019.



Figura 25. Catálogo de equipos usados ofertados para Diciembre

Fuente. (Gecolsa, 2023)

Adicionalmente, en su portafolio de venta Gecolsa actualmente tiene en stock maquinaria con estándar de emisión entre Tier 2 y Tier 3, sin embargo, con la Resolución 762 de 2022 que entra en vigencia en Agosto de 2024, se tiene un plan de acción para el recambio de la

¹³ <https://gecolsa.com/equipos/informacion/usados/>

maquinaria, que implica no sólo sistema de post tratamiento de los gases de combustión sino el cambio de sistemas mecánicos a electrónicos en las máquinas. Como estimativo de la maquinaria más moderna, el incremento en el costo puede ser de un 15 a 25%. Sin embargo, se espera una reducción en el consumo de combustible, lo que puede mitigar el mayor costo de la tecnología.

Finalmente, relacionado a la vida útil de la maquinaria de la marca Caterpillar usualmente estas pueden estar entre las 4000 a las 25000 horas y seguir siendo competitivos, esto es debido a que los mantenimientos preventivos se llevan a cabo cada 250 horas y 1000 horas dependiendo de los análisis de aceites, y de otros factores.

NAVITRANS S.A.

Navitrans es una organización con más de 30 años de experiencia, dedicada a la comercialización de soluciones Integrales de movilidad y maquinaria pesada, de reconocidas marcas a nivel mundial, a través de una red a nivel nacional (Navitrans, s.f.).



Figura 26. Logo de Navitrans

Fuente. (Navitrans, s.f.)

Navitrans es el distribuidor exclusivo de Hyundai, por lo que en su línea de venta de máquinas se encuentran las tipologías de la Tabla 53 las cuales fueron tomadas a partir del catálogo en línea¹⁴.

Tabla 53. Tipología ofertada en el portal web de Navitrans

Tipología	Total	Porcentaje
EO	8	32%
CF	6	24%
ME	4	16%
ER	3	12%
MN	2	8%

¹⁴ <https://www.navitrans.com.co/hyundai/>

Tipología	Total	Porcentaje
MC	1	4%
RT	1	4%
Total general	25	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

El parque automotor de Navitrans en Colombia cuenta con estándares de emisión Tier 2 y Tier 3, sin embargo, debido a que el próximo año entra en vigor la Resolución 762 de 2022 esta empresa cuenta con un plan de acción para realizar el ascenso tecnológico a Tier 4. Se prevé ofrecer al mercado suficientes máquinas Tier 3 durante el primer semestre de 2024 conservando el precio actual de venta, y ofrecer maquinaria Tier 4 con un incremento de costo del 15 al 20%.

No obstante, a pesar de que Navitrans cuenta con un plan de acción para la importación de maquinaria con mejor tecnología, otra de las barreras identificadas a partir de los comentarios recibidos por parte de Navitrans (fuera de la barrera relacionada al aumento del porcentaje en precios) es la dificultad de la importación de maquinaria con estándares de Tier 4 es la disponibilidad de urea para el sistema de control de gases.

En cuanto a la calidad del combustible que se distribuye a nivel Colombia, Navitrans menciona que no es homogéneo a lo largo del país lo cual dificulta la implementación de MMNC con mejores estándares. Otro de los retos que supone la importación e implementación de maquinaria con mejores tecnologías es el entrenamiento de personal para el manejo y mantenimiento de la maquinaria debido a la diferencia entre componentes, de igual forma se debe tener en cuenta que la “tropicalización” o modificación de la MMNC para su importación a Colombia a fin de que se ajuste a las condiciones del país supone costos más altos de mantenimiento, entre otros.

Otro de los retos y preocupación de Navitrans es la expedición de los Certificados de Emisiones por prueba dinámica (CEPD), expedidos por la ANLA, con la nueva normativa proceso el cual puede tardar hasta seis meses. En el CEPD se consignan las especificaciones técnicas, la información de prueba y los resultados de la medición de las emisiones generadas por los prototipos de las fuentes móviles o de los motores prototipo (ANLA, 2019). El certificado como se menciona debe contar con un reporte técnico de la prueba por lo que este documento debe ser expedido por un laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) bajo la norma ISO/IEC 17025 o por un laboratorio de ensayos acreditado por un organismo de acreditación que sea signatario de los acuerdos de reconocimiento multilateral suscritos

por ONAC, o por una autoridad ambiental en el exterior que sea competente para el desarrollo de estas pruebas o ensayos (ANLA, 2019).

Relacionado a las líneas de financiación, Navitrans cuentan con programas de retoma de equipos y una financiación directa y con aliados.

KOMATSU

Komatsu Colombia es una filial de Komatsu Japón, fabricante de equipos de construcción, minería, forestal e industrial. A nivel de Latinoamérica cuenta con una red de 20 distribuidores ubicados en 19 países en la que ofrecen equipos, productos, servicios de soporte (Komatsu, 2023b).



Figura 27. Logo de Komatsu

Fuente. (Komatsu, 2023b)

Komatsu actualmente maneja para la venta siete tipologías con 47 tipos de modelos de maquinaria para el rubro de construcción, según lo presentado en su portal web¹⁵ (Tabla 54):

Tabla 54. Tipología ofertada en el portal web de Komatsu

Tipología	Total	Porcentaje
EO	13	28%
TR	10	21%
CF	9	19%
MN	9	19%
ME	3	6%
RT	2	4%
MC	1	2%
Total general	47	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. (Komatsu, 2023b)

¹⁵ <https://www.komatsulatinamerica.com/colombia/construccion/>

De la maquinaria presentada en su página web 46 de los modelos son Tier 3 y hay un modelo de Tier 2. Relacionado a la Resolución 762 de 2022 se prevé que para el caso de Komatsu el aumento de los costos de inversión esté entre el 18% y 20%. Dadas la ausencia de experiencia en el país con maquinaria Tier 4, Komatsu planea durante el segundo trimestre de 2024 tener algunas máquinas Tier 4 de prueba.

Además, se espera que con la implementación de maquinaria Tier 4 se tenga una mayor eficiencia relacionada al consumo de combustible, mantenimientos preventivos de 500 horas relacionado a una mayor vida útil de los lubricantes.

La empresa maneja el programa Komatsu Warranty, para ofrecer garantía extendida a sus clientes (Komatsu, 2023b). Esta garantía cubre los equipos más allá de los 12 meses a través de dos planes: PTP o Power Train Pro (Garantía Extendida para el Tren de Potencia) y EWP o Extender Warranty Pro (Garantía Extendida Pro). Por lo que existen diversos periodos de garantía extendida los cuales van incluidos los 12 meses de garantía estándar para 24, 36, 48 y 60 meses o periodo de garantía expresado en 4000, 6000, 8000, 10000 y 12000 horas.

En Octubre de 2023, Komatsu Colombia llevó a cabo el Foro Caminando hacia un Futuro Sostenible: Tecnología Tier IV¹⁶, en el cual se tocaron diversos temas relacionados a las condiciones actuales en Colombia en diferentes aspectos como el económico, normativo y técnico relacionado al parque automotor que actualmente se maneja, además, se expusieron temas relacionados a la Resolución 762 de 2022, evolución tecnológica a Tier 4 y los canales de distribución del combustible, todo en pro de lograr una sostenibilidad a lo largo del tiempo.

Frente a la tecnología Tier 4, Komatsu identifica desafíos en la operación debido a la complejidad de la maquinaria con sistemas de control de emisiones no presentes en tecnologías previas como lo son:

- Turbocargador de Geometría Variable necesario para compensar la saturación del filtro DPF.
- Utilización de válvula “Exhaust Gas Recirculation” (EGR) que permite disminuir los NOx en un 45% al recircular gases de escape logrando disminuir la temperatura de combustión.
- Komatsu Diesel Particulate Filter (KDPF) captura el 90% del material particulado.
- Selective Catalytic Reduction (SCR) elimina los NOx de los gases de escape al inyectar AdBlue/DEF (Diesel Exhaust Fluids).

Adicionalmente, se requiere aceites bajos en cenizas (low ash). La existencia de mejores sistemas de control en la maquinaria permitirá optimizar la operación de la maquinaria, en términos de combustible, sistemas hidráulicos y motores, entre otros aspectos, por lo que

¹⁶ https://www.youtube.com/watch?v=_aA-Lilyzp0

de esta forma se puede anticipar los imprevistos y se evitan gastos adicionales relacionados al mantenimiento, además que los motores son compatibles para diferentes máquinas y existe una compatibilidad en repuestos.

En el foro se abordó también el downstream de combustibles limpios y productos petroquímicos que demanda el país siguiendo la transformación energética. Actualmente desde la estrategia de productos limpios y rentables de Ecopetrol, están comprometidos con que el combustible para 2025 tengan una concentración de azufre menor a 10 ppm (de acuerdo a la Resolución 40103 de 2021), y hacer la transición a combustible de nueva generación de hidrógeno o sintético, y se está trabajando en bajas emisiones con hidrógeno verde, azul, biocombustibles, HVO y Diésel renovable.

Siguiendo con el aspecto de los combustibles distribuidos en el país, también se hizo énfasis en los canales de distribución de combustibles limpios, en donde para la distribución del combustible en Colombia existe una logística relacionada al almacenamiento, distribución, transporte y consumo el cual procura mantener la calidad del combustible. Se tienen 20 parámetros específicos que debe cumplir el Diésel los cuales son estipulados por la Resolución 40444 de 2023, en cuanto al Biodiésel de palma este debe cumplir con 24 parámetros.

La distribución en Colombia se hace desde mayoristas como transportadores y productores a las plantas para hacer las adiciones necesarias a cada uno de los combustibles, luego se lleva a cabo la distribución desde el mayorista hacia los centros de consumo final como las estaciones de servicios, en estas estaciones de servicio se llevan a cabo un control permanente de varios parámetros de calidad como es el caso de uno de los parámetros con mayor importancia para una correcta operación de los sistemas de inyección y de control de emisiones como lo es la humedad la cual no debe estar presente en el combustible. Adicionalmente, en industria se hace seguimiento de los patrones y condiciones apropiadas para reducir la posibilidad de tener problemas con su consumo, y procurando mantener la calidad del combustible.

Relacionado a la normatividad, en el foro de Komatsu se menciona la Resolución 762 de 2022 y lo que implica que la entrada en vigencia de esta para la maquinaria importada la cual al momento de ingresar al país deben contar con el certificado CEPD aprobado por la ANLA, el cual puede ser solicitado a través de la plataforma VITAL- Ventanilla Integral de Trámites en Línea o personalmente, proceso que se puede demorar normalmente entre 45-60 días.

Asociado a los beneficios para el cliente hoy en día se invita a maquinaria con mejor seguridad porque se tiene la incorporación de tecnología que la hace más eficiente, porque el mismo litro de combustible genera más productividad y el costo de operaciones es más bajo. Desde el punto de vista económico la compra de maquinaria Tier 4 cuesta un 25-30% más de lo que se tiene actualmente para el caso de Komatsu, pero a pesar de la diferencia en el costo inicial de inversión, también se tiene una reducción en el costo de

operación ya que hay un rediseño de la estructura con una diferencia del 30% aproximadamente, por lo que el punto de equilibrio se lograría al tercer año teniendo de esta forma los beneficios y mejora en la rentabilidad en la inversión.

Por su parte, Komatsu también cuenta con una Estrategia enfocada en los clientes en donde cuenta con talleres de reparación en la zona norte, occidente, oriental, central y Sur del país las cuales funcionan como estructura de soporte para Tier 4. Además, esta empresa tiene el conocimiento, la experiencia con el caso de Chile que les ha permitido desarrollar cuatro aspectos importantes que son la preparación, entrenamiento, repuestos y gestión comercial:

- Preparación: Planificación y control de las actividades Tier 4.
- Entrenamiento Certificación de un ingeniero en estados unidos el cual va a compartir la información con los técnicos de servicios, asesores de servicios y asesores de campo. Operación, mantenimiento y reparación.
- Repuestos: Stock de filtración y de aceites. Partes importantes que abarcan la tecnología como sensores, componentes electrónicos, filtros, entre otros.
- Gestión comercial: Capacitaciones para poder explicar lo que puede suceder o lo que no con esta nueva tecnología.

Además, en su estrategia enfocada en los clientes tienen en cuenta las capacidades en soporte de mantenimiento correctivo:

- Reparaciones correctivas y asistencia técnica.
- Evaluación y diagnóstico especializado.
- Reparación de equipos y componentes.
- Soporte y asistencia técnica en terreno.
- Cobertura garantía de producto.
- Ingeniero soporte producto PSG.
- Repuestos originales. Adquisición de sensores de medición de gases, entre otros.
- Opción de componentes remanufacturados.
- Tienen talleres y herramientas especializados.

Capacidades en soporte- Mantenimiento preventivo:

- Filtros: Los filtros genuinos de Komatsu están diseñados con tecnología avanzada para reducir el ingreso de partículas al motor lo que prolonga su vida útil y reduce el desgaste. También ayuda a cumplir las regulaciones medioambientales, reducir el consumo y los costos de mantenimiento.
- Aceites para motor diésel con bajo contenido en ceniza.
- Función anti-desgaste: Entrega un rendimiento anti-desgaste superior a través de la película protectora que cubre los principales componentes.

- Alta estabilidad térmica: La serie DH ha superado las rigurosas pruebas de estabilidad térmica permitiendo la prolongación de la propiedad de lubricación que evita el deterioro del componente de lubricación del motor.
- Acuerdos de mantenimiento preventivo: Komatsu Colombia les ofrece a sus clientes una solución para el mantenimiento de los equipos promoviendo la operatividad de estos bajo un esquema de acompañamiento de 4 niveles.

Mantenimiento predictivo:

- Capacidad de gestión de flotas, monitoreo, sistema de monitoreo que sensibiliza a los directores de mantenimiento y operarios sobre el funcionamiento de los equipos, trabajos diarios, alarmas y en temas de seguridad se puede desconectar la máquina del motor en tema de robo.
- Con Tier 4 los lubricantes se puede determinar la trazabilidad de los componentes, desgaste para poder hacer los cambios de aceite a más tiempos bajo ciertas condiciones.

Plataforma Tumaquinaria.com.co

La plataforma Tu maquinaria es un servicio de parteequipos para la compra y venta de maquinaria pesada usada, con operaciones principales en Colombia y alcance internacional (TU MAQUINARIA, s.f.). Relacionado al portafolio que esta página maneja, para el caso de la maquinaria nueva se manejan las siguientes categorías a nivel nacional (Tabla 55):

Tabla 55. Categoría venta maquinaria nueva disponible en el portal TuMaquinaria

Categoría/ Tipología	ER – EO
	RD
	MC
	MN
	MN
	CF
	BZ
	CP

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC,

Retrocargador: RD

Fuente. Autores

En cuanto a la maquinaria usada, esta cuenta con las siguientes categorías ofertadas a nivel nacional (Tabla 56):

Tabla 56. Categoría ofertada para maquinaria usada

Categoría/ Tipología	Total ofertado
ER – EO	88
CF	28
VC	18
RD	15
BZ	10
MC	9
MN	8
AF	5
DP	3

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. Autores

De igual forma, esta maquinaria usada se encuentra clasificada entre usados importados y usados nacionales (Tabla 57):

Tabla 57. Categorías venta maquinaria usada importada o de uso nacional

Usados importados	Usados nacionales
ER – EO	ER – EO
ME	RD
CF	MC
BZ	MN
CP	CF
	BZ
	CP
	DP
	AF

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. Autores

En esta página con relación al aspecto relacionado a las condiciones de venta de usados, esta página incluye información relacionada a las potencias, marcas y horas de uso (según

el horómetro) en las cuales se está vendiendo el equipo (Tabla 58), teniendo de esta forma que la venta de los equipos en general se puede encontrar con un horómetro de 25 horas hasta un horómetro de hasta 20000 horas.

Tabla 58. Categoría, total y rango de horómetros maquinaria ofertada

Categoría/ Tipología	Total ofertado	Rango de horómetro (h)
ER – EO	88	0 – 17819
CF	28	0 – 23000
VC	18	0 – 8325
RD	15	0 – 13500
BZ	10	0 – 156009
MC	9	0 – 5580
MN	8	5705 – 20000
AF	5	5700 – 8929

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Nota. La información relacionada a los rangos de horómetros fue consultada en el mes de Noviembre de 2023.

Fuente. Autores

De la maquinaria identificada para la ciudad de Bogotá se encontraron 73 máquinas las cuales se encuentran distribuidas entre 21 marcas, de las cuales hay 12 con la marca Hitachi, 10 marca Caterpillar y 7 para las marcas CASE y Liugong (Figura 28).

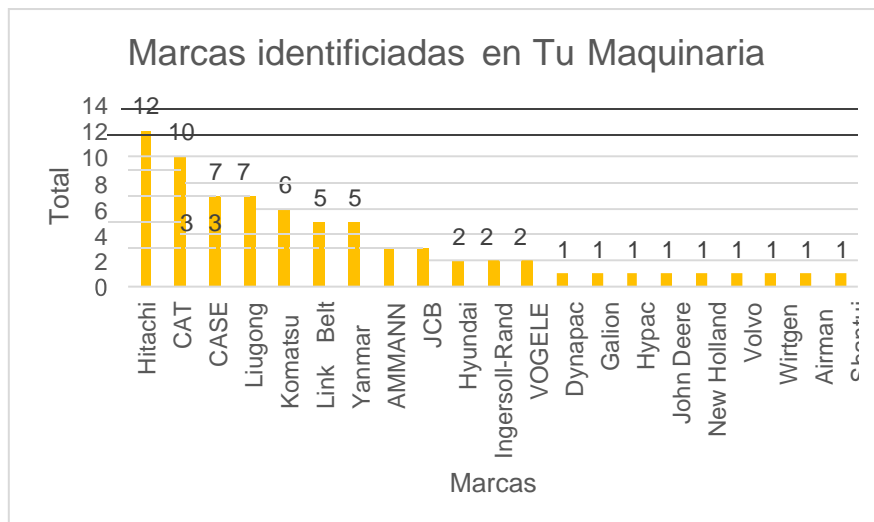


Figura 28. Marcas identificadas en Tu Maquinaria

Fuente. Autores

De las 73 máquinas identificadas para la ciudad de Bogotá se reconocieron distintas tipologías ofertadas, junto con la representatividad que supone cada una de estas en el grupo de muestra (Tabla 59).

Tabla 59. Tipologías y total encontrado en Tu Maquinaria

Tipología	Total	Porcentaje
EO – ER	30	41%
CF	11	15%
VC	10	14%
BZ	6	8%
RT	6	8%
MC	4	5%
MN	2	3%
AF	2	3%
FR	1	1%
ME	1	1%
Total general	73	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. Autores

De la Tabla 59, se concluye que del portal de Tu Maquinaria en el momento en que se llevó a cabo la recopilación de la información de la maquinaria para Bogotá, las tipologías representativas son en gran parte la Excavadora con un 41%, seguido del cargador con un 15% y el vibrocompactador con un 14%.

Los años modelos identificados van desde 1994 hasta 2023, en donde los años más recientes del periodo de 2023 a 2019 tienen una representatividad del 40% frente al total de la maquinaria, seguido del periodo de 2008-2004 con el 26% para una maquinaria con una edad de 15-19 años ofertada en el portal de Tu Maquinaria (Tabla 60).

Tabla 60. Años modelo maquinaria ofertada en Tu Maquinaria

Año modelo	Total	Porcentaje	Edad
2019 – 2023	29	40%	0 – 4

Año modelo	Total	Porcentaje	Edad
2014 – 2018	7	10%	5 – 9
2009 – 2013	14	19%	10 – 14
2004 – 2008	19	26%	15 – 19
1994 - 2003	4	5%	20 – 29

Fuente. Autores

Los estándares de emisión con los que cuentan las 73 máquinas se encuentran distribuidos entre Tier 1 a Stage V (Figura 29), teniendo de esta forma que el Tier 3 es el que cuenta con mayor representatividad en el grupo de muestra debido a que supone un 51% frente al total, seguido del estándar de emisión Tier 2 que representa el 18%.

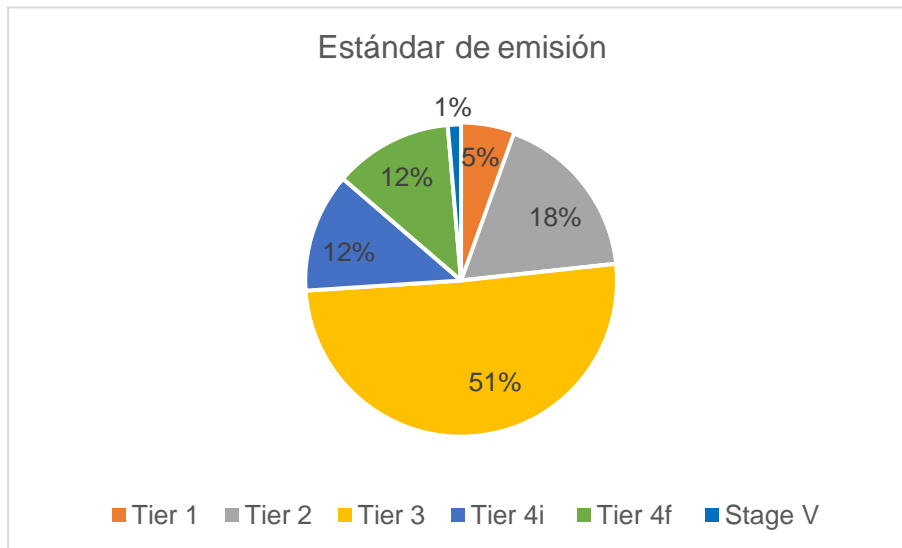


Figura 29. Estándar de emisión maquinaria ofertada en Tu Maquinaria*

Fuente. Autores

Plataforma superbid.com.co

Superbid Exchange es un ambiente digital de transacciones de compra y venta desarrollado por Superbid Webservices (SBWS) en donde se proporciona una plataforma con múltiples modalidades de venta. El Marketplace se destaca en la oferta de oportunidades en las categorías industrial, agrícola, automotriz, pecuaria, inmobiliaria y de bienes de consumo; contando con más de 8 mil empresas vendedoras y más de 1 millón de compradores (Superbid Exchange, 2023).

* Los valores de estándares de emisión aquí reportados son indicativos y la representatividad para el caso de Bogotá puede variar debido a que la información fue tomada de catálogos en línea, y si bien corresponden a los mismos modelos de las unidades de maquinaria, no necesariamente son importados con los mismos estándares de emisión para Colombia que para otros países que cuentan con estándares de emisión como Estados Unidos o aquellos de la Unión Europea.



EXCHANGE

Figura 30. Logo Superbid Exchange

Fuente. (Superbid Exchange, 2023)

Del portal web SuperBid¹⁷ se identificaron solamente para la ciudad de Bogotá un total de cuatro máquinas las cuales se encontraban para subasta, estas cuatro máquinas pertenecen a la marca Caterpillar y se encuentran distribuidas en tres tipologías como la excavadoras, bulldozer y cargador frontal (Tabla 61).

Tabla 61. Tipología ofertada en Superbid Exchange

Tipología	Total
EO	2
BZ	1
CF	1
Total general	4

Bulldozer: BZ, Cargador Frontal: CF, Excavadora de oruga: EO

Fuente. Autores

De los años modelo identificados para la maquinaria, estos se encuentran entre los años de 2010 a 2019 (Tabla 62).

Tabla 62. Año modelo maquinaria ofertada en Superbid Exchange

Año modelo	Total	Edad
2010	1	13
2013	1	10
2017	1	9
2019	1	4

Fuente. Autores

De las cuatro tipologías identificadas en su momento en el portal Web éstas tienen un estándar de emisión entre Tier 3 a Tier 4f, en donde dos de las cuatro máquinas identificadas tienen un estándar de emisión Tier 4f representando el 50% (Figura 31).

¹⁷ <https://www.superbid.com.co/categorias/maquinaria-de-construccion-y-agricola?searchType=opened&pageNumber=1&pageSize=30&orderBy=price:desc>

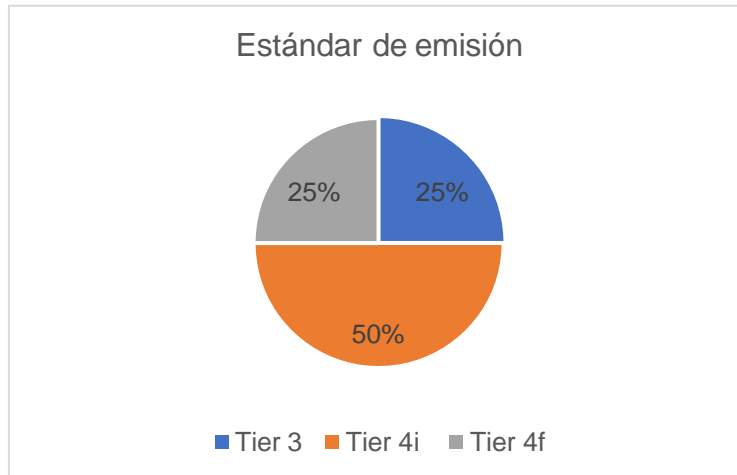


Figura 31. Estándar de emisión maquinaria encontrada en Superbid Exchange
Fuente. Autores

Los horómetros y precios registrados van del rango de las 10.557 horas a las 14.372 horas, con unos precios que van de \$450.000.000 COP a \$793.800.000 COP (Tabla 63):

Tabla 63. Horómetro y precio por tipología

Tipología	Horómetro	Precio \$COP
CF	10557	\$ 793.800.000
ER	14372	\$ 749.700.000
ER	12979	\$ 720.000.000

Bulldozer: BZ, Cargador Frontal: CF, Excavadora de ruedas: ER
Fuente. Autores

5.3 Componente normativo de los procesos de alquiler y compra

Relacionado al componente normativo asociado a los procesos de alquiler y compra de MMNC, en especial, procesos de contratación de obra pública. Se presentan seis secciones

- i. Criterios de la contratación pública.
- ii. Términos de alquiler y compra de MMNC por parte de la agencia nacional de contratación pública “Colombia compra eficiente”.
- iii. Aspectos importantes frente a la exigencia normativa de compra de maquinaria.
- iv. Condiciones de alquiler de MMNC.
- v. Condiciones de contratación pública frente a la adquisición de MMNC.
- vi. Posibles estrategias para la inclusión de MMNC con mejor tecnología.
- vii. Incentivos tributarios.

* Los valores de estándares de emisión aquí reportados son indicativos y la representatividad para el caso de Bogotá puede variar debido a que la información fue tomada de catálogos en línea, y si bien corresponden a los mismos modelos de las unidades de maquinaria, no necesariamente son importados con los mismos estándares de emisión para Colombia que para otros países que cuentan con estándares de emisión como Estados Unidos o aquellos de la Unión Europea.

5.3.1 Criterios de contratación pública

Es importante destacar que la contratación pública en Colombia está regulada por la Ley 80 de 1993, así como por otras leyes y decretos que establecen los procedimientos y las condiciones para la contratación de bienes y servicios por parte de las entidades públicas.

Según la Ley 80 de 1993 (Congreso de la República, 1993), las condiciones generales de contratación pública en Colombia se establecen a través del marco legal y normativo que rige las adquisiciones y contrataciones realizadas por las entidades públicas en el país. A continuación, se presentan algunas de las condiciones generales que suelen aplicarse a los procesos de contratación pública en Colombia:

- **Principios de Contratación Pública:** La contratación pública en Colombia se rige por principios como la transparencia, la igualdad, la competencia, la eficiencia, la economía y la responsabilidad. Estos principios buscan garantizar la adecuada gestión de los recursos públicos y la obtención de bienes y servicios de calidad.
- **Selección de Contratistas:** Los procesos de contratación suelen ser competitivos y abiertos. Las entidades públicas deben establecer procedimientos de selección que permitan a los proveedores competir en igualdad de condiciones para obtener contratos.
- **Condiciones Contractuales:** Los contratos públicos en Colombia deben incluir términos y condiciones que definan claramente las obligaciones y responsabilidades de ambas partes (la entidad pública y el contratista). Estos términos incluyen plazos, especificaciones técnicas, precios, condiciones de pago, garantías y sanciones por incumplimiento.
- **Documentación y Publicidad:** Los procesos de contratación suelen requerir la presentación de documentos, propuestas técnicas y económicas, que son revisados por la entidad pública. Los resultados de los procesos de contratación se publican en el SECOP, que garantiza la transparencia y acceso a la información.
- **Garantías:** Los contratistas pueden estar obligados a presentar garantías que respalden el cumplimiento de sus obligaciones. Estas garantías pueden incluir garantías de seriedad de la oferta, garantías de cumplimiento y garantías de calidad.
- **Sanciones y Multas:** Los contratos públicos establecen sanciones y multas en caso de incumplimiento de las obligaciones contractuales, lo que puede incluir penalizaciones financieras.
- **Evaluación de Ofertas:** Las ofertas presentadas por los proveedores son evaluadas de acuerdo con criterios predefinidos, como el precio, la calidad, la experiencia y otros factores relevantes.
- **Recursos y Reclamaciones:** Los proveedores tienen el derecho de presentar recursos y reclamaciones en caso de desacuerdo con los resultados del proceso de contratación.

- **Rendición de Cuentas:** Las entidades públicas están obligadas a rendir cuentas sobre los procesos de contratación y a garantizar la trazabilidad de los recursos públicos utilizados.
- **Supervisión y Control:** La Contraloría General de la República, la Procuraduría General de la Nación y otros órganos de control supervisan y controlan los procesos de contratación pública para garantizar su legalidad y transparencia.

Relacionado a la exigencia normativa frente al proceso de compra se cuenta con la Resolución 12335 de 2012, “por la cual se reglamenta el registro de la maquinaria agrícola, industrial y de construcción autopropulsada y se dictan otras disposiciones” expone en el capítulo III. De Trámites asociados a la maquinaria que:

“Artículo 6. Para llevar a cabo el registro inicial de la maquinaria agrícola, industrial y de construcción autopropulsada en el Registro Nacional de Maquinaria Agrícola y de Construcción Autopropulsada en el Sistema RUNT, el propietario debe presentar ante el Organismo de Tránsito, copia de la declaración de importación, original de la Factura de compra de la maquinaria y acreditación del pago de los derechos que se causen por el trámite”. (Ministerio de Transporte, 2012)

“Artículo 7. Cambio de propietario. Para registrar el cambio de propietario de la maquinaria, el interesado debe presentar ante el Organismo de Tránsito, el contrato de compraventa, documento o declaración de las partes en el que conste la transferencia del derecho del dominio de la maquinaria, celebrado con las exigencias de las normas civiles y/o mercantiles y la acreditación del pago de los derechos que se causen por el trámite.” (Ministerio de Transporte, 2012)

“Artículo 12. Importación temporal de la maquinaria agrícola, industrial y de construcción autopropulsada. Para llevar a cabo el registro de importación temporal de la maquinaria agrícola, industrial y de construcción autopropulsada, el interesado deberá realizar el trámite ante el Organismo de Tránsito de la jurisdicción del puerto por el cual ingresó la maquinaria y presentar copia de la declaración de importación temporal, copia de la factura de compra del país de origen y acreditar el pago de los derechos que se causen por el trámite.” (Ministerio de Transporte, 2012)

El Decreto 723 de 2014 “por el cual se establecen medidas para regular, registrar y controlar la importación y movilización de la maquinaria clasificable en las subpartidas 8429.11.00.00, 8429.19.00.00, 8429.51.00.00, 8429.52.00.00, 8429.59.00.00, 8431.41.00.00, 8431.42.00.00 y 8905.10.00.00 del Arancel de Aduanas y se dictan otras disposiciones.” expone que:

“Artículo 3. La importación de mercancías usadas clasificadas en las subpartidas mencionadas en el artículo 1° del presente decreto estará sujeta al régimen de licencia previa en los términos del Decreto número 925 de 2013.” (Congreso de la República, 2014)

“Artículo 6. Toda la maquinaria clasificable en las subpartidas 8429.11.00.00, 8429.19.00.00, 8429.51.00.00, 8429.52.00.00, 8429.59.00.00 y 8905.10.00.00, que se encuentre e ingrese al territorio colombiano, deberá registrarse obligatoriamente en el RUNT.” (Congreso de la República, 2014)

5.3.2 Términos y condiciones de compra por parte de la Agencia Nacional de Contratación Pública

El Decreto Ley 4170 de 2011, creó la Agencia Nacional de Contratación Pública –Colombia Compra Eficiente–, con el objeto de impulsar políticas públicas y herramientas, orientadas a la organización y articulación, de los participantes en los procesos de compras y contratación pública con el fin de lograr una mayor eficiencia, transparencia y optimización de los recursos del Estado. (Colombia Compra Eficiente, 2021)

Además, en los numerales 1, 3, 4, 7 y 8 del artículo 12 del Decreto Ley 4170 de 2011 se asignan las funciones de la Subdirección de Negocios en relación con las compras y contratación pública. (Colombia Compra Eficiente, 2021).

La agencia Colombia Compra Eficiente es la encargada de regular la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola por parte de las entidades estatales. La entidad ha establecido un Acuerdo Marco con vigencia hasta 2024 que define las condiciones para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola a nivel nacional (Acuerdo marco de precios para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola cce-215- amp-2021, celebrado entre Colombia Compra Eficiente y (i) CasaToro S.A.BIC, (ii) Comercial internacional de equipos y maquinaria S.A.S – Navitrans S.A.S., (iii) Komatsu Colombia S.A.S, (iv) Ingeniería maquinaria y equipos de Colombia - IMECOL S.A.S., (v) Moto Mart S.A, (vi) Distribuidora Nissan S.A, (vii) 7 m Group S.A.)

Dentro de las condiciones de ese acuerdo, las entidades públicas pueden adquirir a nivel nacional maquinaria amarilla como: Motoniveladora, Retroexcavadora de llantas, Excavadora de orugas, Vibro compactador mixto, Vibro compactador doble Tandem, Cargadores frontales, minicargadores y maquinaria agrícola como: tractores de oruga y cosechadoras combinadas

La vigencia de este Acuerdo Marco es de tres años, a partir del 14 de diciembre de 2022 en la Tienda Virtual del Estado Colombiano, término prorrogable hasta por máximo un (1) año más. (Actualmente vigente). (Colombia Compra Eficiente, 2023)

El acuerdo establece la constitución de un catálogo que contiene la información de cada uno de los proveedores considerados. Este catálogo debe ser periódicamente actualizado y puesto a disposición por cada una de las entidades compradoras, dentro del catálogo se tienen en cuenta variables como:

- Tipología de la maquinaria
- Potencia Neta (hp)
- Peso Operativo (Ton)

- Capacidad de carga (Ton)
- Capacidad de cuchara (m³)
- Marca
- Referencia
- Precio Unitario sin IVA (\$ COP)
- Precio del Mantenimiento (\$ COP)
- Garantía (años)
- Si cuenta con Sistemas telemáticos y cuantos Sistemas telemáticos posee
- Si Cumple con estándares de emisiones (el catálogo no hace mención específica al tipo de estándar Tier o Stage, sin embargo, al remitirse a las fichas técnicas en las especificaciones del motor sí se menciona el estándar de emisión respectivo)

No se especifica en el catálogo información sobre año modelo de la maquina u horas de uso, en caso de ser usada.

El catálogo se encuentra disponible en la página web¹⁸ y las fichas técnicas de cada tipología de maquinaria ofertada por cada uno de los proveedores, de este modo es posible encontrar información específica y técnica de:

- Cargadores Frontales
- Excavadora de Orugas
- Retroexcavadora de Llantas
- Minicargadores
- Vibro compactador Mixto
- Motoniveladora
- Tractor de Orugas
- Vibro compactador doble tándem

Es de interés mencionar, que, en la solicitud de Cotización para contratar la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola, la Entidad Compradora deberá especificar:

- Lote requerido, bien sea el Lote 1 – maquinaria amarilla o Lote 2 – maquinaria agrícola.
- Tipología del bien.
- Segmento (potencia neta, peso operativo, capacidad de levante y capacidad de cuchara, según sea el caso).
- Accesorios requeridos.
- Lugar de entrega del bien.
- Cantidad requerida del bien.

¹⁸ <https://www.colombiacompra.gov.co/tienda-virtual-del-estado-colombiano/transporte/adquisicion-de-maquinaria-amarilla-y-agricola>

- Presupuesto oficial para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola y el Certificado de Disponibilidad Presupuestal (CDP) que lo respalda.
- Plazo de la ejecución de la orden de compra.
- Los demás campos solicitados en el formato de solicitud de cotización de la Tienda Virtual del Estado Colombiano.

Cabe mencionar que, para toda la maquinaria, los proveedores deben hacer el registro pertinente en el RUNT según la Resolución 12335 de 2012 y el RNMA que el Ministerio de Transporte reglamentó mediante Resolución 1068 de 2015. En esta resolución se incluye también la maquinaria que pertenece a las subpartidas arancelarias 8429.11.00.00, 8429.19.00.00, 8429.51.00.00, 8429.52.00.00, 8429.59.00.00 y 8905.10.00.00 (Tabla 43), entendida esta como aquella maquinaria que cuenta con ruedas, cilindros u orugas que les permite desplazarse de manera autónoma.

Por otro lado, cabe mencionar que el acuerdo suscrito en la Cláusula 11 de Obligaciones de los proveedores, en el título II de Obligaciones Específicas del Acuerdo Marco, se menciona en el apartado 11.72 “El proveedor deberá acogerse a los lineamientos que expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, respecto al proyecto de resolución de límites máximos permisibles de emisiones de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres.” (Colombia Compra Eficiente, 2021).

De acuerdo con lo anterior y revisando el catálogo actualizado disponible (con corte al 13 de septiembre de 2023) en la página de Colombia Compra Eficiente, de los 107 registros de maquinaria, 77 presentan algún cumplimiento frente a estándares Tier que se pueden consultar en la página, en el documento Excel publicado “Catálogo” a través del enlace: <https://www.colombiacompra.gov.co/tienda-virtual-del-estado-colombiano/transporte/adquisicion-de-maquinaria-amarilla-y-agricola>

Frente al proceso de compra, el acuerdo marco, establece en la cláusula 8 condiciones frente al establecimiento del precio de la maquinaria, en donde se expone que:

Ecuación 1. Precio máximo del bien o servicio

Colombia Compra Eficiente determinará el precio máximo del bien o servicio mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$P = \frac{Pbs}{1 - G}$$

Donde:

- *Pbs*: es el precio del bien y/o servicio en el Catálogo
- *G*: es el porcentaje del gravamen adicional (estampilla) expresado en decimales indicado por la Entidad Compradora. Si la Entidad Compradora no tiene gravámenes adicionales (estampillas), *G* será igual a cero (0).
- *P*: es el precio máximo del bien o servicio antes de impuestos incluidos los gravámenes adicionales (estampillas).

Fuente. (Colombia Compra Eficiente, 2021)

Adicionalmente, el acuerdo marco, expone en el anexo Fichas Técnicas y Especificaciones, los requerimientos mínimos de maquinaria amarilla, en donde se evidencia:

Tabla 64. Especificaciones mínimas técnicas

Tipología	Especificaciones mínimas técnicas
Motoniveladora	Las motoniveladoras deben estar en capacidad de crear taludes de 90 grados tanto a lado derecho como izquierdo, la hoja debe tener una rotación de 180 grados tanto a la derecha como a la izquierda, deben ser articuladas, el equipo debe ser turbo alimentadas con tracción 6x4 AWD o similar, esta tracción debe ser en llantas traseras o tipo tándem, cabinadas de fabrica con Aire Acondicionado, transmisión de 6 velocidades adelante y 3 atrás, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo, este equipo debe ser entregado con una hoja de 12 ft y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS y FOPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).
Retroexcavadora de llantas	La retroexcavadora de llantas debe ser con tracción 4x4, AWD o similar, deben ser turbo, cabinadas de fabrica con Aire Acondicionado, transmisión con 4 cambios adelante y 2 atrás, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo, línea hidráulica para los accesorios y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS y FOPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).
Excavadora de orugas	La excavadora de orugas debe ser turbo alimentadas, cabinadas de fabrica con Aire Acondicionado, debe tener palancas de avance y retroceso, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS (Equipos con peso mayor a 15 toneladas) de la ISO (Que aplique para cada fabricante).
Vibrocompactador	El vibrocompactadores mayores a 7 toneladas, debe ser turbo alimentados, en caso de tener cabina esta debe ser de fábrica y con Aire Acondicionado, debe tener doble amplitud y frecuencia de operación (alta y baja), tablero que muestre indicaciones de falla del equipo y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS y FOPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante). Los vibrocompactadores menores a 7 toneladas, en caso de tener cabina esta deber ser de fábrica y con Aire Acondicionado, debe tener doble amplitud y frecuencia de operación (alta y baja), tablero que muestre indicaciones de falla del equipo y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).
Tractor orugas	El tractor con orugas debe ser turbo alimentadas, cabinadas de fábrica con Aire Acondicionado, debe tener palancas de avance y retroceso, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).

Tipología	Especificaciones mínimas técnicas
Minicargadores	Los minicargadores en caso de ser cabinados deberán traer cabinas de fábrica, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo, altura de levante mínimo de 3 metros, deben cumplir con las normas de seguridad ROPS y FOPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).
Cargadores frontales	Los cargadores frontales deben ser turbocargadores, cabina cerrada de fábrica, tablero que muestre indicaciones de falla del equipo y debe cumplir con las normas de seguridad ROPS y FOPS de la ISO (Que aplique para cada fabricante).

Fuente. (Colombia Compra Eficiente, 2021)

Para los oferentes que hayan acreditado los requisitos habilitantes, es decir, su condición en el aspecto jurídico, financiero, experiencia y requisito mínimo técnico, la adjudicación del Acuerdo Marco considera como factor de ponderación sobre 100 puntos¹⁹, el factor técnico adicional (45 puntos), el factor económico (34 puntos), puntaje para estimular la industria nacional (20 puntos) y puntaje por vinculación de personas en condición de discapacidad (1 punto). Dentro del factor técnico adicional se consideran la atención al cliente, la garantía extendida, la rápida respuesta al mantenimiento, el sistema inalámbrico telemático y la tecnología ambiental. Esta última se evalúa sobre 10 puntos de acuerdo al estándar de la maquinaria (Tier 1: 5 puntos, Tier 2: 8 puntos, Tier 3: 10 puntos). De acuerdo a lo anterior, en los catálogos que presentan los distribuidores se incluye información de la norma ambiental que cumple el equipo.

Para el año 2023, se formuló la “guía para comprar en la tienda virtual del estado colombiano (TVEC) a través del acuerdo marco de precios para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola CCE-215-AMP-2021”²⁰. Este documento permite conocer información específica sobre el proceso de compra de maquinaria amarilla, así como los requisitos y consideraciones pertinentes para tener en cuenta por parte de las entidades compradoras. Es de mencionar que para la adquisición de maquinaria “El acuerdo marco de precios establece que debe realizarse por medio de una Solicitud de Cotización a los proveedores que se encuentren vinculados en la operación secundaria”. (Colombia Compra Eficiente, 2023). Adicionalmente la solicitud de la cotización se debe realizar a través del simulador para estructurar compras por medio de la página web: <https://www.colombiacompra.gov.co/content/tienda-virtual>.

¹⁹ Colombia Compra Eficiente – factores de ponderación en pliegos Acuerdo Marco (<https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.2137892&isFromPublicArea=True&isModal=False>)

²⁰ Link: <https://www.colombiacompra.gov.co/tienda-virtual-del-estado-colombiano/transporte/adquisicion-de-maquinaria-amarilla-y-agricola>

5.3.3 Condiciones en los contratos de obras públicas del IDU

Bajo los criterios de la contratación pública, señalados en el apartado 5.3.1, entidades distritales como el IDU, UMV, las Alcaldías Locales, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), entre otras, relacionadas a la contratación de obra pública, deben acogerse a los dictámenes normativos para la adjudicación y celebración de contratos.

En caso puntual del IDU, se cuenta con el Visor de proyectos (https://webidu.idu.gov.co/visor_proyectos/), en donde es posible identificar las obras que se encuentran en actual ejecución en diferentes procesos (Factibilidad, Diseño, Construcción y Conservación). Para el caso puntual de construcción, en el año 2023 se cuenta con alrededor de 200 contratos de obra e interventoría y 134 procesos licitatorios a adjudicar en el 2023. (IDU, 2022)

Se revisó a través del SECOP²¹ 18 contratos de obras públicas del IDU que actualmente se encuentran en proceso de ejecución comprendidos entre los años 2018 y 2022 con el fin de identificar los requisitos y exigencias frente a las condiciones técnicas de la MMNC y del mismo modo conocer que tan representativas son las condiciones técnicas de la Maquinaria en los criterios de evaluación, asignación de puntaje y criterios de desempate que se exponen en los pliegos de condiciones en los concursos de licitación.

El proceso de selección de los 18 contratos de obras públicas del IDU se llevó a cabo utilizando la información proporcionada por el Visor de proyectos del IDU con posterior consulta en el SECOP. Se optó por una selección aleatoria de proyectos en las localidades con la mayor concentración de obras de construcción (teniendo en cuenta que el visor, permite visualizar la cantidades de contratos en ejecución por cada una de las localidades, a partir de ese análisis de determinaron las localidades con mayor concentración de datos y se realizó el proceso de selección aleatoria sobre esas localidades), que incluyen Antonio Nariño, Barrios Unidos, Bosa, Engativá, Kennedy, Puente Aranda y Suba.

La Tabla 65 muestra los contratos revisados y algunas características

Tabla 65. Contratos revisados

No	LOCALIDADES	No de proceso
1	ANTONIO NARIÑO	IDU-LP-SGDU-030-2021
2	BARRIOS UNIDOS	IDU-LP-SGI-017-2021
3	BOSA	IDU-LP-DTC-007-2022

²¹ <https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/ContractNoticeManagement/Index?currentLanguage=es-CO&Page=login&Country=CO&SkinName=CCE>

No	LOCALIDADES	No de proceso
4	BOSA	IDU-LP-SGI-038-2021
5	BOSA	IDU-LP-SGI-017-2021
6	ENGATIVA	IDU-LP-DTC-036-2021
7	ENGATIVA	IDU-LP-SGI-015-2019
8	KENNEDY	IDU-LP-SGI-030-2019
9	KENNEDY	IDU-LP-SGI-003-2018
10	PUENTE ARANDA	IDU-LP-SGI-039-2021
11	PUENTE ARANDA	IDU-LP-SGI-024-2021
12	SUBA	IDU-LP-SGI-027-2019
13	SUBA	IDU-LP-SGI-013-2018

Fuente. Propia (Se puede consultar la información detallada en la base de datos cargada en la carpeta de componente jurídico hoja 4)

Del número total de los 18 contratos revisados, se logró identificar que 13 contratos cuentan con información específica de MMNC como: Maquinaria mínima para ejecución del contrato, características de la maquinaria, factor de calidad (años de antigüedad de la maquinaria como factor de puntaje)

De cada uno de los 13 contratos mencionados con anterioridad, la información de interés de MMNC se encuentra desplegada de la siguiente manera (esto se realiza con el fin de facilitar la búsqueda y filtrar de manera rápida en el SECOP):

- Maquinaria mínima para ejecución del contrato: Esta información se describe el Anexo técnico que debe estar cargado en el portal del SECOP.
- Características que debe cumplir la maquinaria en términos del registro documental exigido por la normatividad que se deben remitir a la interventoría para revisión y aprobación: Esta información se describe en el Apéndice específico a gestión ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que debe estar cargado en el portal del SECOP.
- Factores de calidad, descrito en los criterios de evaluación y asignación de puntaje: Esta información se describe en el pliego de condiciones que debe estar cargado en el portal del SECOP.

En trece de los contratos revisados, si bien se mencionan las características que debe cumplir la maquinaria en términos del registro documental exigido por la normatividad que se deben remitir a la interventoría para revisión y aprobación, no hacen mención específica de condiciones técnicas propias de la MMNC como: características del motor en

relación con control de emisiones contaminantes, potencia requerida, capacidad, horas de uso o mejor tecnología (flota eléctrica).

En términos ambientales se menciona que se debe “realizar los monitoreos y/o muestreos de agua, calidad de aire y de ruido, en caso de ser requeridos siguiendo las metodologías establecidas en las normas, leyes ambientales vigentes y en los Capítulos técnicos correspondientes del Pliego de Condiciones.” Adicionalmente, los procesos de contratación dan la responsabilidad al contratista en forma independiente y con plena autonomía técnica y administrativa frente al uso de materiales, maquinaria, laboratorios, equipos y personal.

Las exigencias en los contratos revisados frente a los requisitos y condiciones de la MMNC en los procesos de construcción y desarrollo de obras públicas por parte del IDU, se desataca:

- Copia del RNMC.
- Protocolos y manuales de operación y mantenimiento.
- Certificación del último mantenimiento realizado vigente según las especificaciones de la maquinaria.
- Certificación expedida por un profesional idóneo, en el que se manifieste, que la maquinaria, equipo y vehículo, se encuentra en óptimas condiciones técnico-mecánicas de acuerdo con los parámetros establecidos por el fabricante para garantizar una operación segura.

Por otro lado, de los contratos revisados entre los años 2019-2022, 13 mencionaban en los pliegos de condiciones la asignación de puntos en factores de calidad relacionados con el uso de maquinaria con una edad menor a 20 años (exceptuando los contratos IDU-LP-SGI-003-2018 e IDU-LP-SGI-013-2018, que la asignación de puntos se genera con maquinaria de una edad entre los 5-10 años uso).

- En los pliegos de condiciones, en el apartado de criterios de evaluación y asignación de puntos, se encuentra el criterio de Factor de Calidad, bajo el concepto de Disponibilidad y condiciones funcionales de la maquinaria de obra (es bajo este concepto que se menciona la asignación de puntos al proponente que se comprometa a utilizar maquinaria con una edad menor a veinte (20) años y en caso de que la maquinaria haya sido repotenciada, los 20 años cuentan desde la fecha de repotenciación de la máquina).²²
- Los contratos revisados entre los años 2019-2022 tiene un valor máximo de 100 puntos, de los cuales 70 corresponde a la oferta económica, 19 al factor de calidad, 10 de apoyo a la industria nacional, 1 de vinculación de personas con

²² Para validez esta información remítase a la capeta de componente jurídico; subcarpeta: información de contratación pública -Instituto de Desarrollo Urbano IDU, allí encontrara toda la documentación de interés de cada uno de los contratos revisado.

discapacidad. En especial, en el Factor de calidad los puntos asignados varían entre 9 y 19 dependiendo del concepto de Disponibilidad y condiciones funcionales de la maquinaria de obra. El proponente que cumpla con las condiciones dadas en el concepto de Disponibilidad y condiciones funcionales de la maquinaria de obra deberá llenar un formato dado por el mismo pliego de condiciones y adjuntarlo a su propuesta, de lo contrario la puntuación será de cero (0) para ese ítem.

Para el caso puntual de los contratos IDU-LP-SGI-003-2018 e IDU-LP-SGI-013-2018, en donde la asignación de puntos se genera con maquinaria de una edad entre los 5-10 años, las condiciones se describen de la siguiente manera:

- En el pliego de condiciones en el apartado de Factores ponderantes, se sustenta la asignación de puntos relacionados MMNC bajo el criterio de Calidad, el concepto Disponibilidad de los Equipos a utilizar en las Obras (en donde el proponente se compromete a asignar al proyecto la maquinaria y el equipo requeridos con modelos que, se encuentren dentro de los 5 o 10 años anteriores a la fecha de presentación de la oferta.)
- Los contratos IDU-LP-SGI-003-2018 e IDU-LP-SGI-013-2018 tiene un valor máximo de 1000 puntos, de los cuales 100 puntos corresponden al concepto Disponibilidad de los Equipos a utilizar en las Obras
- La Representatividad de cumplir el concepto de Disponibilidad de los Equipos a utilizar en las Obras del pliego de condiciones es del 10% de la totalidad de la calificación de la propuesta.
- El proponente que cumpla con las condiciones dadas en el concepto de Disponibilidad de los Equipos a utilizar en las Obras deberá llenar un formato dado por el mismo pliego de condiciones y adjuntarlo a su propuesta, de lo contrario la puntuación será de cero (0) para ese ítem

Si bien, en Bogotá los temas de contratación pública han venido impulsado ciertos requerimientos frente al uso de MMNC principalmente el año de fabricación de la maquinaria como determinantes en la puntuación en concursos licitatorios y condiciones exigencia del Registro Nacional de Maquinarias Agrícola, Industrial y de Construcción Autopropulsada (RNMC), Protocolos y manuales de operación y mantenimiento entre otros mencionados con anterioridad, aún existen criterios técnicos que no son tenidos en cuenta como: Características puntuales del tipo de motor que garanticen ciertos estándares de emisión, potencia y capacidad, también restricciones frente al uso de maquinaria nueva o condiciones específicas de maquinaria usada y horas de uso de la maquinaria (criterio importante y destacado en los costos de compra y alquiler entre entidades privadas).

5.3.4 Condiciones de alquiler

La ejecución de las obras civiles viales, tanto en la ejecución inicial como en su mantenimiento se encuentran a cargo del Estado Colombiano, sin embargo, este delega a constructoras del sector privado la ejecución de estas, por medio de licitaciones públicas. En relación con las constructoras, se identifica que ellas ponen a disposición la infraestructura de maquinaria que poseen; sin embargo, cuando la maquinaria es propia, ella queda en desuso ocasionando costos por almacenaje y transporte, lo que se traduce en pérdidas económicas para la empresa constructora. Por esta razón varía de ellas han tomado como opción el alquiler de la maquinaria requerida y de esta manera se disminuye los costos (Ramírez, 2007).

Pese a lo anterior, en aspectos normativos regulatorios, no es claro el panorama frente a los requisitos u obligaciones para el alquiler de MMNC entre entidades privadas, diferentes a los términos constituidos en la Resolución 12335 de 2012 y las condiciones estipuladas por la ley frente a los procesos de contratación pública mencionados en el “Acuerdo marco de precios para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola cce-215- amp-2021”.

En la contratación de obras públicas, el Estado entrega la responsabilidad al contratista en forma independiente y con plena autonomía técnica y administrativa frente al uso de materiales, maquinaria, laboratorios, equipos y personal. Es decir, que es el contratista el encargado de disponer de su propia maquinaria o de alquilarla a través de otros proveedores dependiendo de las características que se exijan en los pliegos de condiciones (si aplica). Adicionalmente, si bien la información frente a la contratación directa entre entidades Públicas-Privadas se puede consultar de manera directa a través de portales como SECOP, no es fácil identificar los términos contractuales entre entidades Privadas-Privadas para la adquisición de maquinaria.

5.3.5 Incentivos tributarios

Para hacer una inspección de incentivos tributarios aplicados a la adquisición de MMNC con mejor tecnología primero se debe reconocer el Estatuto tributario como el documento que establece los derechos y obligaciones de los contribuyentes, así como los procedimientos y mecanismos para el cumplimiento de las obligaciones fiscales. Asimismo, relacionado a los incentivos tributarios también se presenta la respuesta de la ANLA frente a los incentivos tributarios existentes en Colombia relacionado a la MMNC.

En primer lugar, aunado al Estatuto Tributario es importante aclarar que este se creó mediante el Decreto 624 de 1989 y está conformado por ocho libros y un título preliminar, que registra los impuestos sobre las ventas, quiénes son sus responsables, la base gravable, tarifas, bienes exentos, entre otros aspectos.

El estatuto tributario muestra dos tipos de incentivos aplicados a maquinaria pesada de industrias básicas²³; el primero son incentivos no sujetos a autorizaciones previas de los cuales se describe:

- **Descuento por IVA pagado en la adquisición e importación de maquinaria pesada para industrias básicas:** Descuento del IVA pagado en adquisición o importación. Descuento en el período de la inversión y en los períodos siguientes.
Las condiciones son: (i) en importación temporal de largo plazo, el IVA a descontar es el pagado en la nacionalización o cambio de modalidad; (ii) en caso de enajenación antes de finalizar la vida útil, procede “reembolso del beneficio proporcional como adición al impuesto neto de renta; (iii) IVA causado en importación CIF >USD\$500K puede pagarse en cuotas (40% en importación, 30% y 30% en los dos años siguientes previo acuerdo de pago con DIAN); (iv) aplica limitación general a descuentos tributarios (Artículo 259 ET) y en el artículo 258-2 ET (DIAN, 2023).
- **Exclusión en importación temporal de maquinaria pesada para industrias básicas:** Exclusión en importación temporal de maquinaria que no se produzca en el país.
Condiciones: (i) aplica para importación temporal de maquinaria no producida en Colombia; (ii) incluye todos los elementos complementarios o accesorios del equipo principal. (Artículo 428 E del ET)²⁴.

El segundo son los Incentivos sujetos a autorizaciones previas, de los cuales se describe:

- **Exclusión en equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados para producción y utilización de energía:** Exclusión en importación adquisiciones e importaciones de bienes y en prestación de servicios que se destinen a la pre-inversión e inversión, para la producción y utilización de energía FNCE²⁵.
Condiciones: (i) Aplica para producción y utilización de energía a partir de FNCE y la medición y para evaluación de potenciales recursos; (ii) requiere certificación emitida por ANLA con base en listado elaborado por UPME y aval de la UPME del proyecto de FNCE. (Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014.)
- **Aranceles, Exención en importaciones destinadas exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos FNCE:** Exención en importación por parte de personas naturales y jurídicas de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos FCNE
Condiciones: (i) Aplica para importaciones no producidas en el país y cuyo medio de adquisición sea esté sujeto a importación; (ii) la exención debe solicitarse a la DIAN por lo menos 15 días antes de la importación; (iii) requiere aval UPME sobre el proyecto de FNCE y de la maquinaria, equipos, elementos e insumos relacionados, y certificación

²³ Industrias básicas: minería, hidrocarburos, química pesada, siderurgia, metalurgia extractiva, generación y transmisión de energía eléctrica y, obtención, purificación y conducción de óxido de hidrógeno

²⁴ Link de consulta del estatuto tributario: <https://estatuto.co>

²⁵ Fuentes No Convencionales de energía

ANLA; (iv) Solicitud de licencia previa (con este registro se entiende cumplida la solicitud de exención ante la DIAN); (v) el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo decidirá la solicitud de licencia previa con base en el Registro de Productores de Bienes Nacionales. (Artículo 13 de la Ley 1715 de 2014.)²⁶

Tomando en consideración lo anterior, es de resaltar que estos describen con precisión a aquellos que son Maquinarias Móviles No de Carretera del sector de la infraestructura y la construcción, solo se destacan inventivos a maquinarias de industrias básicas (que en su mayoría forman parte del sector minero) y la maquinaria utilizada en proyectos de Fuentes No convencionales de Energía FNCE.

Finalmente, relacionado a los incentivos tributarios existente en el territorio Colombiano, se presenta como se mencionó anteriormente la respuesta de la ANLA la cual tenía el fin de identificar casos de incentivos tributarios frente a la importación de Maquinaria móvil fuera de ruta para el sector de la construcción en obras civiles, conocida también como “maquinaria amarilla”, que tengan en cuenta criterios ambientales como la reducción de emisiones contaminantes se radicó una solicitud ante la ANLA, ente que cuenta bajo su manejo la expedición de certificados ambientales para acceder a los beneficios tributarios de exclusión del Impuesto Sobre las Ventas IVA y descuento del impuesto sobre la Renta relacionadas con la importación (Anexo 6. Respuesta radicado ANLA). La respuesta por parte de la ANLA es que a la fecha de la comunicación (29/12/2023) no se ha expedido un certificado ambiental con las características mencionadas, a su vez establece la ANLA que:

“La ANLA acredita los elementos, equipos y maquinaria para la exclusión del Impuesto Sobre las Ventas IVA que cumplan con las disposiciones señaladas en el artículo 424 numeral 7 o el literal f)4 del artículo 428 del Estatuto Tributario, reglamentados por el Decreto 1625 de 20165 modificado por el Decreto 1564 de 20176 y la Resolución 2000 de 2017 Adicionalmente, es objeto del referido beneficio tributario la importación de equipos y maquinaria destinada al desarrollo de proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyan a reducir la emisión de los gases efecto invernadero y por lo tanto al desarrollo sostenible, tal como lo establece el artículo 428 literal i) del Estatuto en mención, para el cual la Resolución 978 de 2007 señala los requisitos y procedimiento aplicable al trámite en comento.”

5.3.6 Políticas de construcción sostenible

Se ha identificado la posibilidad de promover el uso de MMNC con mejor tecnología en Zonas Urbanas por un Mejor Aire, establecidas por la SDA a partir del Decreto 492 de 2023 “por el cual se reglamenta el artículo 120 del Decreto Distrital 555 de 2021 en relación con las (ZUMA) en Bogotá, D.C. y se declara la ZUMA Bosa-Apogeo, y se dictan otras disposiciones” (SDA, 2023a)

²⁶ <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

En este decreto se define que las ZUMA tienen como objetivo concentrar acciones intersectoriales para mejorar progresivamente la calidad del aire de la zona urbana del Distrito Capital a través de la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos y la disminución del riesgo de afectaciones en la salud de las personas por causa de la exposición a estos; además uno de los objetivos específicos busca reducir progresivamente las emisiones de contaminantes atmosféricos de las fuentes móviles, fuentes fijas y de material re-suspendido en las ZUMA y en la ciudad.

Es importante mencionar que el decreto en sí, no hace menciones específicas al control de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera, sin embargo, se logra identificar que, a partir de la declaración de una ZUMA, se debe elaborar un plan de acción propio de la ZUMA, que incluya todas las acciones estratégicas que permitan alcanzar los objetivos de las ZUMA en el plazo de la etapa Zonas de Baja Emisión en Bogotá (ZBE), involucrando las que se estén implementando y puedan continuar, estas acciones se definen en el artículo 16 del mismo decreto, en donde para Fuente móviles se destaca la acción 9 que, buscar priorizar la circulación de vehículos motorizados con tecnologías vehiculares de cero y bajas emisiones, es bajo esta acción que se identifica una oportunidad para incluir y tener en cuenta las MMNC.

Además, en la dimensión de ordenamiento territorial, la acción tres busca promocionar y articular las disposiciones y estrategias de ecourbanismo, construcción sostenible y gestión integral del hábitat orientadas a la reducción de la contaminación atmosférica y la acción climática. Aquí también se evidencia una oportunidad para incluir en estos procesos de infraestructura sostenible mayores exigencias frente a las características técnicas de las MMNC usadas en los procesos de construcción para el cumplimiento de criterios de sostenibilidad.

También se reconoce que existe una dificultad para implementar estas exigencias, debido a que, en procesos de construcción sostenible se tienen en cuenta aspectos de sostenibilidad propios del término de la construcción, más no sobre el proceso de construcción en sí, esto se evidencia y comprueba a partir de los procesos de definición de una construcción sostenible que se puede sustentar por la adquisición de sellos o certificaciones ambientales que lo demuestren como:

- **Certificación CASA Colombia:** Creado por el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible en 2016, el cual busca "impulsar la incorporación de criterios de sostenibilidad, facilitando la estructuración costo eficiente de nuevos proyectos, aportando soluciones al mercado en cumplimiento de la normatividad vigente y con un concepto de sostenibilidad integral en el que no solo prima el uso eficiente de los recursos sino con un enfoque claro en salud y bienestar." (CCCS, 2016). Este certificado puede ser otorgado a cualquier persona natural o jurídica que tenga un proyecto inmobiliario con uso residencial en Colombia bajo el cumplimiento de diversos parámetros de evaluación. Para adquirir la certificación, los proyectos inmobiliarios deben contar con Normas NTC e ISO para edificaciones sostenibles,

adicional a eso, para la solicitud deben contar con diversos registros documentales²⁷. Es de mencionar, que la certificación CASA Colombia si menciona en su proceso de certificación punteo por reducción de emisiones contaminantes por maquinaria de construcción²⁸

- Sello LEED: Creado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos en 1998, “Este sistema de certificación se destaca por la sistematización de los criterios de sostenibilidad en las diferentes etapas del ciclo de vida de las edificaciones (diseño, construcción, uso y rehabilitación de instalaciones), la implementación de mediciones energéticas y mecanismos de seguimiento y verificación del diseño durante su funcionamiento. Este sello internacional aplica a edificaciones nuevas y usadas para distintos usos como vivienda, comercio y oficinas, pero no referencia la línea base nacional. (LEED Colombia, s.f.)

Es por lo anterior, que para garantizar la inclusión de MMNC con mejor tecnología en los procesos de construcción ecourbanismo, construcción sostenible y gestión integral del hábitat orientadas a la reducción de la contaminación atmosférica y cambio climático, se deben definir cuáles son los criterios bajo los cuales una edificación se denomina sostenible más allá de los productos que genere que se contemplan en los procesos de certificación ambiental que actualmente se manejan en Colombia.

Por otro lado, se revisó el Programa de uso Racional y Eficiente de la energía PROURE 2022-2030 en donde una de las categorías de eficiencia energética habla sobre el cambio de tecnologías que “Considera la incorporación de equipos y maquinaria, que se caracterizan por tener mejores eficiencias en el uso de energía que las tecnologías que se usan actualmente. Aquí se contemplan medidas desde la compra de equipos complementarios para la optimización del uso de energía, como la sustitución de aquellos en los que efectivamente se usa la energía (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Sin embargo, las medidas de eficiencia energética son evaluadas para el sector minero, en donde se promueve la adquisición de maquinaria amarilla eléctrica.

Cabe mencionar que el documento también menciona la Construcción sostenible, Colombia ha dado el primer paso en la promoción de la construcción y readecuación de edificios desde el punto de vista energético, a través de la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Esta normativa establece los porcentajes de ahorro de energía y agua que deben satisfacer las nuevas construcciones de diferentes tipologías en diferentes climas del país. De igual forma, se resalta la expedición del CONPES 3919 “Política Nacional de Edificaciones Sostenibles” documento mediante el cual se priorizan algunas acciones para dinamizar la construcción sostenible a nivel nacional. (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Dentro de las acciones de eficiencia energética

²⁷ <https://casa.cccs.org.co/proceso-de-certificacion/#documentos-tecnicos>

²⁸ https://casa.cccs.org/wp-content/uploads/2023/10/CASA_V3.pdf

analizadas para el sector construcción sostenible no se contempla información sobre el uso de MMNC eléctrica en el proceso de construcción de inmuebles.

6. CARACTERÍSTICAS DE LA MMNC DISPONIBLE EN LA CIUDAD

El presente capítulo contiene el análisis correspondiente de las bases de datos entregadas por diversas instituciones respecto a las características de la MMNC a nivel Bogotá. En el caso de la SDA corresponde a los contratos celebrados por el IDU en el periodo de 2017 a 2021. Para el caso de la base de datos de CALAC+ corresponde a la información utilizada para la creación del inventario de emisiones fuera de ruta de Colombia. De igual forma, se presentan las bases de datos y análisis correspondiente de entidades como la UMV, algunas Alcaldía Locales de Bogotá y el caso de la primera línea del metro de Bogotá.

A continuación, se presentan los años modelo de la MMNC que conforma el parque automotor de algunas Entidades Distritales y de empresas involucradas en el alquiler y venta de la maquinaria (Tabla 66). El parque de maquinaria de construcción en el Distrito es antiguo, del total de máquinas 70% de modelos tienen entre 6 y 17 años, y sólo un 24% es menor a 5 años (Figura 32). Esto es consecuencia del modelo de negocio que involucra la maquinaria pesada como se explicará más adelante.

Tabla 66. Comparación de los años modelos de la MMNC por actores

Año modelo	Edad	UMV	IDU	Pilotos	Alcaldías Locales	BeMarket*	TuMaquinaria*	Total	
2018 - 2023	<5	17	165	23	4	18	30	257	24%
2012 - 2017	>5 - 11	24	362	15	4	6	11	422	40%
2006 - 2011	>11 - 17	17	225	8	4	10	19	283	27%
2000 - 2005	>17 - 23	0	43	2	0	9	10	64	6%
1994 - 1999	>23 - 29	2	11	0	0	2	3	18	2%
1979 - 1993	>29	0	10	0	2	3	0	15	1%
Total	Edad	60	816	48	14	48	73	1059	

**Información tomada de las páginas web para la ciudad de Bogotá hasta Diciembre de 2023*

Fuente. Autores

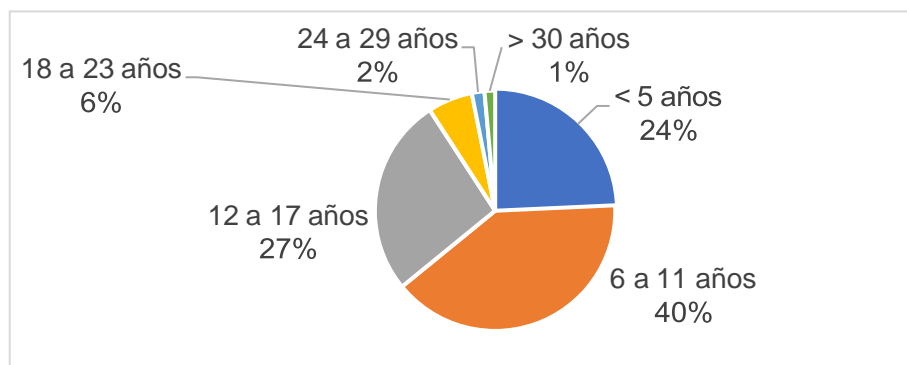


Figura 32. Edad promedio del parque vehicular de MMNC en Bogotá

Fuente. Autores

En visitas de campo e información recolectada por entidades distritales es posible observar que la maquinaria tiende a ser más moderna que en los inventarios y los portales web (Figura 33). Esto puede deberse a una renovación asociada a la rápida depreciación que tiene este tipo de maquinaria y los altos costos de mantenimiento una vez superan determinados umbrales de uso.

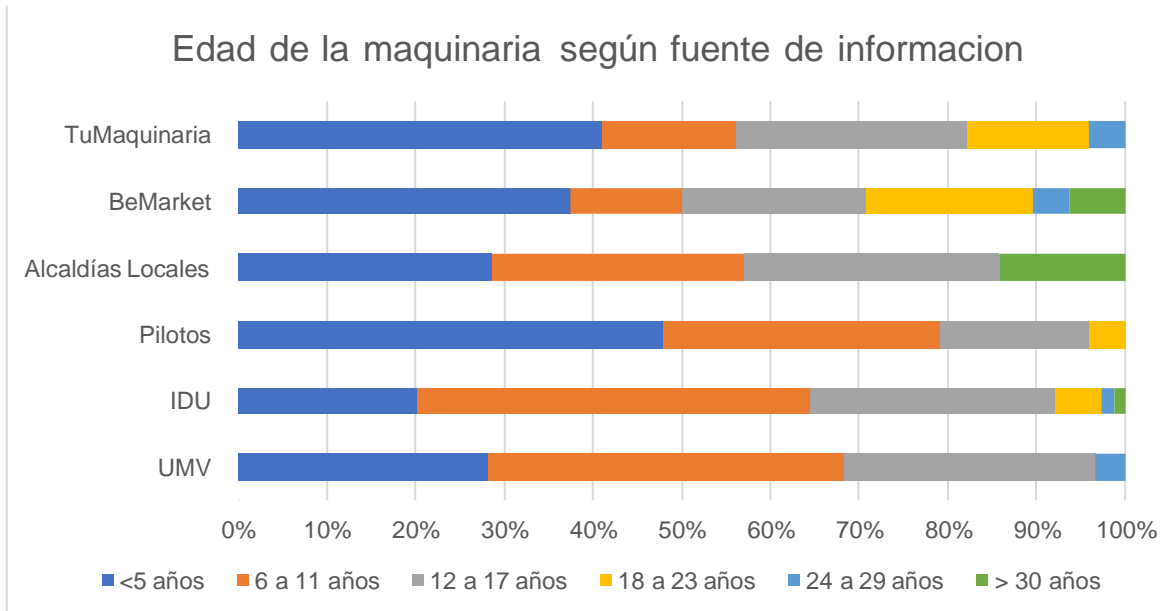


Figura 33. Edad de la maquinaria en el Distrito según fuente de información

Fuente. Autores

En cuanto a los estándares de emisión, en su mayoría fueron estimados a partir de la información entregada por cada uno de los actores, pocas veces la información fue suministrada directamente por el actor en mención (Tabla 67). Como fruto de la antigüedad del parque vehicular de MMNC, las tecnologías de estándares de emisión más comunes son Tier 2 (19%) y Tier 3 (52%). Un menor porcentaje (12%) tiene un estándar superior Tier 4i o Tier4f (Figura 34).

Tabla 67. Estándar de emisión MMNC de los actores*

Estándar de emisión	UMV	Pilotos	Alcaldías Locales	BeMarket	TuMaquinaria	Total	%
Pre- Tier	0	0	0	2	0	2	1%
Tier 1	2	2	0	4	4	12	5%
Tier 2	5	10	3	13	13	44	19%
Tier 3	41	21	4	20	37	123	52%
Tier 4i	2	8	2	4	9	25	11%
Tier 4f	10	6	0	4	9	29	12%
Stage V	0	0	0	0	1	1	0%
Total	60	47	9	47	73	236	100%

Fuente. Autores

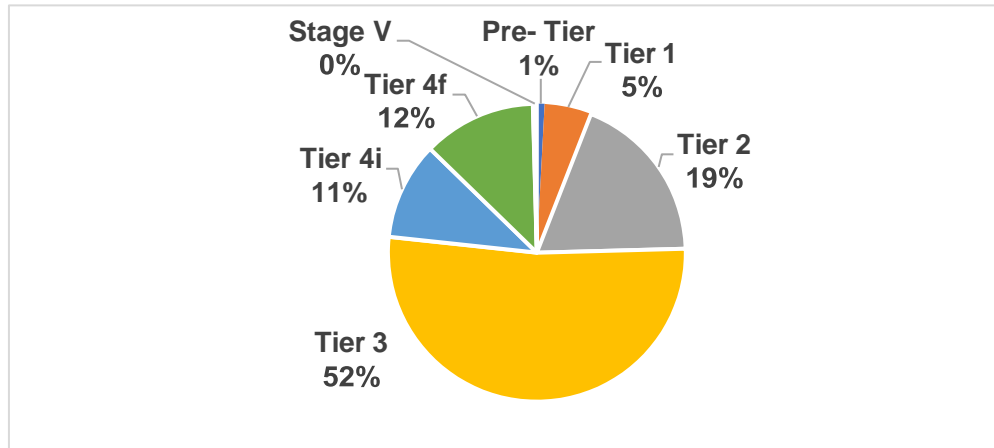


Figura 34. Estándares de emisión más comunes en el parque vehicular de MMNC en Bogotá*

Fuente. Autores

*Los valores de estándares de emisión aquí reportados son indicativos y la representatividad para el caso de Bogotá puede variar debido a que la información fue tomada de catálogos en línea, y si bien corresponden a los mismos modelos de las unidades de maquinaria, no necesariamente son importados con los mismos estándares de emisión para Colombia que para otros países que cuentan con estándares de emisión como Estados Unidos o aquellos de la Unión Europea.

6.1 Bases de datos suministrada por el IDU

Relacionado a la información por tipología y actividad la SDA proporcionó una base de datos con la información de la MMNC usada en 26 contratos del IDU para años del periodo 2017 a 2021, de los cuales 19 contratos contienen información de 993 máquinas de tipo de fuentes móviles distribuidas en: modo estacionario, MMNC no aplica. En definitiva, fueron analizadas 668 unidades (Tabla 68).

Tabla 68. Total de MMNC por contrato

Contrato	Total MMNC
Contrato 1397-2017	34
Contrato 1534 – 2018	8
Contrato 1535 – 2018	6
Contrato 1605 – 2019	77
Contrato 1286 – 2020	24
Contrato 1646 – 2020	28
Contrato 1647 – 2020	39
Contrato 1653 – 2020	18
Contrato 1670 – 2020	11
Contrato 1712 – 2020	101
Contrato 347 – 2020	19
Contrato 348 – 2020	64
Contrato 351 – 2020	74
Contrato 352 – 2020	53

Identificación de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera en Bogotá

Contrato 353 – 2020	72
Contrato 599 – 2020	23
Contrato 929 – 2020	3
Contrato 1777 – 2021	5
Contrato 1810 – 2021	9
Total	659

Fuente. Autores

En esta base de datos se evidencia información relacionada a tipo de contrato, tipología, marca, referencia y año modelo de la maquinaria. No se presenta información técnica y económica relacionada al peso, familia o número del motor, nivel de actividad, distribuidor, costos de alquiler, entre otros. La Figura 35 presenta las tipologías más comunes en los contratos del IDU, donde sobresalen compactadores, minicargadores, excavadoras y motoniveladoras.

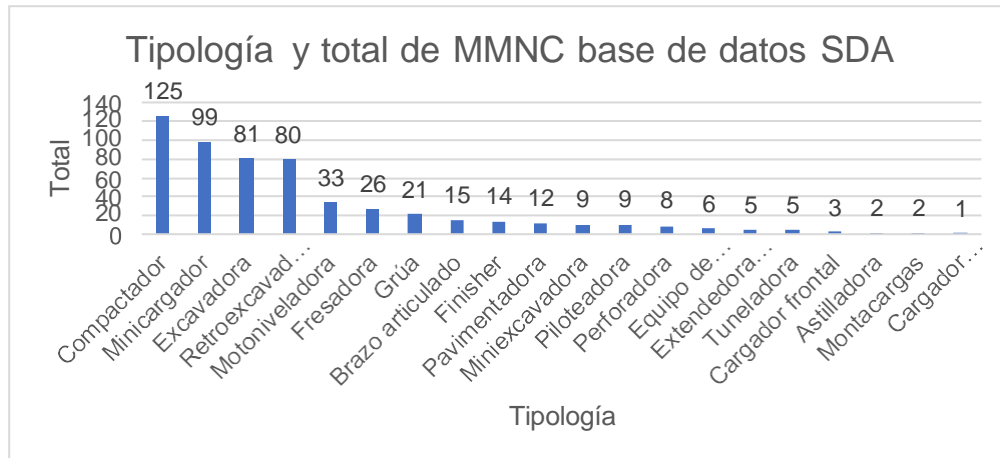


Figura 35. Tipología y total de MMNC base de datos SDA

Fuente. Elaborada a partir de base de datos SDA

En la base de datos se identificaron 128 marcas relacionadas a la MMNC (Anexo 7. Condiciones actuales) de las cuales se destacan las más frecuentes se presentan en la Tabla 69.

Tabla 69. Marcas representativas base de datos SDA

Marca	Total	Porcentaje
CATERPILLAR	8	6%
CASE	6	5%
DYNAPAC	5	4%
JCB	5	4%
KOBELCO	5	4%
Terex	5	4%
Wirtgen	5	4%
HAMM	4	3%
VOGELE	4	3%

Fuente. Autores

En la Tabla 70 se encuentran consignados los años modelos de la MMNC registrada en la base de datos para 20 contratos de los 26 identificados en la base de datos, esto debido a que los 6 contratos faltantes no presentaban información relacionada a los años modelos (lo cual se puede observar en el Anexo 7. Condiciones actuales). Ahora bien, de la MMNC con información relacionada a los años modelo se encontró que esta MMNC puede estar tener un año modelo desde 1979 hasta 2023, es decir que este grupo de muestra es posible encontrar maquinaria con más de 40 años y maquinaria menor a un año.

Tabla 70. Año modelo parque automotor base de datos SDA

Año	Total	Porcentaje
2019 - 2023	131	16%
2014 – 2018	264	32%
2009 - 2013	278	33%
2004 – 2008	121	14%
1979 - 2003	41	5%
Total	835	100%

Fuente. Autores

En la Tabla 70 se puede identificar que el 81% del parque automotor registrado en esta base de datos se encuentra dentro de un rango de año modelo entre 2009 a 2023, es decir, son máquinas con menos de 15 años. La fracción de máquinas con edad menor a 5 años es del 16%, lo que indica que el recambio a nuevos modelos y tecnologías se está realizando progresivamente para la ciudad de Bogotá.

6.2 Base de datos suministrada por CALAC+

El presente análisis se hace con base a la base entregada por CALAC+ “0.3 DB COMPLETADA”, la cual contienen los datos para la construcción del “Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia enfoque sobre maquinaria de construcción, minería, industrial y agrícola” del (MADS & COSUDE, 2022), que cuenta con la información de MMNC en Colombia en información relacionada a:

- ID máquina
- Estado máquina
- Marca
- Línea
- Año modelo
- Año Fabricación
- Rubro
- Clase
- Cilindraje
- Combustible
- Peso
- Rodaje
- Clasificación edad
- Rango de potencia en kW
- Potencia completada en kW
- Si pertenece a la población del 2018 y si está activa para este año, año modelo igual o inferior a 2018.

Revisada la base de datos no se entrega información de consumo de combustible, actividad (horas / mes), vida útil de la maquinaria, periodos de mantenimiento, tipo de posesión, distribuidor, entre otros. Sin embargo, respecto a la actividad, ésta se asigna según la tipología de acuerdo a la metodología propuesta por la (U.S. EPA, 2010). Los rangos de potencia representativos para el rubro de construcción son los de 75 a 130 kW y 56 a 75 kW. Finalmente, de las 16 tipologías representativas en esta base de datos, sobresalen la Excavadora, Retroexcavadora y Cargador (Tabla 71)

Tabla 71. Total MMNC por tipología y porcentaje de representación base de datos CALAC+

Tipología	Total	Porcentaje	Porcentaje acumulado
ER – EO	8805	30%	30%
RT	6608	23%	53%
CF	2829	10%	63%
BZ	2293	8%	71%
MC	1939	7%	78%
VC	1844	6%	84%
MN	1382	5%	89%
ME	574	2%	91%
TR	505	2%	93%
CP	480	2%	95%
DP	366	1%	96%
RD	280	1%	97%
AH	245	1%	98%
AF	168	1%	99%
PT	142	0,5%	99,5%
CG	132	0,5%	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: CV; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD

Fuente. (MADS & COSUDE, 2022)

6.3 Base de datos suministrada por Skill Group

A partir de las visitas en campo realizadas a distintos puntos de obra en la ciudad de Bogotá, el equipo de medición de opacidad Skill Group suministró a esta consultoría una base de datos de los equipos monitoreados (Anexo 8. Base de datos MMNC en campo SkillGroup). Frente a las tecnologías de control de emisiones no siempre fue posible identificaren campo el nivel de control, sin embargo fue posible identificar los estándares de emisión a partir de la revisión de las fichas técnicas, modelos, año modelo y motor presentado en

la base de datos, por lo que el grupo de muestra de MMNC encontrado en los pilotos se presumen que cuentan con estándares de emisión Tier 2, Tier 3, Tier 4i y Tier 4f, en donde la mayor parte de la maquinaria (45 %) cuenta con un estándar de emisión de Tier 3, seguido por maquinaria con estándar Tier 2 (Tabla 72). Sobresale la cantidad de máquinas con estándares Tier 4i y Tier 4f (4% y 17%), que corresponden a las tecnologías más modernas de control de emisiones.

Tabla 72. Estándar de emisión pilotos en campo

Estándar de emisión	Total	Porcentaje
Tier 1	2	4%
Tier 2	10	21%
Tier 3	21	45%
Tier 4f	8	17%
Tier 4i	6	13%

Fuente. Autores

De esta muestra de MMNC para obras de construcción, las tipologías más frecuentes son minicargador, excavadora de oruga, vibrocompactadora. En la Tabla 73 se muestran los años modelo de la maquinaria identificada en campo la cual gran parte lo que corresponde a un 40% tiene un año modelo entre 2019 y 2023.

Tabla 73. Año modelo MMNC pruebas piloto

Año Modelo	Total	Porcentaje	Edad
2023 – 2019	19	40%	0 – 4
2018 – 2014	12	25%	5 – 9
2013 – 2009	9	19%	10 – 14
2008 – 2000	8	17%	15 – 23

Fuente. Autores

En cuanto al nivel de actividad de las máquinas varía en función de la tipología debido a que este aspecto va relacionado a las labores y funciones que cumplen cada una de estas, así como también si la maquinaria está fija en un lugar o va rotando constantemente entre puntos. A partir de las visitas en campo se recopiló la información relacionada al horómetro para cada uno de los equipos (Tabla 74) donde se observan valores altos de hasta 157mil horas de uso.

Tabla 74. Rango de horómetro por tipología

Tipología	Rango de Horómetro
EO	527 – 157748
ER	1488 – 25185
FR	1387 – 77442
CG	161990
MC	1876 – 8938
MN	913 – 60177
PT	1556 – 61056
RT	2103 – 67444
AF	301
VC	719 – 67819

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: VC; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
Fuente. Autores

Finalmente, relacionado a las características de potencia de la maquinaria, esta fue clasificada en cuatro rangos siguiendo los rangos de potencia del motor manejado en el estándar de la US-EPA (Figura 36). En donde se encontró que la mayoría de la maquinaria se encuentra en el rango de 56 a 130 kW.

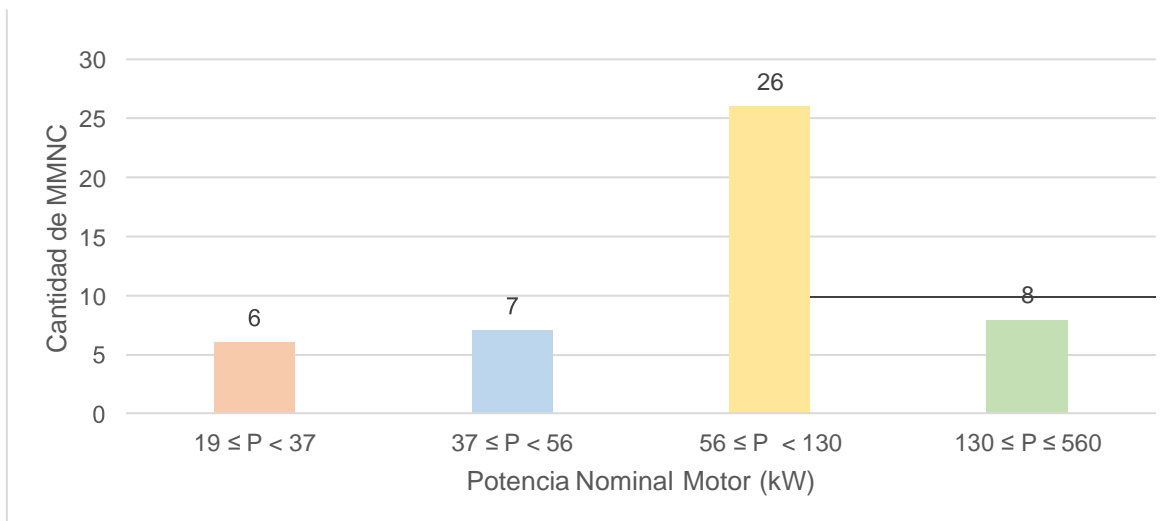


Figura 36. Rango de potencia del motor según estándar de la US-EPA

Fuente. Autores

6.4 Base de datos suministrada por la UMV

La UMV tiene por objeto programar y ejecutar las obras necesarias para garantizar la rehabilitación y el mantenimiento periódico de la malla vial local, intermedia y rural; así como la atención inmediata de todo el subsistema de la malla vial cuando se presenten

situaciones que dificulten la movilidad en el Distrito Capital (artículo 95 del Acuerdo Distrital 761 de 2020).

Actualmente debido a las funciones que desempeña la UMV, esta cuenta bajo su propiedad con 60 maquinarias (Tabla 75) las cuales se encuentran distribuidas entre 9 distintas tipologías, en donde la mayoría de la maquinaria son vibrocompactadores (32%), seguido de minicargadores (28%).

Tabla 75. Tipología perteneciente al parque vehicular de la UMV

Tipología	Total	Porcentaje
VC	19	32%
MC	17	28%
MN	5	8%
AF	5	8%
RT	5	8%
CF	3	5%
PF	3	5%
EO	2	3%
MG	1	2%
Total general	60	100%

Asfaltadora: AF, Perfiladora de asfalto: PF Autohormigonera: AH, Bulldozer: BZ, Camión Grúa: CG, Cargador Frontal: CF, Compactadora: CP, Dumper: DP, Excavadora de ruedas: ER, Excavadora de oruga: EO, Minicargador: MC, Miniexcavadora: ME, Montacargas: MG, Motoniveladora: MN, Retroexcavadora: RT, Vibrocompactadora: CV; Piloteadoras: PT; Fresadoras: FR; Manipulador telescópico: MT; Telehandler: TH; Tractores: TR; Recicladora: RC, Retrocargador: RD
 Fuente. Autores

De igual manera, se identificaron 13 distintas marcas de maquinaria de la cual 22 corresponden a la marca Estadounidense CASE, seguido por New Holland (11) y Caterpillar (10) (Figura 37).

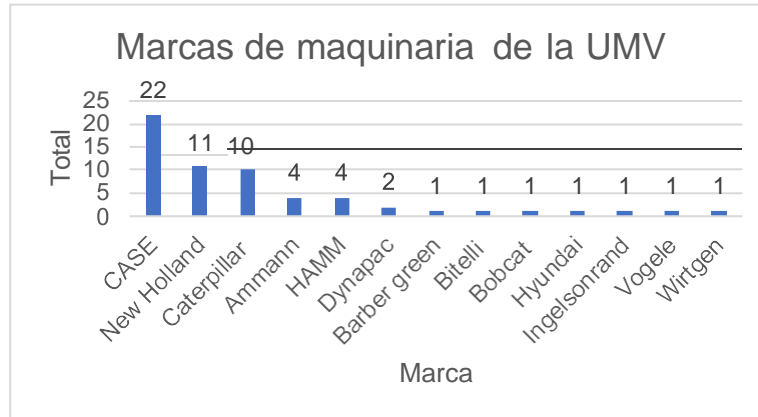


Figura 37. Marcas identificadas en la maquinaria de la UMV

Fuente. Autores

Los años modelo de la maquinaria perteneciente a la UMV van de los años 1994 a 2021, en donde la mayoría la MMNC cuenta con años modelos ente el rango de 2017 a 2021, por lo que la edad del 48% de la maquinaria está entre los 2 y los 6 años (Tabla 76), sin embargo, relacionado al estándar de emisión del parque vehicular de la UMV se estima que el estándar de emisión de este se encuentra en un Tier 2.

Tabla 76. Año modelo de la maquinaria de la UMV

Año modelo	Total	Porcentaje	Edad
2017 – 2021	29	48%	2 – 6
2012 – 2016	12	20%	7 – 11
2007 – 2011	16	27%	12 – 16
1994 – 2006	3	5%	17 – 29

Fuente. Autores

Cabe destacar que la UMV a pesar de que cuenta con maquinaria propia, también alquila máquinas para poder cumplir sus actividades misionales y está considerando un esquema de tercerización de la maquinaria, dado los costos asociados a la gestión de la maquinaria propia (operadores, mecánicos, repuestos, seguros, impuestos, etc.). Adicionalmente, la compra y reemplazo de maquinaria debe ser aprobado por la secretaria de Hacienda del Distrito, con una asignación presupuestal muy baja. Sin embargo, al tener su propio parque automotor cuentan con ventajas relacionadas a la versatilidad para la atención de imprevistos y menores costos cuando las máquinas están no operativas.

6.5 Base de datos Alcaldía Locales de Bogotá

A fin de poder llevar a cabo una caracterización de la MMNC implementada en la ciudad de Bogotá, se solicitó la colaboración de las Alcaldías Locales por medio de diversos medios como llamadas, correos electrónicos y solicitudes en su página web de información relacionada a la maquinaria de construcción. Con este propósito, fue enviado

un documento de 22 preguntas relacionadas a las características técnicas de la MMNC (Anexo 9. Oficio enviado a las entidades), preguntas relacionadas al ámbito económico en cuanto a costos de compra y alquiler, distribuidores y preguntas relacionadas a la Resolución 762 de 2022 (Anexo 10. Información Alcaldías Locales). A la fecha de la presentación del documento solo 13 de las Alcaldías Locales dieron respuesta al PQR (Tabla 77).

Tabla 77. Proceso y respuestas de las Alcaldía Locales

No.	Alcaldías Locales	Respuesta
1	Alcaldía Local de Antonio Nariño	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
2	Alcaldía Local de Barrios Unidos	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
3	Alcaldía Local de Bosa	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
4	Alcaldía Local de Chapinero	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
5	Alcaldía Local de Ciudad Bolívar	Cuenta con MMNC, sin embargo, no proporcionaron la información relacionada a esta
6	Alcaldía Local de Engativá	Cuentan con MMNC y proporcionaron una base de datos
7	Alcaldía Local de Fontibón	Cuentan con MMNC y proporcionaron una base de datos
8	Alcaldía Local de Kennedy	Cuentan con MMNC y proporcionaron una base de datos
9	Alcaldía Local de La Candelaria	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
10	Alcaldía Local de Los Mártires	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
11	Alcaldía Local de Puente Aranda	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
12	Alcaldía Local de Rafael Uribe Uribe	Cuentan con MMNC y proporcionaron una base de datos
13	Alcaldía Local de San Cristóbal	Cuentan con MMNC y proporcionaron información relacionada a esta
14	Alcaldía Local de Santa Fe	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local
15	Alcaldía Local de Suba	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local
16	Alcaldía Local de Sumapaz	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local
17	Alcaldía Local de Teusaquillo	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local
18	Alcaldía Local de Tunjuelito	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local

No.	Alcaldías Locales	Respuesta
19	Alcaldía Local de Usaquén	No cuenta con información relacionada a la venta o compra de MMNC
20	Alcaldía Local de Usme	No se recibió respuesta por parte de la Alcaldía Local

Fuente. Autores

A continuación, se muestra la información entregada por parte de las Alcaldías Locales, relacionada la MMNC de su respectivo parque automotor.

Alcaldía Local de Engativá

La maquinaria identificada para la Localidad de Engativá consta de cinco equipos a Diésel (Tabla 78) relacionados a las actividades de construcción de las cuales bajo posesión propia cuentan con:

Tabla 78. Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de Engativá

Tipología	Marca	Mantenimientos	Importada	Distribuidor	Modificaciones
Minicargador	NEW HOLLAND	250 horas y 500 horas	Sí	DINISSAN	Original
Minicargador	JOHN DEERE	250 horas y 500 horas	Sí	CASATORO	Original
Compactador	HAMM	250 horas y 500 horas	Sí	PARTEQUIPOS	Original
Motoniveladora	CATERPILLAR	250 horas y 500 horas	Sí	GECOLSA	Original
Retroexcavadora	CUKUROVA	250 horas y 500 horas	Sí	NO TIENE	Original

Fuente. Autores

Aunado al año modelo de la MMNC, esta cuenta con años modelo de 2006 a 2014 (Tabla 79), por lo que la edad de la MMNC está en un rango de 9 a 17, además de que se registra que la vida útil para estos equipos es de 20 años.

Tabla 79. Año modelo maquinaria Alcaldía Local de Engativá

Año modelo	Total	Porcentaje %	Edad
2006	1	20%	17
2013	1	20%	10
2014	3	60%	9

Fuente. Autores

Referente al estándar de emisión del parque automotor, no se proporcionó información relacionada a este punto, sin embargo, se presume que el estándar de emisión de los equipos está entre Tier 2 y Tier 4i, esto a partir de la información proporcionada en cuanto a la referencia, año modelo, marca y motor.

En cuanto a los precios relacionado a la compra de la maquinaria esta va de \$44.905.100 COP a \$398.116.750 COP como se puede apreciar en la Tabla 80 se evidencia una diferencia de precio relacionada a los dos minicargadores relacionada al año modelo de este equipo y su depreciación, por otro lado, en cuanto a la diferencia de precios entre las tipologías, el equipo con mayor costo relacionado es la retroexcavadora con año modelo de 2014 y el de menor precio es el minicargador con año modelo de 2006.

Tabla 80. Precio compra de maquinaria Alcaldía Local de Engativá

Tipología	Año modelo	Precio (\$COP)
Minicargador	2006	\$ 44.905.100
	2013	\$ 73.846.100
Compactador	2014	\$ 85.795.000
Motoniveladora	2014	\$ 146.121.300
Retroexcavadora	2014	\$ 398.116.750

Fuente. Autores

Finalmente, se presenta la Tabla 81 la cual contiene la información tal cual fue entregada por la Alcaldía Local de Engativá de la maquinaria en cuanto a la operación al día como promedio anual, el horómetro de esos equipos hasta el 14 de Diciembre de 2023 y consumo de combustible en promedio anual de galón por día el cual es un mismo valor para todos los equipos según lo entregado por la alcaldía.

Tabla 81. Nivel de actividad y consumo combustible MMNC Engativá

Tipología	Operación al día (h)	Horómetro	Consumo de combustible (Gal/d)
Minicargador	5	2676	10,59
Minicargador	5	2150	
Compactador	5	2339	
Motoniveladora	3	941	
Retroexcavadora	0,5	2264	

Fuente. Autores

Alcaldía Local de Fontibón

La maquinaria identificada para la Localidad de Fontibón consta de ocho equipos calificados por la Alcaldía Local de Fontibón como Maquinaria Amarilla, sin embargo, de esos ocho equipos dos pertenecen a maquinaria de uso manual, uno de los equipos catalogados como de maquinaria amarilla es un remolque doble el cual no se tiene en cuenta en la categoría de MMNC y el último hace referencia a un brazo excavador el cual es el complemento o parte de un minicargador, por lo que finalmente se hizo el análisis para solo tres equipos a Diésel (Tabla 82) relacionados a las actividades de construcción de las cuales bajo posesión propia cuentan con:

Tabla 82. Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía de Fontibón

Tipología	Marca	Mantenimientos	Importada	Distribuidor	Modificaciones
Vibrocompactador	Ammann	2 meses	Sí, Suiza	Parte Equipos	Original
Extendedora de asfalto	Ammann	3 meses	Sí, Suiza	Parte Equipos	Original
Minicargador	New Holland	5 meses	Sí, Estados Unidos	Parte Equipos	Original

Fuente. Autores

Aunado al año modelo de la MMNC, esta cuenta con años modelo de 2011 a 2022 (Tabla 83), por lo que la edad de la MMNC está en un rango de 1 a 12 años, además de que se registra que la vida útil para estos equipos es de 20 años.

Tabla 83. Año modelo maquinaria Alcaldía Local de Fontibón

Año modelo	Total	Porcentaje %	Edad
2022	1	33%	1
2021	1	33%	2
2011	1	33%	12

Fuente. Autores

Referente al estándar de emisión del parque automotor, no se proporcionó información relacionada a este punto, sin embargo, se presume que el estándar de emisión de los equipos está entre Tier 3 y Tier 4f, esto a partir de la información proporcionada en cuanto a la referencia, año modelo, marca y motor.

En cuanto a los precios relacionado a la compra de la maquinaria esta va de \$120.000.000 COP a \$273.109.244 COP como se puede apreciar en la Tabla 84 se evidencia una diferencia de precio entre las tipologías, el equipo con mayor costo relacionado es el vibrocompactador a con año modelo de 2021 y el de menor precio es el minicargador con año modelo de 2011.

Tabla 84. Precio compra de maquinaria Alcaldía Local de Fontibón

Tipología	Año modelo	Precio (\$COP)
Vibrocompactador	2021	\$ 273.109.244
Extendedora de asfalto	2022	\$ 180.672.269
Minicargador	2011	\$ 120.000.000

Fuente. Autores

Finalmente, se presenta la Tabla 85 la cual contiene la información de la maquinaria en cuanto a la operación al día como promedio anual, el horómetro de esos equipos hasta el 14 de Diciembre de 2023 y consumo de combustible en promedio anual de galón por día para todos los equipos.

Tabla 85. Nivel de actividad y consumo de combustible MMNC Fontibón

Tipología	operación al día (h)	Horómetro	Consumo de combustible
Vibrocompactador	4	100	2 gal/ 3 horas
Extendedora de asfalto	3	50	1 gal/ 2 horas
Minicargador	6	1200	3 gal/ 3 horas

Fuente. Autores

Alcaldía Local de Kennedy

La maquinaria identificada para la Localidad de Kennedy consta de dos equipos a Diésel de los cuales no se especifica su tipología según lo entregado en la base de datos de la alcaldía local (Tabla 86) la cual bajo posesión propia cuentan con:

Tabla 86. Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de Kennedy

Marca	Mantenimientos	Importada	Distribuidor
Dynapac	4 meses	Sí	
Ingersoll Rand	4 meses	No registra información	Rodríguez y Londoño S.A.

Fuente. Autores

Aunado a el año modelo de la MMNC, esta tiene años de 1990 y 1992 (Tabla 87), por lo que la edad de la MMNC está en un rango de 31 a 33, además de que se registra que la vida útil para estos equipos es de 20 años, por lo que la MMNC que conforma el parque automotor ya cumplió su vida útil. En cuanto a los precios relacionado a la compra de la maquinaria esta va de \$ 56.425.000 COP a \$ 420.000.000.

Tabla 87. Año modelo y precio compra maquinaria Alcaldía Local de Kennedy

Año modelo	Edad	Precio (\$COP)
1990	33	\$ 56.425.000
1992	31	\$ 420.000.000

Fuente. Autores

Referente al estándar de emisión del parque automotor, no se proporcionó información relacionada a este punto, sin embargo, se presume que los equipos no cuentan con estándar de emisión esto relacionado a sus años modelos (1990 y 1992). Finalmente, se presenta la Tabla 88 la cual contiene la información de la maquinaria en cuanto a la operación al día y consumo de combustible, es de resaltar que no se proporcionó información relacionada a los horómetros y la operación al día son datos tomados de la base de datos proporcionadas por la alcaldía.

Tabla 88. Nivel de actividad y consumo combustible Kennedy

Marca	operación al día (h)	Consumo de combustible
Dynapac	8	1 Galón
Ingersoll Rand	0	1 Galón

Fuente. Autores

Alcaldía Local de San Cristóbal

La maquinaria identificada para la Localidad de San Cristóbal consta de cuatro equipos a Diésel (Tabla 89) relacionados a las actividades de construcción de las cuales bajo posesión propia cuentan con:

Tabla 89. Características de la MMNC perteneciente a la Alcaldía Local de San Cristóbal

Tipología	Marca	Mantenimientos	Importada	Distribuidor	Modificaciones
Minicargador	CASE	30 días	Sí	Parte Equipos	Original
Compactador	Ammann	60 días	Sí	Parte Equipos	Original
Retroexcavadora	CASE	30	Sí	Lonja Inmobiliaria de Bogotá D.C.	Original
Motoniveladora	CASE	N/A	Sí	Lonja Inmobiliaria de Bogotá D.C.	Original

Fuente. Autores

Aunado al año modelo de la MMNC, esta se encuentra dentro de un rango de 2007 a 2019 (Tabla 90), por lo que la edad de la MMNC está en un rango de 4 a 16, además de que se registra que la vida útil para estos equipos es de 6 y 8 años, por lo que la MMNC que conforma el parque automotor ya cumplió su vida útil.

Tabla 90. Año modelo de la maquinaria de la Alcaldía Local de San Cristóbal

Año modelo	Total	Porcentaje	Edad
2007	1	25%	16
2008	1	25%	15
2019	2	50%	4

Fuente. Autores

Referente al estándar de emisión del parque automotor por parte de la Alcaldía Local de San Cristóbal se proporcionó información relacionada a este punto, por lo que el estándar de emisión de esta MMNC está entre un rango de Tier 2 (50%), Tier 3 y Tier 4 (50%) (Figura 38).

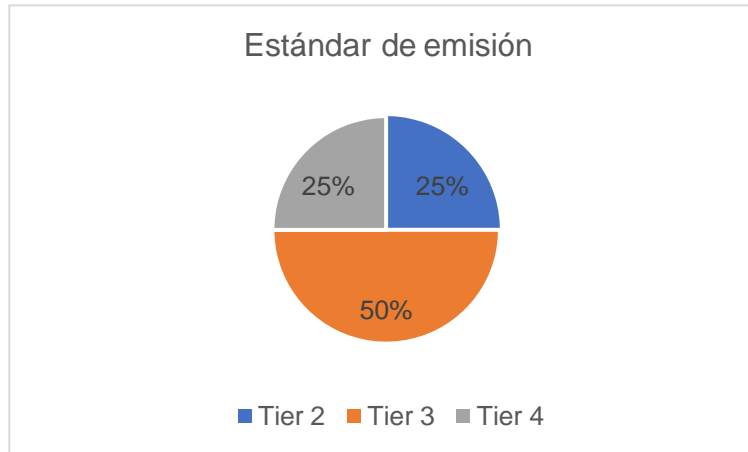


Figura 38. Estándar de emisión maquinaria de la Alcaldía Local de San Cristóbal*

Fuente. Autores

En cuanto a los precios relacionado a la compra de la maquinaria esta va de \$89.438.857 COP a \$183.560.000 COP como se puede apreciar en la Tabla 91, en cuanto a la diferencia de precios entre las tipologías, el equipo con mayor costo relacionado es el minicargador con año modelo de 2019 y el de menor precio es la retroexcavadora con año modelo de 2008.

Tabla 91. Precio compra de la maquinaria Alcaldía Local de San Cristóbal

Tipología	Año modelo	Precio (\$COP)
Minicargador	2019	\$ 153.624.000
Compactador	2019	\$ 183.560.000
Retroexcavadora	2008	\$ 89.438.857
Motoniveladora	2007	\$ 98.463.525

Fuente. Autores

Finalmente, se presenta la Tabla 92 la cual contiene la información de la maquinaria en cuanto a la operación al día como promedio anual, el horómetro de esos equipos y relacionado al consumo de combustible no se presenta dato alguno relacionado a esta variable.

* Los valores de estándares de emisión aquí reportados son indicativos y la representatividad para el caso de Bogotá puede variar debido a que la información fue tomada de catálogos en línea, y si bien corresponden a los mismos modelos de las unidades de maquinaria, no necesariamente son importados con los mismos estándares de emisión para Colombia que para otros países que cuentan con estándares de emisión como Estados Unidos o aquellos de la Unión Europea.

Tabla 92. Nivel de actividad San Cristóbal

Tipología	operación al día (h)	Horómetro
Minicargador	9	1593
Compactador	7	578
Retroexcavadora	10	75612
Motoniveladora	0	3582

Fuente. Autores

6.6 Información disponible primera línea del metro

Para la construcción de la primera línea del metro en Bogotá en el período 2018 a 2025 en el documento de (Financiera de Desarrollo Nacional, 2018), se menciona la maquinaria a usar de acuerdo con su capacidad y cronograma en días (de 10 horas cada uno). En la Tabla 93 se puede observar que las máquinas de mayor actividad son los retrocargadores y las retroexcavadoras con más de 1000 días, seguidas de motoniveladoras, compactadoras, minicargadores, vibrocompactadoras con más de 700 días.

En la Tabla 93 se puede identificar el nivel de actividad de cada uno de los equipos relacionado a la cantidad, la función que cumple en la obra y las etapas en las que esté programado su funcionamiento en vista que inicialmente se tenía un cronograma estimado en el periodo 2018 a 2025, sin embargo, es de resaltar que para la grúa autopropulsada de brazo telescópico en el informe consultado no se consignan los datos de capacidad y días-cronograma.

Tabla 93. Maquinaria a utilizar en la Primera Línea del Metro de Bogotá

Equipo	Capacidad (m ³ /día)	Días-Cronograma (jornada 10 h)	Capacidad total (m ³)	Maquinas (Unidades total)	Maquinas (Unidades frente)
Minicargador	26,67	730	19.466,67	28	4
Fresado de pavimento	8	365	2.920	15	2,5
Retrocargador	72,73	1.095	79.636,36	14	2
Retroexcavadora sobre orugas	72,73	1.095	79.636,36	14	2
Vibrocompactador	114,29	730	83.428,57	13	1,8
Vibrocompactador patecabra	120	730	87.600	12	1,7

Identificación de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera en Bogotá

Equipo	Capacidad (m ³ /día)	Días-Cronograma (jornada 10 h)	Capacidad total (m ³)	Maquinas (Unidades total)	Maquinas (Unidades frente)
Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 30 y 20 m de altura				7	1
Benitin 120	1.000	730	730.000	6	0,8
Terminadora de asfalto				6	1
Compactador de llantas	1.000	730	730.000	6	0,8
Motoniveladora	2.000	730	1.460.000	1	0,2

Fuente. Modificado a partir de (Financiera de Desarrollo Nacional, 2018)

Considerando el documento “Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá” de (Financiera de Desarrollo Nacional, 2018) en este se describen los insumos requeridos para la construcción de la Primera Línea del Metro de Bogotá por lo que se presenta un estimativo de combustible a lo largo de todo el proyecto debido a que la clasificación de los equipos está entre vehículos pesados y ligeros (Tabla 94), y un consumo total con las distintas tipologías y total de cada una de estas (Tabla 95).

Tabla 94. Consumo de combustible por equipo

Equipo	Consumo por unidad (L/h)
Vehículos pesados	3,5
Vehículos ligeros	0,5

Fuente. (Financiera de Desarrollo Nacional, 2018)

Tabla 95. Estimativo consumo de combustible del proyecto

Equipo	Clasificación	Consumo promedio (L/h)	Días-Cronograma (Jornada 10h)	Consumo (L)* Maquina	Maquina (Unidades totales)	Consumo total (l)
Minicargador	Ligero	0,5	730	3.650	28	102.200
Fresado de pavimento	Ligero	0,5	365	1.825	15	27.375
Retrocargador	Ligero	0,5	1.095	5.475	14	76.650

Identificación de barreras e instrumentos y acciones para la reducción de emisiones contaminantes por fuentes móviles de uso fuera de carretera en Bogotá

Equipo	Clasificación	Consumo promedio (L/h)	Días-Cronograma (Jornada 10h)	Consumo (L)* Maquina	Maquina (Unidades totales)	Consumo total (l)
Retroexcavadora sobre orugas	Pesado	3,5	1.095	38.325	14	536.550
Vibrocompactador patecabra	Ligero	0,5	730	3.650	13	47.450
Vibrocompactador	Ligero	0,5	730	3.650	12	43.800
Benitin 120	Ligero	0,5	730	3.650	6	21.900
Compactador de llantas	Ligero	0,5	730	3.650	6	21.900
Motoniveladora	Pesado	3,5	730	25.550	1	25.550
TOTAL LITROS	5.935.812 m³					

Fuente. Modificado a partir de (Financiera de Desarrollo Nacional, 2018)

7. COMPONENTE TÉCNICO

Se analizaron las barreras o limitaciones, así como las condiciones habilitantes para el ascenso tecnológico de la MMNC en el Distrito desde el componente técnico. Por lo tanto, este capítulo presenta un análisis detallado de las barreras y condiciones habilitantes identificadas. Lo anterior fue posible a partir de la información de actores relacionados con la gestión de la MMNC, la información obtenida en mesas de trabajo, visitas de campo y solicitudes realizadas a diversas entidades, así como el acercamiento a los gremios de la construcción.

Como barreras técnicas y condiciones habilitantes para el ascenso de la MMNC, se identificaron los siguientes temas: Calidad de combustible, edad del parque vehicular, aclimatación de tecnologías, sistemas de control de emisiones y nuevas tecnologías e incertidumbre sobre las nuevas tecnologías.

7.1 Calidad del combustible

De acuerdo con lo recopilado en las distintas mesas de trabajo realizadas con los actores, y destacando que la calidad del combustible desempeña un papel crucial en la percepción y confianza de los consumidores, la preocupación por los posibles cambios en la calidad del combustible por riesgos operativos en canales de se ha convertido en un factor determinante en algunos actores, generando inquietudes lo que conlleva a que la calidad del combustible se convierta en una barrera para el ascenso de MMNC con mejor tecnología.

Por otro lado, la calidad del combustible no solo se presenta como una barrera, sino también como una condición habilitante esencial para el funcionamiento de la MMNC, debido a su bajo contenido de azufre en el combustible a diésel a nivel nacional.

- **Barrera identificada**

De acuerdo con lo recopilado en las distintas mesas de trabajo realizadas con los actores, se identificó como barrera la desconfianza en el sector de importadores y distribuidores de maquinaria relacionado a la calidad y distribución del combustible para maquinaria con estándar Tier 4 y todo tipo de maquinaria en general, sin embargo, relacionado a la calidad del combustible esto es producto de que no siempre tienen conocimiento preciso, especialmente sobre el contenido de azufre en diésel.

Relacionado a la distribución del combustible, se encontró como barrera que la maquinaria de construcción no es usualmente suministrada en la estación de servicio (práctica usual para los vehículos en ruta), sino que este es transportado desde la estación de servicio o zona de almacenamiento en carrotanques, canecas o tanques al lugar de operación, por lo que puede dicha actividad de distribución podría conllevar a un riesgo de contaminación del combustible con micropartículas e incluso agua. De igual forma, es importante destacar que es práctica común en grandes poseedores de maquinaria realizar

la compra del combustible directamente al proveedor y no a través de estaciones de servicio o intermediarios, por lo que se han detectado problemas de cristalización del diésel y formación de natas en tanques de almacenamiento, probablemente ocasionados por el contenido y calidad del biodiésel y las temperaturas de los tanques. Lo anterior ha requerido la instalación de sistemas de pre-calentamiento en el almacenamiento.

Relacionado a lo anterior, en el caso del agua esta puede introducirse en el Diésel durante la carga, cuando el aire caliente, cargado de humedad se condensa en las paredes del tanque de combustible o debido a malas prácticas de limpieza. Los efectos del agua en el Diésel pueden ser serios, ya que esta puede causar que se destruya un inyector, o reducir la lubricidad del combustible lo cual causa amarres en las partes de poca tolerancia tales como el pistón (Basté J., 2013). En cuanto a la contaminación con micropartículas esta se puede dar por el ingreso de estas en la refinería del combustible, la tubería que lo transporta, Las cisternas de entrega, los tanques del surtidor, las mangueras de transferencia, las barras de medición de volumen y el aire que reemplaza el combustible en cada tanque mientras el combustible es consumido (Basté J., 2013).

Finalmente, para concluir esta barrera parte de la resistencia al cambio a MMNC con mejores tecnologías como lo mencionó uno de los actores, el Ing. Juan Pablo Osorio, residente de maquinaria el fallo de ciertas maquinarias es debido a la calidad del combustible como lo sugiere de forma errónea el gremio de la MMNC y operarios, esta calidad del combustible va relacionada al alto contenido de azufre que contiene el combustible que se distribuye a nivel local y a nivel nacional. De igual forma, se identificaron inconsistencias en la forma en que el combustible es distribuido internamente en las obras para poder llevar a cabo el proceso de tanqueo de la MMNC lo cual podría causar la contaminación del Diésel los cual puede generar problemas en distintos componentes de la maquinaria como lo pueden ser los sensores, tubos, transmisores, entre otros.

- **Condición habilitante identificada**

A pesar de que el combustible diésel en Colombia tiene características de ultra bajo contenido de azufre (8 ppm para septiembre de 2023) (Figura 39) hay desconfianza en el sector de importadores y distribuidores de maquinaria por la calidad del combustible asociado a parámetros como el contenido de azufre, número de cetano, la cantidad y calidad de biodiésel en la mezcla (la cual causa separaciones y natas en el almacenamiento), viscosidad, densidad, entre otros.



Figura 39. Evolución contenido de Azufre

Fuente. (Ecopetrol, 2022)

Este temor por la calidad del combustible se presenta principalmente en los importadores o distribuidores de maquinaria que aún no han hecho un ejercicio juicioso de lo que implica el ascenso tecnológico de la maquinaria a Tier 4. Algunos actores comentan de problemas en distintos componentes de la maquinaria como lo pueden ser los sensores, tubos, transmisores, entre otros. Por el contrario, distribuidores que han estudiado el tema y han solicitado el acompañamiento y asesoría de entidades como Ecopetrol, tienen claro que la calidad del diésel es apropiada para esta tecnología. Incluso han realizado pruebas de calidad en las estaciones de servicio, pudiendo verificar esta condición.

Algunos de los comentarios y referencias dadas en campo y en las mesas de discusión parten de la regulación frente al contenido de azufre en el Diésel, sin embargo, en la Resolución 40103 de 2021 se indica que el límite máximo permitido en concentración de azufre en Diésel era de 50 ppm hasta el 30 de abril de 2021, pero a partir del 1 de enero de 2023 el límite máximo permisible es de 15 ppm, con una proyección para el 1 de diciembre de 2025 de tener un límite máximo permisible de 10 ppm. Por lo tanto, relacionado al contenido de azufre algunos de los distribuidores aludían a que la reglamentación actual permitía un contenido de 50 ppm lo que generaba fallos en la maquinaria, sin embargo, como se comentó anteriormente actualmente para 2023 el contenido máximo es de 15 ppm, no teniendo ninguna diferencia con las características del combustible de la UE en donde es menor a 10 ppm y E.E.U.U. en donde el límite se encuentra entre un rango de 7-15 ppm.

A su vez, según los informes entregados por Ecopetrol siguiendo la estrategia de “Energía que transforma” en el capítulo de sostenibilidad que busca dinamizar la transición

energética, Ecopetrol trabaja en la oferta de un portafolio de combustibles de alta calidad que contribuya a reducir la huella de carbono y brindar un mejor aire para los colombianos (Ecopetrol, 2022). Por lo que la empresa ha avanzado en el cumplimiento de las especificaciones de calidad de los combustibles de acuerdo con las normas: CONPES 3943 de 2018, Ley 1972 de 2019 y Resolución 40103 de 2021 (Ecopetrol, 2022). Por lo que para el año 2018 y 2019 se logró una disminución de las 25 ppm en azufre a 10-15 ppm, valores que se mantuvieron para el 2020, sin embargo, el contenido de azufre para el 2023 se mantuvo entre un rango de 8 - 10 ppm, siendo el caso para septiembre el valor de este fue de 8 ppm.

Como se había mencionado anteriormente, actualmente en el 2023 el contenido de Azufre distribuido es 8 ppm para Diésel, teniendo de esta forma un combustible con buena calidad, siendo necesaria precisar el caso de Ecopetrol el cual cuenta con la estrategia de productos limpios y rentables, por lo que están comprometidos con que el combustible para 2025 y 2030 tengan una concentración de Azufre menor a 10 ppm, y hacer la transición a combustible de nueva generación de hidrógeno o sintético, y se está trabajando en bajas emisiones con hidrógeno verde, azul, biocombustibles, HVO y Diésel renovable.

De igual modo, en el de Komatsu “Foro Caminando hacia un Futuro Sostenible: Tecnología Tier IV” para el escenario de optimización y mejora del combustible distribuido en el país se resaltó el caso de Primax la cual cuenta con una importante red de estaciones relacionadas a la venta de servicios de combustibles cuenta a su disposición un producto conocido como Max-D o Max Pro Diésel, producto estrella combustible con un conjunto de aditivos adicional que mejoran las propiedades del combustible y contribuye a la reducción de emisiones, se resalta que para Max-D el desarrollo de este producto implementó tecnología avanzada como GreenClean que trae beneficios como:

- Mejor rendimiento: Reducciones de consumo de combustible hasta del 2,5%.
- Menos emisiones: Reduciendo hasta un 25% en promedio las emisiones contaminantes.
- Ayuda a mejorar la potencia del motor: Reduce el taponamiento de filtros.
- Ayuda a limpiar los inyectores: Cuenta con tecnología para limpiar el sistema de combustible y las boquillas de los inyectores.
- Ayuda a prevenir la corrosión: Protege las partes metálicas del motor.
- Aumento del número de cetano: Aumento promedio de 4 número de cetano comparado con el diésel, mejorando la combustión, lo que ayuda a preservar el motor.
- Optimiza el tanqueo, siendo un éxito en Transmilenio reduciendo los tiempos de tanqueo.

7.2 Edad del parque vehicular

Un factor importante para tener en cuenta es la edad del parque vehicular el cual ejerce tanto como barrera como condición habilitante para la adopción de MMNC con mejor tecnología. Como barrera, se cuentan con aspectos importantes como lo son la obsolescencia tecnológica y antigüedad del parque vehicular, bajo nivel de renovación, carencia en la definición de la vida útil de la MMNC y otros componentes, junto con la falta de información de la maquinaria en uso.

De igual forma, como condición habilitante es crucial señalar que, a partir de 2014, se ha dado un paso hacia la mejora de la información sobre la maquinaria, esto relacionado al Registro Nacional de Maquinarias Agrícolas, Industriales y de Construcción Autopropulsadas (RUNT), la cual es una herramienta para el monitoreo y gestión del parque vehicular.

- **Barreras identificadas**

Actualmente a partir de la revisión de la información relacionada a la maquinaria que se está ofertando en los distintos portales web y según la información proporcionada por los distribuidores consultados, parte de los equipos que se importan y se comercializan en Bogotá cuentan con estándares de emisión Tier 1, Tier 2 y Tier 3, debido a diferentes situaciones como lo son el valor de la maquinaria con tecnología más avanzada (Tier 4), los procesos de “tropicalización” y/o ajustes a las condiciones locales, costos relacionados a los mantenimientos debido a la cantidad y complejidad de partes de la MMNC, entrenamiento especializado en el mantenimiento y operación de la maquinaria lo que resulta también en la inexperiencia del mantenimiento y también operación de la maquinaria con estándares de emisión Tier 4.

Relacionado a los portales web de venta de maquinaria ya sea usada o nueva se tiene un indicio de los estándares de emisión del parque vehicular actual para la ciudad, ya que en distintas páginas los estándares de emisión de Tier 3 pueden representar del 43% al 51%, Tier 2 el 18% - 28% (Figura 20, Figura 29 y Figura 31) sobre el total de la maquinaria ofertada, mientras que a nivel nacional de acuerdo al Inventario Nacional de MMNC para el 2018 el 10% correspondía a Tier 3, 31,8% Tier 2, 25,6% Tier 0 y Tier 4i o Tier 4f 4,4%, esto es debido a los retos que supone el recambio a maquinaria con mejores estándares y que muchos de los clientes no tienen en cuenta el factor de estándar de emisión, sino que al momento de llevar a cabo el proceso de compra o alquiler buscan que la maquinaria pueda suplir las necesidades básicas de las obras en cuanto a eficiencia y otros aspectos.

En cuanto al nivel tecnológico del parque vehicular se presenta el ejemplo de la maquinaria que conforma el parque vehicular de varias entidades públicas de Bogotá en donde la maquinaria que se tiene para cubrir las operaciones y actividades que llevan a cabo tiende a tener un estándar de emisión Tier 2 o en poca medida de Tier 3 ya que se encuentra MMNC con años modelo de 1979 para arriba, es decir con una edad de más de 29 años (Tabla 70, Tabla 73 y Tabla 76) la cual sigue estando aún activa a pesar de haber

superado su vida útil, esto es debido a que finalmente cumple con los requisitos para seguir en funcionamiento.

Por lo tanto, la edad del parque vehicular se presenta como una barrera ya que se manifiesta a través de diversos aspectos, incluyendo la obsolescencia tecnológica en donde como se mencionó anteriormente en el contexto de oferta de mercado de maquinaria y el Inventario Nacional de MMNC lo que conlleva a que debido a la falta de sistemas modernos de control de emisiones y tecnologías de seguridad se tenga un rendimiento inferior y menor eficiencia en términos de consumo de combustible afectando a los costos de la operación, aumento de los costos de mantenimiento. De igual forma, otro factor adicional radica en el bajo nivel de renovación del parque vehicular, especialmente evidente en ciertas clases de maquinaria.

Adicionalmente, como otro aspecto que suma a la barrera de edad del parque vehicular es la creencia en la definición de vida útil de la MMNC, del motor o de sus componentes. En la actualidad, no existen condiciones dentro de la normatividad colombiana que estipulen antigüedad, horas de trabajo o condiciones para definir el fin de la vida útil de una maquinaria pesada, por lo que actualmente la maquinaria que se oferta y se puede usar en las obras no tiene restricción relacionada a su horómetros y año modelo, tal cual como se puede observar en las bases de datos de los pilotos, base de datos del IDU, UMV, Alcaldías Locales y empresas relacionadas a la venta y alquiler de maquinaria.

En cuanto a la definición de la vida útil es importante aclarar que como ya se ha mencionado con anterioridad no se cuenta con una definición general de cuánto puede ser la vida útil en años para la maquinaria, motor o de sus componentes y de los procesos de overhaul un claro ejemplo de esta falta de claridad frente a la vida útil de la maquinaria se ve reflejado en la información proporcionada por las Alcaldías Locales en donde la vida útil de la MMNC que pertenece a su parque automotor puede ser de 6, 8 o 20 años, independientemente de su tipología Tabla 96.

Tabla 96. Tipología y vida útil por Alcaldía Local

Alcaldía Local	Tipología	Marca	Vida útil (años)
San Cristóbal	Minicargador	CASE	6
	Compactador	Ammann	6
	Retroexcavadora	CASE	8
	Motoniveladora	CASE	8
Kennedy	-	Dynapac	20
	-	Ingersoll Rand	20

Alcaldía Local	Tipología	Marca	Vida útil (años)
Engativá	Minicargador	NEW HOLLAND	20
	Minicargador	JOHN DEERE	20
	Compactador	HAMM	20
	Motoniveladora	CATERPILLAR	20
	Retroexcavadora	CUKUROVA	20
Fontibón	Vibrocompactador	Ammann	20
	Extendedora de asfalto	Ammann	20
	Minicargador	New Holland	20

Fuente. Autores

Como se puede observar en la Tabla 96 las mismas tipologías con diferentes marcas como lo son los minicargadores tienen un valor diferente de años en su vida útil, por lo que a partir de esto se hace mucho más notable la falta de claridad, estandarización y restricciones asociadas a la definición de la vida útil de la MMNC aún más teniendo en cuenta la tipología a analizar.

Asimismo, al no tener definida la vida útil tampoco se tiene definido el proceso de eliminación de las piezas propias por lo que se abren las puertas a que exista una extensión de la vida útil de esas piezas cuyo proceso final se supone que se da con la chatarrización.

Finalmente, se destaca también como parte de la barrera la falta de información de la maquinaria en uso ya que existe un subregistro dentro del Registro Distrital Automotor (RDA) de la maquinaria de construcción en Bogotá, en la cual se reportan 1.136 unidades, sin embargo, para el país se tiene un estimado de 60.500 unidades a las que para Bogotá se le podrían asignar hasta 10.587 unidades de acuerdo con el indicador de construcción (MADS & COSUDE, 2022). Esto como consecuencia de la falta de información en el registro de maquinaria en operación anterior a 2014, siendo que la obligación de reportar la maquinaria se dio a partir del año 2012 y la falta de identificación (placa) armonizada para todo el parque automotor.

- **Condición habilitante identificada**

A partir del año 2014 se dio un paso hacia la mejora en cuanto la recopilación de la información de la MMNC a partir de un conjunto de datos que permiten determinar la propiedad, características y situación jurídica de la maquinaria, esto a partir del Registro Nacional de Maquinarias Agrícolas, Industriales y de Construcción Autopropulsadas (RUNT), la cual es una plataforma que ofrece una herramienta para el monitoreo y gestión del parque vehicular, lo que facilita la toma de decisiones informadas sobre la gestión, renovación y adquisición de maquinaria a nivel nacional y local. De igual forma,

relacionado a la gestión de mantenimiento este proporciona detalles sobre la edad, tipo de motor, lo que facilita a su vez o abre la puerta al diseño de políticas efectivas de renovación del parque vehicular, promoviendo la sustitución de maquinaria antigua controlando de esta forma la edad de operación de la MMNC a nivel nacional y local, de igual manera esta herramienta también resulta ser vital para tener un diagnóstico real y actualizado sobre la maquinaria que está siendo registrada en temas de características internas y externas del equipo, datos e identificación del propietario.

7.3 Aclimatación de tecnologías

La puesta en marcha de maquinaria con mejores tecnologías supone todo un proceso interno antes de que esta sea importada al país, debido a que como algunos de los distribuidores manifestaron para poder generar la importación de la maquinaria y para evitar fallos de esta al momento de trabajar en campo a nivel de local en la ciudad de Bogotá se es necesario llevar a cabo un proceso de “Tropicalización” el cual consiste en adaptar los equipos a las especificaciones del país, es decir, que este se adapte a ambientes especialmente exigentes en materia de productividad que es lo que se busca lograr con la MMNC con mejor tecnología.

Dicho proceso de tropicalización, puede suponer la instalación de equipos específicos dependiendo del ambiente como lo es la instalación de calentadores de arranque en países fríos o refrigerantes especiales en los países más cálidos, llegando incluso a darse el caso de hasta reprogramar las centralitas para poder cambiar la configuración de los motores (ITT, 2021), caso que fue mencionado por uno de los actores, en donde algunas maquinarias con tecnología Tier 4 debido a fallas en su funcionamiento tuvieron que pasar por la reprogramación de las centralitas o anulación de los sistemas de post tratamiento relacionado llamando a este proceso o aludiendo a una “reversión tecnológica”.

De igual forma, cabe resaltar que las tecnologías de la MMNC que se importan al país no siempre poseen las mismas características del país de origen, esto como resultado de la falta de regulación en la importación de máquinas sin sistemas de control de emisiones propios al estándar que manejan. Por otra parte, la falta de conocimiento en la operación de nuevas tecnologías puede llevar a reprogramar o suprimir sistemas de control para poder evitar fallas en la operación.

Teniendo en cuenta el proceso de tropicalización, también se debe tener presente que por ejemplo para el caso puntual de Komatsu para la importación de maquinaria Tier 4 dependiendo de su categoría es necesario llevar a cabo una programación para la importación, en caso de tener los equipos disponibles en Panamá la entrega sería entre 6 – 8 semanas, equipos de media rotación estos son embarcados directamente de Japón con un tiempo de fabricación de 3 -4 meses y traslado de 2 meses, y una entrega al cliente final de 5 -6 meses, finalmente, para los equipos de menor rotación estos son embarcados directamente desde Japón con un tiempo de fabricación de 4 – 6 meses, tránsito de 2 meses y entrega al cliente final de 6 – 8 meses.

7.4 Sistemas de control de emisiones y nuevas tecnologías

La introducción de sistemas de control de emisiones y nuevas tecnologías ha sido una medida la cual está exenta de desafíos relacionados a la logística de distribución de urea automotriz, esencial para los sistemas de reducción de emisiones como el SCR (Reducción Catalítica Selectiva), se posiciona como una barrera crítica. La efectiva distribución de este componente clave para la reducción de óxidos de nitrógeno (NOx) enfrenta desafíos logísticos para poder garantizar un suministro eficiente y continuo. A su vez, otra barrera identificada está relacionada a las bajas capacidades técnicas en servicios y mantenimiento de los nuevos sistemas tecnológicos y de control de emisiones por parte del sector de autopartes y mantenimiento postventa.

Contrastando estas barreras, la preparación técnica y comercial de los distribuidores se erige como una condición habilitante, teniendo en cuenta que varios de los distribuidores se encuentran preparados técnica y comercialmente para la atención de nuevas tecnologías en aspectos como formaciones técnicas sobre nuevas tecnologías, pruebas piloto, experiencia en la implementación de estas nuevas tecnologías.

- **Barreras identificadas**

Un factor que dificulta la importación e implementación de MMNC con mejores tecnologías fuera del proceso de tropicalización es la logística para la disponibilidad de aditivos para sistemas de control de gases como la urea automotriz necesaria en el funcionamiento de tecnología SCR (Selective Catalytic Reduction/ Reducción catalítica selectiva) el cual es el nombre de una tecnología de postratamiento de combustión para vehículos diésel que permite reducir las emisiones nocivas de NOX (óxido de nitrógeno) (YARA, s.f.). A pesar de la disponibilidad de urea automotriz en estaciones de servicio y otros centros de venta en el país, en las mesas de trabajo se mencionó como barrera la logística relacionada a la disponibilidad del aditivo y el cumplimiento del estándar de calidad NTC 5939. Por lo tanto, la barrera logística en estos sistemas supone la no garantía de que el sistema SCR funcione de forma correcta y pueda generar daños en el catalizador (YARA, s.f.) o que se incurra a la implementación de urea automotriz de baja calidad que al final debido a sus impurezas termine dañando el catalizador o el motor de la maquinaria.

La implementación de sistemas de control de emisiones y nuevas tecnologías no solo enfrenta obstáculos logísticos en la distribución de urea automotriz, sino que también se encuentra con una barrera significativa en el sector de autopartes y mantenimiento postventa relacionada a la baja capacidad técnica de este sector para abordar y mantener los sistemas avanzados y de control de emisiones representa un desafío multifacético que amenaza la adopción y eficiencia de estas innovaciones; lo que dificulta la interpretación e identificación de códigos de error, fallos y vacíos en la realización de reparaciones especializadas que demandan habilidades técnicas avanzadas.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

Con la entrada en vigencia de la normativa algunos de los distribuidores consultados comentaron que cuentan con planes de acción para la adopción e importación de maquinaria con mejores tecnologías para el año 2024, siendo más específico para el segundo semestre de este. Por lo que como paso inicial de su plan de acción está contemplado la importación de maquinaria Tier 3 hasta acabar con el stock para el primer semestre del 2024, sin embargo, a su vez en sus planes de acción tienen integrado líneas de financiamiento para adquirir equipos teniendo aliados como Davivienda, pero además de cubrir el componente económico, también cuentan con una estrategia enfocada en los clientes apoyado en talleres de reparación en la zona norte, occidente, oriental, central y Sur del país las cuales funcionan como estructura de soporte para Tier IV, además Komatsu tiene el conocimiento, y la experiencia con el caso de Chile que les ha permitido desarrollar cuatro aspectos importantes en su plan de acción los cuales son la preparación, entrenamiento, repuestos y gestión comercial

Preparación: Planificación y control de las actividades Tier 4 siendo el Foro Caminado hacia un Futuro Sostenible: Tecnología Tier IV parte de las actividades programadas para dar a conocer a los clientes las ventajas y portafolio de los nuevos productos a ofertar por parte de Komatsu, y también una oportunidad para Komatsu relacionada a la creación de un inventario con la maquinaria más solicitada para importación para el segundo semestre de 2024.

Entrenamiento: Certificación de un ingeniero en E.E.U.U. el cual va a compartir la información de operación, mantenimiento y reparación con los técnicos de servicios, asesores de servicios y asesores de campo. También se han certificado técnicos en tecnología DFP/SCR para poder intervenir la tecnología Tier 4.

Repuestos: Komatsu ya cuenta con un stock de filtración y de aceites y también de partes importantes que abarcan la tecnología como sensores, componentes electrónicos, filtros, entre otros. Relacionado a los aceites cuentan con la disponibilidad de aceites bajos en cenizas LA (Low Ash) que generan menos carbón en el motor, filtros con tecnología avanzada para para reducir el ingreso de partículas al motor lo que prolonga su vida útil y reduce el desgaste, también ayuda a cumplir las regulaciones medioambientales, reducir el consumo y los costos de mantenimiento.

Gestión comercial: Capacitaciones para poder explicar lo que puede suceder o lo que no con esta nueva tecnología a los clientes, pero también capacitación a los asesores relacionadas a las ventajas y cambios que supone la tecnología Tier 4. En estas capacitaciones y gestión comercial se engloban aspectos como las capacidades en soporte de mantenimiento correctivo como reparaciones correctivas, asistencia técnica, evaluación y diagnóstico especializado el cual se puede lograr debido a la avanzada tecnología de los equipos, reparación de los equipos y componentes; también cuentan con capacidades em soporte de mantenimiento preventivo relacionado a la función anti-desgastes, acuerdos de mantenimientos preventivos en 4 niveles; y mantenimiento preventivo que es

posible por el sistema de monitoreo que proporciona datos a los directores y operarios sobre mantenimiento y operación, alarmas, nivel de actividad, trazabilidad de los componentes, entre otros, todo esto en pro de poder llevar a cabo un acompañamiento constante al cliente al generar el recambio o adquisición de una MMNC con mejor tecnología.

Relacionado a la experiencia con tecnología de Tier 4 o manejo de tecnología avanzada para la MMNC en el caso Colombiano se tiene la experiencia de la integración de filtros DPF en flotas cautivas, como el sistema de transporte masivo Transmilenio (los cuales cumplen con estándares de emisión Euro VI obligatorio en Colombia a partir de 2023 por la Ley 1972 de 2019), en respuesta a la problemática de la calidad del aire, por lo que dicha implementación parte de la Resolución 123 de 2015 el cual establece el Programa de Filtro de Partículas Diésel para Bogotá. De igual modo a nivel distrital se cuenta con información relacionado a los conceptos técnicos producto del análisis de la información recopilada a partir de la implementación de estos filtro de partícula diésel, junto con el cumplimiento de los requisitos técnicos que este sistema de post-tratamiento debe tener, por lo que teniendo en cuenta lo anterior, ya se tiene conocimiento relacionado a los requisitos y procesos técnicos, pasos a seguir y alianzas necesarias para la aplicación y repuestos del DPF.

Relacionada a la tecnología avanzada para la maquinaria, se resalta que para el caso de Bogotá en paralelo se tiene experiencia con los buses que manejan estándar de Euro 6 el cual cuenta con un sistema SCR Reducción catalítica selectiva que es una tecnología que consiste en una instalación para reducir la emisión de gases, concretamente los óxidos de nitrógeno, DPD Filtro de partículas Diesel, se utilizan para minimizar la cantidad de partículas nocivas que salen de los sistemas de gases de escape, Catalizador DOC Convertidor catalítico encargado de reducir de emisiones nocivas de CO e hidrocarburos, implementación y distribución de la Urea automotriz la cual es un líquido diseñado para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno NO_x que emiten los motores diésel (Chevrolet, 2022), tecnología que presenta una gran similitud con el Tier 4 la cual puede contar con turbocargadores de geometría variable para compensar la saturación del filtro DPF, sistema EGR y sistema SCR con la inyección de urea automotriz.

En cuanto a los distribuidores, para el caso de Komatsu esta empresa también ya cuenta con experiencia relacionada a la implementación de maquinaria Tier 4, debido a que cuenta con equipos en pruebas piloto siendo que para el caso de Chile en este territorio tenían 10 equipos en campo con tecnología de Tier 4 a fin de poder analizar el comportamiento de estas maquinarias y de esta forma también poder aterrizar esta experiencia al caso Colombiano, sin embargo, por parte de Komatsu se espera que para el próximo año también se lleven a cabo pruebas piloto con los equipos que actualmente ya se han empezado a traer, esto para poder analizar y llevar un control del comportamiento de la maquinaria a nivel Colombia, junto con escenario de Bogotá.

7.5 Incertidumbre sobre las nuevas tecnologías

De acuerdo con lo expresado por algunos de los distribuidores, con la entrada en vigor de la Resolución 762 de 2022, se estima que antes de que este empiece a aplicar para el segundo semestre del año 2024, más específico en agosto, se espera que para el primer semestre se tenga un aumento en cuanto a la importación de maquinaria con tecnología Tier 3 o menor, debido a que estas resultan ser rentables tanto para las distribuidoras como para los clientes por la diferencia de precios que hay comparada con una maquinaria de Tier 4, de igual forma con la importación de maquinaria con tecnología Tier 3 o inferior se le ofrece a los clientes unidades de menor valor y con tecnologías ya reconocidas lo cual puede retrasar aún más el ascenso tecnológico. No obstante, la preferencia del mercado se inclina hacia tecnologías operativas como Tier 3, Tier 4i o superiores. Sin embargo, la operación de maquinaria con tecnología Tier 4 plantea incertidumbres debido a las necesidades técnicas en servicios y mantenimiento asociadas a estos sistemas avanzados de control de emisiones. Actualmente, en el sector de autopartes y mantenimiento postventa, no se cuenta con la capacidad necesaria para abordar estas demandas tecnológicas.

Adicionalmente, en los catálogos de los distribuidores de MMNC, no se establece de manera concluyente que el avance tecnológico conduzca a un menor consumo de combustible. En algunos casos, tecnologías más recientes como Tier 4f/Stage V pueden resultar en un aumento del consumo de diésel debido al funcionamiento de sistemas de postratamiento. Como ejemplo, Caterpillar indica un aumento del 2 al 3 % en el consumo de diésel al utilizar el DEF (fluido de escape diésel). De manera análoga, el estándar Stage V exhibe un incremento del 9% en las emisiones de CO₂ en comparación con el Stage IIIB. Este aumento en las emisiones de CO₂ está directamente relacionado con un mayor consumo de combustible.

Finalmente, otra barrera identificada está relacionada a que Los principales distribuidores de maquinaria pesada en el país expresan interés en promover el avance tecnológico de la MMNC; sin embargo, no todos están igualmente capacitados para esta transición. Destaca la empresa Komatsu Colombia por su iniciativa, ya que no solo ha organizado eventos de discusión sobre el impacto tecnológico y económico de tecnologías más modernas, sino que también planea introducir máquinas de nivel Tier 4 en pruebas durante el primer semestre de 2024.

8. COMPONENTE ECONÓMICO

Se analizaron las barreras o limitaciones, así como las condiciones habilitantes para el ascenso tecnológico de la MMNC en el Distrito desde el componente económico. Por lo tanto, este capítulo presenta un análisis detallado de las barreras y condiciones habilitantes identificadas. Lo anterior fue posible a partir de la información de actores relacionados con la gestión de la MMNC, la información obtenida en mesas de trabajo, visitas de campo y solicitudes realizadas a diversas entidades, así como el acercamiento a los gremios de la construcción.

Como barreras técnicas y condiciones habilitantes para el ascenso de la MMNC, se identificaron los siguientes temas: Mercado, oferta, incentivos económicos, modelo de negocio y fuentes de financiamiento.

8.1 Mercado

Relacionado al mercado de MMNC a nivel nacional y local se identificaron barreras y condiciones habilitantes. La barrera identificada está relacionada a la baja oferta en el mercado de autopartes para el servicio técnico de las nuevas tecnologías asociadas a la baja disponibilidad de repuestos originales, costos elevados y demoras en la importación, alto riesgo en la operatividad por disponibilidad de repuestos y la presencia de un mercado de repuestos usados.

Por otro lado, se identificaron varias condiciones habilitantes relacionadas a la diversidad de marcas y tipologías que buscan integrar tecnologías más limpias, la existencia de una variedad de portales de alquiler y venta de MMNC con tecnología no tan avanzada, junto con un mercado de repuestos y servicios para MMNC maduro en el país.

- **Barrera identificada**

La baja oferta en el mercado de autopartes para el servicio técnico de las nuevas tecnologías en maquinaria de construcción emerge como una barrera que impacta diversos aspectos fundamentales en la operatividad y mantenimiento de estos equipos avanzados. Teniendo en cuenta la escasa oferta de autopartes para nuevas tecnologías como Tier 4 o superior como consecuencia de una baja disponibilidad de repuestos originales, los cuales deben ser importados a un alto costo y con riesgo a posibles tiempos de espera, lo que conlleva a que sea común en el gremio la implementación de partes y repuestos homologados o adaptables, los cuales en algunos casos cuentan son provenientes de maquinaria que se encuentra en desuso. Asimismo, la falta de componentes específicos diseñados para las tecnologías más recientes puede comprometer la operatividad de la maquinaria en cuanto a eficiencia y el rendimiento de la maquinaria, aumentando los riesgos de daños de esta.

Por lo tanto, un correcto y programado mantenimiento de la maquinaria pesada representa un factor determinante para definir la vida útil de los equipos, evitando el deterioro prematuro de piezas vitales para la operación y funcionamiento de los mismos,

así como el sostenimiento de las capacidades y rendimientos originales. Por otro lado, los tiempos de mantenimiento representan espacios donde la maquinaria no es productiva, por lo cual los dueños de estos equipos buscan que los mantenimientos sean lo más eficientes, bajo en costos y rápidos de ejecutar.

Durante la consulta de proveedores como Rodríguez y Londoño, Induretros, Solutraparts o Geparts, se identificó que los repuestos originales para mantenimientos preventivos suelen ser presentados como una opción más costosa y con baja disponibilidad; ya que según los distribuidores deben ser importados, lo que sugiere tiempos de espera y un precio superior; sin embargo los distribuidores de repuestos suelen presentar opciones de compra mediante repuestos homologados o equivalentes, que suelen tener un precio inferior y una disponibilidad inmediata. En este punto los dueños de maquinaria suelen optar por una opción más económica y con una disponibilidad inmediata para reducir tiempos inoperativos y los costos de mantenimiento; sin embargo, estas piezas de repuesto no suelen ser avaladas por el fabricante, por lo que no se asegura que cumplan acabadidad con las necesidades de la maquinaria.

La entrada de maquinaria con un estándar de emisión superior y condiciones específicas de operación tiene un limitante importante, pues su tecnología exige el uso de repuestos genuinos que aseguren una correcta operación y así mantener su capacidad de bajas emisiones; sin embargo, según lo observado a lo largo de la consultoría, para poder llevar a cabo el cambio de los repuestos actualmente para el mantenimiento se depende de las empresas que importan los repuestos, sin embargo actualmente a nivel nacional no se cuentan con las unidades suficientes para el cambio lo que obliga a los compradores de maquinarias con estas tecnologías a adquirir por su cuenta y de manera anticipada los repuestos para sus mantenimientos, aumentando sus costos de inventario y almacenamiento; la otra opción es permitir el uso de piezas homologadas o equivalentes poniendo en riesgo el correcto uso de sus equipos. Todo esto es un proceso temporal y definido por la entrada al mercado nacional de maquinaria con estándar superior, además es importante tener presente que otra limitante importante es que no hay conocimiento en el sector principalmente en el sector de repuestos homologados y de reparaciones no realizadas por la casa matriz sobre lo que abarca el mantenimiento a los sistemas de control de emisiones, tales como los filtros de partículas diésel y los sistemas SCR.

De igual forma, la baja disponibilidad de repuestos y la dependencia de importaciones generan un alto riesgo en la operatividad de la maquinaria y también abre la posibilidad de tener tiempos de inactividad prolongados debido a la espera de repuestos esenciales puede afectar negativamente su productividad en cuanto a los plazos de entrega y la rentabilidad de los proyectos de construcción basado en el presupuesto operativo de las empresas de construcción.

Finalmente, es importante destacar que la regulación en el mercado de repuestos usados (Reglamentación de RTM para MMNC) introduce un elemento adicional de complejidad, ya que, si bien la oferta de repuestos usados puede ser una alternativa, las regulaciones

asociadas pueden limitar su accesibilidad y confiabilidad, añadiendo capas de incertidumbre en la selección y uso de piezas de segunda mano.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

Como se ha mencionado, el mercado actual de Colombia y a nivel local cuenta con un amplio mercado para los repuestos de la MMNC debido a que algunas de las marcas tienen grandes stocks para poder suplir las necesidades de mantenimiento de la maquinaria que ofrecen, pero también muchas de las marcas que se comercializan pueden funcionar con repuestos homologables de otras marcas lo cual alarga la vida útil de la maquinaria siguiendo las horas de mantenimiento y atendiendo el cambio de repuestos que se necesite, por lo que en el estado actual del mercado para Bogotá, como se había mencionado anteriormente se tiene un stock grande para los repuestos de la maquinaria que se opera, debido a que inicialmente se tienen los repuestos y stock ofrecido por las mismas distribuidoras con repuestos originales o también está la posibilidad de adquirir repuestos no originales, pero que resultan ser homologables y que se adaptan a las necesidades de estas maquinarias.

Relacionado a lo mencionado, se destaca el ejemplo de SANY el cual maneja una tecnología un poco más básica y cuentan con ensambladoras en cada región lo cual facilita también la disponibilidad en stock de los repuestos, de igual forma, esta empresa bajo el concepto Chino relacionado a la practicidad permite el funcionamiento de la MMNC con repuestos homologables fuera de los originales, resaltando el caso de las máquinas de motor y sistemas hidráulicos los cuales son del mercado Isuzu o de otras marcas tradicionales como Kawazaki, transmisores Danna, Cummins las cuales son marcas muy comerciales, siendo de esta forma que los repuestos son asequibles, asegurando a su vez un mayor vida útil de los equipos.

Adicionalmente, existen en el mercado empresas destinadas a la importación y distribución de equipos adaptables u homologables para la MMNC a un menor costo. Estas empresas como es el caso de Tractopesados (Anexo 1 en las mesas de trabajo) han venido ganado terreno en los últimos años y se prevé sean un actor muy importante en el mantenimiento de maquinaria con estándares inferiores a Tier 4i, una vez entre en vigencia la Resolución 762 de 2022.

Por otro lado, actualmente en Bogotá a partir de lo evidenciado en las salidas de campo, base de datos compartidas por distintas entidades distritales y catálogos ofertados por los distribuidores se encontró que el mercado presente y el parque vehicular vigente para la ciudad cuenta con una gran diversidad de marcas y tipologías, teniendo de esta forma maquinaria con hasta 128 distintos tipos de marcas, para más o menos 21 tipologías las cuales son implementadas en Bogotá.

Esta diversidad de marcas y tipologías se presenta como una condición habilitante debido a que se evidencia que para Bogotá no se cuenta con preferencia a solo una marca o comercialización y uso de una sola tipología, lo cual facilita la entrada de maquinaria con

mejores tecnologías debido a la comercialización e implementación de distintas marcas a nivel local, teniendo de esta forma un mercado diverso en cuanto a precios por tipología y por marca para esta maquinaria con nueva tecnología, igualmente esta diversidad favorece también el mercado de repuestos y partes para el mantenimiento de la maquinaria que sea manejada a nivel de Bogotá lo cual posibilita la facilidad esta actividad.

En esta oportunidad es importante tener presente el caso de algunas filiales Chinas las cuales han ido creciendo en el mercado Colombiano a pesar de contar con marcas de renombre como Caterpillar, CASE, New Holland, HAMM, entre otras, esto debido a la diferencia de precios que manejan con respecto a las marcas tradicionales, y a la facilidad de conseguir repuestos o la homologación de las partes de estos mismos, por lo que en la actualidad el mercado Colombiano para la compra de maquinaria goza de una gran diversidad de marcas, tipologías las cuales pueden ser ofertadas en distintos rangos de precios lo cual facilita el recambio.

Finalmente, otra condición habilitante evidenciada, se presenta en los procesos de adquisición y compra de MMNC a partir de los distintos portales web como BeMarket, Tu Maquinaria y SuperBid, además que existen otras páginas por las cuales también se pueden llevar a cabo el proceso de compraventa y subasta de la MMNC. Para el caso de la adopción de maquinaria con mejor tecnología se considera esta como una condición habilitante debido a la oportunidad de promover la compra de maquinaria con mejores estándares de emisión y la facilidad que supone la compra de la maquinaria por medio de estos portales web, junto con la seguridad que ofrece cada uno de estos en cuanto a funcionamiento, ya que actualmente se encuentra una gran variedad de equipos con diversos años modelos, características del motor, marcas, horómetros y estándares de emisión los cuales son ofrecidos por diversos actores, lo cual a futuro se presta para ser una condición habilitante en la distribución y una forma para que la nueva tecnología permee los distintos sectores de la cadena de compra y venta en la ciudad de Bogotá.

Se resalta el caso de Komatsu el cual cuenta con el desarrollo de su propio Ecommerce relacionado a una tienda virtual²⁹ (Figura 40) en el que se presenta la información de funcionamiento y características de la maquinaria a adquirir, procesos de cotización, repuestos a adquirir, por lo que en esta tienda virtual propia se ofrece maquinaria que sigue los criterios de sostenibilidad de Komatsu, adicionalmente, Komatsu también tiene un chatbot para los clientes el cual es un WhatsApp corporativo llamado Kyoto que sirve como canal de comunicación de manera virtual para poder acceder a los productos, asesoría de repuestos, información de cartera, de pedidos, soporte de Ecommerce.

²⁹ <https://www.tienda.komatsu.com.co/>



Figura 40. Tienda virtual de Komatsu Colombia

Fuente. (Komatsu, s.f.)

Además de lo anterior, a partir de la entrada en vigencia de la Resolución 762 de 2022 el catálogo de venta de la maquinaria va a seguir los criterios de mejores estándares de emisión lo cual facilita la compra y recambio de la maquinaria a nivel de Bogotá por parte de los clientes de Komatsu, sin embargo, actualmente en su tienda virtual Komatsu ya está ofertando equipos con tecnología Tier 4 (Figura 41) siendo esta una condición habilitantes importante para que los clientes de Komatsu puedan adquirir desde ya esta maquinaria.

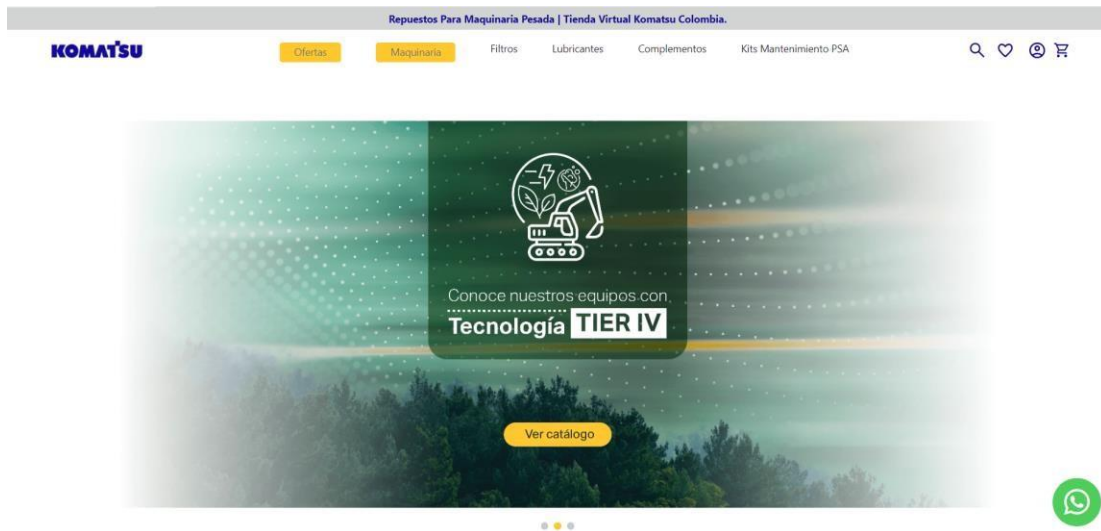


Figura 41. Oferta de maquinaria con tecnología Tier 4 en la Tienda Virtual de Komatsu Colombia

Fuente. (Komatsu, s.f.)

8.2 Oferta: Costos de adquisición/ operativos

El mercado de la MMNC relacionado a su oferta y costos se ve influenciado por una variedad de factores como lo es la diferencia del 20% en costo de inversión o alquiler de maquinaria de menores emisiones a comparación de la maquinaria con tecnología menos avanzada. A su vez, otros factores son el alto costo de los repuestos en MMNC más limpia lo que añade una carga adicional y el precio del alquiler es independiente del año modelo, horas de uso o estándar de emisión.

Por otro lado, existen distintas ventajas en término de menores costos operativos y de combustible asociados a la maquinaria más limpia, buena recuperación de la inversión de MMNC. Adicionalmente, la entrada de marcas chinas en el mercado ha introducido una dinámica de precios con costos del 20% o 30% por debajo de los precios promedio.

- **Barreras identificadas**

La compra de maquinaria pesada es una decisión relevante para los proyectos, pues representan una inversión importante y en el mercado existe una variedad de opciones que varían dependiendo de la capacidad, tecnología, disponibilidad de repuestos, garantías y marca fabricante. En consecuencia, se hace necesaria la evaluación detallada de las necesidades, beneficios y riesgos de la adquisición de una maquinaria pesada.

Al hablar de los estándares de emisiones se observó que el mercado presenta opciones con estándares de emisiones de Tier 2, Tier 3 o Tier 4, cada estándar supera al anterior en un menor impacto medioambiental, de igual forma se esperaría que a medida que mejoran las tecnologías hay una disminución en el consumo de combustible y por tanto, en las emisiones de CO₂ (Pardo F., 2018). Sin embargo, no es fácil ubicar información que presente el consumo de combustible por estándar de emisión. Por tanto, se puede hacer una estimación indirecta a partir de los factores de emisión de CO₂, teniendo en cuenta que estequiométricamente el CO₂ proviene del carbono del combustible fósil.

Al comparar las emisiones de CO₂ entre los estándares de emisión Stage IIIA, Stage IIIB y Stage IV se tuvo como resultado que: “Hay una disminución media del 40% en las emisiones de CO₂ entre las máquinas de las Stage IIIA y Stage IIIB, mientras que la MMNC Stage IV mostraron un aumento medio del 9% en las emisiones de CO₂, en comparación con la MMNC de la Stage IIIB” (Desouza, Marsh, Beevers, Molden, & Green, 2020). El incremento de las emisiones de CO₂ del estándar Stage IIIB a Stage IV puede estar relacionado con un mayor consumo de combustible por operación de sistemas de postratamiento y sensores de la máquina.

Asimismo, en otro estudio consultado se compara las emisiones por contaminante y consumo de combustible para 27 unidades con distintos tipos de estándar de emisión que van de Tier 2, Tier 3 y Tier 4i en donde al comparar el consumo de combustible por cada estándar y teniendo en cuenta la potencia, se encontró que en algunos casos el consumo de combustible era menor para el Tier 2 en comparación con el Tier 3, o Tier 4i (Cao, y otros, 2016).

Por otro lado, dentro de un proyecto de infraestructura vial, la maquinaria pesada tiene un impacto destacable sobre los costos directos del mismo, siendo necesario considerar el transporte, mantenimiento, mano de obra, combustibles, repuestos y consumibles. Un contratista debe considerar cada aspecto de manera directa en el caso de que los equipos sean propios o indirectamente en el caso de ser alquilados; sin embargo, cada proceso en obra que implique el uso de un equipo o maquinaria pesada supone un costo importante, el cual se busca sea inferior al valor agregado que este equipo aporta al rendimiento de los trabajos.

Según algunas investigaciones el peso de la maquinaria pesada en los costos directos de un proyecto de infraestructura vial puede llegar a representar hasta el 25% (Rojas Suarez & Cuervo Galindo, 2020); esta influencia puede variar dependiendo del tipo de proyecto a ejecutar respectivamente como se puede evidenciar en la Tabla 97.

Tabla 97. Incidencia de los componentes en los costos totales en proyectos de construcción

COMPONENTE	PROYECTOS		
	Reforzamiento Estructural (%)	Construcción de cerramiento (%)	Construcción de vía (%)
Maquinaria	9,05	13,74	25,54
Mano de Obra	28,58	25,32	3,32
Materiales	62,37	60,94	60,50
Transporte	0,00	0,00	10,64

Fuente. (Rojas Suarez & Cuervo Galindo, 2020)

Con el fin de determinar la influencia que tiene la maquinaria pesada en un proyecto de infraestructura vial, se planteó un escenario de rehabilitación de 1 kilómetro de vía de doble sentido, con dos carriles y una velocidad de circulación de 40km/h, además de la construcción de andenes. Este escenario es habitual en procesos de rehabilitación vial en la ciudad de Bogotá, por lo cual, este ejercicio sirve de referencia para conocer el impacto que tiene la maquinaria pesada en los proyectos de infraestructura vial urbana. La determinación del costo se realizó mediante el desarrollo de un presupuesto apoyado con la creación de APU's (Análisis de precios unitarios) propios de cada actividad (IDU, 2023). El Anexo 11. Escenario proceso de rehabilitación en la ciudad de Bogotá presenta en detalle la aplicación de esta metodología, cuyos resultados se exponen a continuación y Anexo 12. Presenta los APUs encontrados.

Tras desarrollar el presupuesto antes descrito se identificó que el costo total del proyecto fue aproximado de 1500 millones pesos del cual la mano de obra tuvo un impacto del 6%, el transporte tuvo un impacto del 2%, los materiales se llevan el 77% del presupuesto, finalmente los equipos diferentes a maquinaria pesada representaron el 2% y la maquinaria amarilla el 16% respectivamente (Tabla 98). Sin embargo, este porcentaje puede variar dependiendo de la configuración o tipo de infraestructura a realizar, pero cualquier optimización o reducción en los costos de la maquinaria resultara en la optimización de un presupuesto.

Tabla 98. Comparación de subtotales

SUBTOTAL MAQUINARIA AMARILLA	SUBTOTAL EQUIPOS	SUBTOTAL MATERIALES	SUBTOTAL TRANSPORTE	SUBTOTAL MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
\$ 242.599.872	\$ 16.754.438	\$ 1.196.392.791	\$ 19.335.644	\$ 91.522.475	\$ 1.566.605.223
16%	1%	76%	1%	6%	100%

Fuente. Autores

Las actividades en donde la influencia de la maquinaria era superior fueron las de demolición de estructuras existentes y pavimentos antiguos, así como los procesos de excavación y retiro de tuberías; en este tipo de actividades el uso de maquinaria pesada es determinante para la ejecución de las obras; dentro del coste de las actividades la maquinaria representaba más del 70% del costo directo.

Por otro lado actividades como la aplicación de subrasantes, bases, subbases y pavimentos resultaron ser actividades con una influencia mucho menor, debido a que estas actividades a pesar de que utilizan una variedad de equipos especializados para producir la compactación, la distribución y la definición final del material, el costo que más influye en estas actividades es el relacionado al material, pues este debe contar con especificaciones técnicas descritas por el diseñador y son de obligatorio cumplimiento (IDU, 2023), en estas especificaciones el diseñador asegura que con su acatamiento el producto final contara con la calidad esperada, si por algún motivo no se siguen los lineamientos de estas especificaciones durante la ejecución de los trabajos, esta acción libera de toda responsabilidad al diseñador del proyecto pues se cambiaría el criterio de este y pruebas de laboratorio que certifiquen su calidad, por lo que el costo del material asciende superando al de la maquinaria; en este tipo de actividades la influencia de la maquinaria cae por debajo del 10% dentro del costo de la actividad.

Finalmente existen actividades que por sus características no requieren el uso de maquinaria pesada, pero que aun así, son fundamentales para el desarrollo del proyecto, entre estas destacan la aplicación de geotextiles, ubicación de bordillos, demarcación de la vía o adecuación de andenes.

Para optimizar o reducir el presupuesto, un contratista podría optar por reducir costos de mano de obra. Sin embargo, se encontrará con que debería reducir salarios, contratar personal menos capacitado para pagar menos, pero esto implicaría afectar la calidad del producto terminado, lo cual podría resultar perjudicial para su reputación, seguridad y oportunidad de participar en otros contratos. A pesar de obtener la mayor optimización de este subtotal solo podría afectar el 6% del costo total del proyecto, por lo que no es una opción razonable.

Por otro lado, el transporte puede ser optimizado sin perjudicar el proyecto, al contrario, sería recomendable, contar con una logística tal que permita reducir los costos de transporte. En este ejercicio su impacto en el costo directo del proyecto solo significaría el 1%, puede que en otros proyectos su impacto sea mayor y más representativo, pero en este escenario su optimización no lograría tener un mayor impacto en el presupuesto.

El subtotal de equipos que son todos los elementos necesarios para la ejecución de los trabajos diferentes de la maquinaria pesada. Si un contratista quisiera mejorar estos valores podría comprar maquinaria nueva, que resulte más eficiente los trabajos y que mejores los tiempos, sin embargo, el impacto en el presupuesto solo representaría el 1%, siendo una opción inviable de optimización.

El subtotal de materiales fue el que más peso tuvo dentro del presupuesto, la idea más razonable sería reducir los costos en este subtotal para mejorar las ganancias. Sin embargo, en todo proyecto de ingeniería, desde la fase de diseño tiene unas especificaciones técnicas de los materiales, que deben respetarse durante la etapa de construcción, pues con esto se asegurará la calidad del producto terminado.

Finalmente, el subtotal de maquinaria amarilla es el segundo subtotal con más peso en el proyecto. Si un contratista desea reducir los costos directos de un proyecto, puede tomar esta opción como la más viable pues, pocas veces se exige a un contratista contar con maquinaria específica para la realización de los trabajos, quedando a criterio del contratista, el cual, se sesga a intereses económicos. Cabe destacar que la decisión de compra o alquiler de la maquinaria queda a criterio de la contratista y dependerá si con las actividades a desarrollar logran subsanar el costo de compra de un equipo o por el contrario mediante alquiler es posible la ejecución.

Es así como un contratista podría adquirir maquinaria de segunda mano con estándares inferiores. Según lo identificado en esta investigación, la maquinaria pesada o MMNC con estándares de emisiones inferiores o con una mayor antigüedad u horas de uso son opciones más económicas de adquirir o alquilar, que a pesar de contar con mayores emisiones y consumos de combustibles; en el corto y mediano plazo son opciones más rentables.

En cuanto al costo de la maquinaria nueva en Colombia es importante resaltar que el valor de esta está determinado por dos factores importantes como lo son la potencia o capacidad de la maquinaria, y la reputación y posicionamiento de la marca fabricante y el nivel tecnológico de la misma. Con relación al nivel tecnológico contrario a lo que se esperaría el estándar de emisión no es un criterio que se tenga a consideración para la disminución del valor de la MMNC con mejores estándares, sin embargo, para el caso Colombiano pasa lo contrario en donde el estándar de emisión influye negativamente al aumento el costo de la maquinaria, por esta misma razón, se estima que el costo de inversión para maquinaria con estándar de emisión Tier 4 presenta una diferencia del 20%

o 30% con respecto a tecnologías Tier 2 y Tier 3, lo cual juega como un factor en contra para la compra de este tipo de maquinaria, asimismo, también se debe tener en cuenta otros factores que entran en juego como lo son la disponibilidad y costos de los repuestos de alta calidad, la operación de sistemas sofisticados de control de emisiones y las actualizaciones requeridas en los procesos de mantenimiento de la MMNC.

Adicionalmente, relacionado al costo de la maquinaria usada en Colombia, este valor está determinado por la potencia o capacidad de la maquinaria, así como también de sus características operativas, también su valor se encuentra determinado por la cantidad de horas que el equipo haya estado en servicio, la confiabilidad propia y reputación de la marca fabricante y año de fabricación de la MMNC. De igual forma, en los portales de ventas de maquinaria se es posible observar el desgaste de la maquinaria, en donde se encontraron casos en donde la maquinaria podía llegar a tener hasta 20.000 horas de uso, siendo que para la venta se sigue ofertando maquinaria sin estándares de emisiones.

De igual forma, es importante tener en cuenta que el costo de alquiler de la maquinaria principalmente está determinado por la potencia o capacidad de la maquinaria, por lo que factores como el fabricante, horas de uso anteriores o año de fabricación y estándar de emisión no influyen en el costo de alquiler, debido a que estos factores no se tienen en cuenta en la negociación, esto puede evidenciarse en la Figura 15 en donde el costo de alquiler tiene una tendencia lineal determinada únicamente por la capacidad o potencia de la maquinaria que se alquila. Esta situación desincentiva la actualización tecnológica, ya que al mantener tarifas de alquiler uniformes no hay razón para optar por modelos más recientes y avanzados.

En cuanto a los costos del subtotal de maquinaria, en promedio, un 40% corresponde al combustible, del 25 al 30% al mantenimiento, y el restante 30 a 35% al operador y costos administrativos como pólizas, impuestos, seguros, etc. Esta información fue proveída por el coordinador de equipos de Conconcreto, una firma colombiana de desarrollo de proyectos de infraestructura, edificaciones, vivienda e inversión.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

Relacionado a los costos de operación los cuales no son fáciles de determinar ya que dependen de la tipología y estado de la maquinaria los cuales son datos que no se encuentran abiertos al público por parte de las distribuidoras y operarios de la maquinaria. Sin embargo, es importante resaltar el caso de Komatsu Colombia en donde se manifiesta que “La compra de maquinaria Tier 4 cuesta un 25-30% más con respecto a la tecnología actual, pero a pesar de la diferencia en el costo inicial de inversión, también se tiene una reducción en el costo de operación ya que hay un rediseño de la estructura con una diferencia del 30% aproximadamente, por lo que el punto de equilibrio se logra al tercer año teniendo de esta forma los beneficios y mejora en la rentabilidad en la inversión”.

Por otro lado, otra condición habilitante relacionada a la adopción de maquinaria con mejores tecnologías estas ofrecen beneficios económicos significativos debido a que cuentan con sistemas más eficientes de consumo de combustible y requerimientos reducidos de mantenimiento, lo cual se traduce en ahorros operativos a largo plazo para los propietarios de la MMNC. Asimismo, la maquinaria con mejor tecnología tiende a experimentar un desgaste menor y requerir menos reparaciones a lo largo de su vida útil, lo que lleva a menores gastos de reparación y una mayor disponibilidad operativa.

La entrada de marcas chinas al mercado ofrece una oportunidad para reducir los costos de inversión en maquinaria moderna, ya que estas marcas están fabricando equipos que cumplen con los estándares Tier 4 a un costo significativamente menor, lo que podría compensar el incremento en el costo de inversión inicial. Esto abre la puerta a opciones más asequibles para los clientes, permitiéndoles acceder a tecnología moderna a un precio más competitivo. Además, la variedad de opciones disponibles en el mercado, incluyendo marcas chinas y fabricantes tradicionales, brinda una mayor flexibilidad en la elección de equipos, de igual forma, esta diversidad permite seleccionar la maquinaria que mejor se adapte a sus necesidades operativas y presupuestarias, optimizando así sus inversiones y costos operativos a largo plazo.

8.3 Incentivos económicos

La adquisición de MMNC es en parte influenciada por los incentivos económicos los cuales juegan un rol importante en las decisiones de compra y en la dinámica del mercado. Sin embargo, en el contexto Colombiano se cuentan con bajos incentivos económicos para la adquisición de MMNC más limpia lo cual dificulta la transición a maquinaria con mejores tecnologías. Por otro lado, actualmente se han aplicado diversos métodos para poder reducir el costo de la maquinaria, esto a partir de la entrega de maquinaria en Zonas Francas con exenciones tributarias, exclusión del IVA para equipos, maquinaria en pro del medio ambiente, importación temporal con la posibilidad de diferir el IVA e importación exenta de IVA en zonas especiales como San Andrés, beneficios por inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía y la posibilidad de acceder a beneficios tributarios en proyectos que contribuyan al desarrollo sostenible.

- **Barrera identificada**

Actualmente en Colombia se presentan dos tipos de incentivos aplicados a maquinaria pesada para las industrias básicas (minería, hidrocarburos, química pesada, siderurgia, metalurgia extractiva, generación y transmisión de energía eléctrica y, obtención, purificación y conducción de óxido de hidrógeno), en donde no se tiene en cuenta la maquinaria relacionada a los procesos de construcción.

La adquisición de la MMNC para el sector de construcción se hace considerando un IVA del 19% para la maquinaria y un IVA del 5% para los minicargadores los cuales son considerados maquinarias agrícolas. Se han presentado casos en el cambio del IVA a porcentajes del 16% o 8% debido a condiciones especiales de algunos proyectos en

Colombia, como lo es el caso de la construcción de la Vía al Llano en donde las constructoras se beneficiaron con una reducción del IVA del 16% o 8% debido a que esta obra se encuentra bajo el programa de “Obras por Impuestos” las cuales buscan el desarrollo de proyectos de infraestructura en todas las regiones del país y que busca beneficiar a los municipios identificados como Zonas Más Afectadas por el Conflicto Armado - ZOMAC, en temas como: Infraestructura vial, educación Pública, salud pública, agua potable o alcantarillado y energía. Por lo que las empresas podrán pagar hasta el 50% de su impuesto de renta mediante la destinación de dicho valor a la inversión directa en obras y proyectos de desarrollo viabilizados y prioritarios de trascendencia social en los diferentes municipios ubicados en las ZOMAC (EITI, 2017).

Sin embargo, a pesar de lo mencionado anteriormente la forma de adquisición de la maquinaria se puede hacer a partir de los métodos tradicionales que son las distintas líneas de financiación de las empresas a partir de los convenios que tengan con los bancos, con financiación hasta del 100% en periodo de gracia hasta un año y tasas preferenciales. En cuanto a la financiación también puede darse por lineamientos internos en la compañía o financiación de forma directa con las casas matrices como lo es SANY. Este esquema de financiamiento con créditos podría tener un alto impacto en tiempos mayores de la recuperación de la inversión por la incidencia de las tasas de interés en los costos de adquisición.

Finalmente, a partir de lo presentado en las distintas mesas de trabajo, muchos de los clientes al momento de adquirir la maquinaria para el sector de construcción a pesar de la falta de incentivos, líneas de financiación con bancos y cambio del dólar adquieren la maquinaria a fin de asegurar un respaldo y proporcionalidad tranquilidad a los clientes al momento de utilizar este tipo de maquinarias en las obras debido a la eficiencia de la MMNC, entre otras características, por lo que esto significa que la maquinaria va a tener muy pocas fallas y mantenimientos no tan constantes.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

La Zona Franca son áreas geográficas delimitadas del territorio nacional, cuyo objeto es promover y desarrollar el proceso de industrialización de bienes y la prestación de servicios destinados primordialmente a los mercados externos (Legiscomex, 2023). Por lo tanto, son un incentivo a las exportaciones que permite desarrollar actividades industriales, comerciales y de servicios, bajo una normatividad especial, en materia cambiaria, tributaria, aduanera y de comercio exterior (Procolombia, 2019). Existen 4 tipos de zonas francas en Colombia:

Tabla 99. Tipos de zonas francas

Zona franca	Característica
Zonas francas industriales de bienes y servicios y comerciales.	Promover y desarrollar el proceso de industrialización, la prestación de servicios destinados primordialmente a los mercados externos y la comercialización.

Zona franca	Característica
Zonas francas industriales de servicios tecnológicos	Promover y desarrollar empresas de base tecnológica (aquellas cuyos productos sean de investigación científica y desarrollo tecnológico, de nuevos productos y procesos de creación, generación y apropiación tecnológica orientados a la exportación y subsidiariamente hacia el mercado nacional).
Zonas francas industriales de turísticos:	Prestación de servicios de alojamiento, agencias de viajes, restaurantes, organización de congresos, servicios de transporte, actividades deportivas, artísticas, culturales y recreacionales.
Zonas francas transitorias	Promover las ferias internacionales, exposiciones, congresos y seminarios de carácter internacional que revistan importancia para la economía y el comercio internacional.

Fuente. (Legiscomex, 2023)

Las ventajas de las zonas francas y los beneficios legales del régimen franco que aplican en Colombia son (MINCIT, s.f.):

- Tarifa única del impuesto sobre la renta del 20%. (Consultar Artículo 240-1 de la Ley 2277 de 2022 Reforma tributaria)³⁰

Es de mencionar que solo podrán aplicar a esta tarifa “los usuarios industriales de zona franca que, en el año 2023 o 2024, acuerden su plan de internacionalización anual de ventas, en el cual se establezcan objetivos máximos de ingresos netos por operaciones de cualquier naturaleza en el territorio aduanero nacional y los demás ingresos que obtenga el usuario industrial diferentes al desarrollo de su actividad para la cual fue autorizado, reconocido o calificado, durante el año gravable

³⁰ Artículo 240-1 Tarifa para usuarios de zona franca: “A la renta líquida gravable multiplicada por el resultado de dividir los ingresos provenientes de la exportación de bienes y servicios por la totalidad de los ingresos fiscales, excluyendo las ganancias ocasionales, le será aplicable una tarifa del veinte por ciento (20%) del Impuesto sobre la renta.”

correspondiente. Para tal fin deberán suscribir el acuerdo con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo para cada uno de los años gravables.” Parágrafo 6 Ley 2277 de 2022. (Congreso de la República, 2022)

- No se causan ni pagan tributos aduaneros (IVA y arancel) en las mercancías que se introduzcan a la Zona Franca.

Lo anterior, teniendo en cuenta que “Las mercancías ingresadas a zonas francas se consideran fuera del territorio aduanero nacional (TAN) para efectos de los impuestos a las importaciones. La introducción de bienes del exterior a zona franca no se considera importación” (DIAN, 2016) y se aplica el beneficio mientras los bienes permanezcan dentro de la zona franca

- Posibilidad de exportación desde Zona Franca a terceros países y al mercado nacional.

Es por esto, que para las ventas de mercancía al territorio aduanero nacional se pagarán los tributos aduaneros solo sobre el componente extranjero. Existe la posibilidad de realizar procesamientos parciales por fuera de la zona franca hasta por 9 meses y las exportaciones que se realicen desde zona franca a terceros países son susceptibles de beneficiarse de los acuerdos comerciales internacionales celebrados por Colombia (DIAN, 2016).

- Las mercancías de origen extranjero introducidas a la zona franca podrán permanecer en ellas indefinidamente.

Lo anterior se sustenta en que, “no es necesario el desaduanamiento del bien hasta que sea destinado al mercado interno, es decir, que el bien o materia prima pueden estar en una zona franca hasta que sean requeridos por el mercado nacional; ya que no hay límite de tiempo para el almacenamiento de mercancías de procedencia extranjera y se permiten desaduanamientos parciales.” (DIAN, 2016)

- Exención del IVA para las materias primas, partes, insumos y bienes terminados que se vendan desde el territorio aduanero nacional a usuarios industriales de bienes o de servicios de Zona Franca o entre estos. (Artículo 481 literal E del Estatuto Tributario)

Cabe aclarar, que para este punto la exención de IVA no se estableció de manera general para todas las actividades y bienes, sino que determinó requisitos y condiciones para su procedencia, pues de lo contrario hubiera calificado como exenta la venta de todos los bienes a los usuarios industriales de bienes y de servicios, además, debe tenerse presente que la norma condiciona la calidad de

exentos del IVA al hecho de que tales bienes sean necesarios en el desarrollo del objeto social³¹. (DIAN, 2022).

Del mismo modo, la DIAN aclara por medio del Oficio Número 358 (902353) de 2022, que, para el caso de las actividades de construcción de un usuario industrial de una Zona Franca Permanente Especial, el beneficio de exención de IVA aplica únicamente “cuando los materiales de construcción que se introduzcan a un Usuario Industrial de una Zona Franca Permanente Especial son para realizar las actividades de construcción y transformación de la infraestructura física de la zona franca que hacen parte de su objeto social previsto en el artículo 3 de la Ley 1004 de 2005”. (DIAN, 2022)

Por otro lado, es de mencionar que para el caso de una venta realizada desde una zona franca a un comprador ubicado fuera de la misma “Las operaciones de salida de mercancías con destino al resto del mundo se denominan "reexpedición" y respecto al IVA, en la práctica se factura como en una operación de exportación (es decir, con IVA a una tarifa del 0%, pero no da derecho a devolución) ni tampoco se puede asegurar que sea una exención de IVA, teniendo en cuenta que el comprador realiza el proceso de adquirir el bien como importador. (Santos K, 2020)

Por lo tanto, considerando los beneficios relacionados a los pagos de los tributos aduaneros y teniendo en cuenta visitas en campo desarrolladas en términos de la consultoría, se evidenció que varias compañías al momento de hacer entrega de la maquinaria y a fin de evitar el IVA para reducir el costo final de la maquinaria realizar el proceso de compra a través de zonas francas.

Actualmente, algunos de los proveedores y clientes acuden a otro método para la no causación del IVA. En este caso, se procede a realizar una importación temporal de la MMNC teniendo en cuenta que en el Estatuto Tributario relacionado a las importaciones temporales se menciona que las importaciones de maquinaria pesada son posible si esta no es producida en el país (Actualícese, 2017).

El Literal e Art. 428 del Estatuto Tributario establece que: *“La importación temporal de maquinaria pesada para industrias básicas, siempre y cuando dicha maquinaria no se produzca en el país. Se consideran industrias básicas las de minería, hidrocarburos, química pesada, siderurgia, metalurgia extractiva, generación y transmisión de energía eléctrica y obtención, purificación y conducción de óxido de hidrógeno. El concepto de maquinaria pesada incluye todos los elementos complementarios o accesorios del equipo principal.”*

³¹ Es decir, que sin él no es posible obtener el bien o prestar el servicio, según la actividad desarrollada en cada caso por el usuario industrial dentro de la zona acorde con lo señalado en la ley; descartándose así bienes distintos a los indispensables para la producción de los bienes, o prestación de servicios, en la zona franca según la actividad desarrollada.

Por lo tanto, lo presentado frente a la normativa hace posible que la maquinaria pesada sea importada sin causación del IVA ya que por tratarse de una mercancía importada bajo un régimen que implica la disponibilidad restringida del activo, no cabe la posibilidad de enajenarla a otro comprador dentro del territorio aduanero nacional, pues dicha enajenación implicaría una vulneración del régimen de importación temporal (Ruiz. J, 2010), sin embargo, es de aclarar que la importación temporal tiene un lapso de 6 meses prorrogables para otros 6 meses.

Para las importaciones temporales de largo plazo, el IVA susceptible de ser solicitado como descuento es el pagado efectivamente por el contribuyente al momento de la nacionalización o cambio de modalidad de importación en el período o año gravable correspondiente.

Por otro lado, otro “método” considerado para la reducción del costo de la MMNC está relacionado con diferir el IVA a 5 años, por lo que Bajo la revisión del Estatuto Tributario con el fin de realizar la sustentación sobre diferir el IVA a 5 años bajo tasas de (19%, 16% o 8%), no se encontró información de respaldo que afirme este argumento en temas relacionados con la maquinaria pesada ni tampoco en las condiciones dadas para las obras por impuestos.

Sin embargo, el Artículo 258-2 del Estatuto Tributario Impuesto sobre las ventas en la importación de maquinaria pesada para industrias básicas del Estatuto tributario menciona que, cuando la maquinaria importada tiene un valor CIF superior a quinientos mil dólares (US\$500.000.00), el impuesto sobre las ventas (IVA) puede abonarse en un 40% al realizar la declaración de importación, y el saldo se divide en dos cuotas iguales a pagarse en los dos años subsiguientes.

El importador debe suscribir un acuerdo de pago ante la Administración de Impuestos y Aduanas respectiva en los plazos establecidos por el Gobierno Nacional. El valor del IVA pagado puede descontarse del impuesto sobre la renta del contribuyente en el período gravable en que se realizó el pago y en los siguientes.

Por otro lado, es el artículo 800-1 del Estatuto Tributario, que establece que la realización de obras por Impuestos es una forma de extinguir la obligación tributaria, siendo posible que los contribuyentes puedan realizar obras en favor de las comunidades taxativamente señaladas para satisfacer el cumplimiento de sus cargas fiscales en lo referente al pago del Impuesto Sobre la Renta y Complementarios. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, para celebrar convenios con las entidades públicas a cambio de títulos negociables para el pago de impuestos sobre la renta, se muestran algunas condiciones como:

- “Los compromisos de inversión adquiridos en estos convenios no podrán superar el treinta por ciento (30%) del patrimonio contable del contribuyente, para lo cual se tendrá en cuenta el patrimonio del año inmediatamente anterior a la suscripción de estos.” Artículo 800-1 del Estatuto Tributario.

El mismo artículo menciona que estos convenios se realizan bajo la ejecución de proyectos de trascendencia económica y social en los diferentes municipios definidos como las Zonas Más Afectadas por el Conflicto Armado (ZOMAC y en los municipios con Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET). En el literal H menciona que los convenios celebrados de acuerdo con esta disposición seguirán el tratamiento tributario y contable correspondiente a su naturaleza y las normas aplicables. Estos convenios se considerarán parte de la actividad generadora de ingresos del contribuyente, sin necesidad de ampliar su objeto social. Además, no estarán sujetos a retención ni autorretención en la fuente del impuesto sobre la renta. Sin embargo, el literal H menciona que las obras por impuestos no tendrán derecho a los beneficios que se consignan en el artículo 258-1 del ET³²

De este modo, “el mecanismo de obras por impuestos es una forma de extinguir la obligación tributaria según la conveniencia del contribuyente, la adopción de este método de pago puede ser positivo para quienes lo acojan pues el contribuyente ejecuta directamente su impuesto y sabe en qué se invirtió, complementa la inversión que realizan las empresas por responsabilidad social, genera confianza y fortalece las relaciones con las comunidades.” (Caballero, s.f.).

En este contexto, es crucial señalar que este mecanismo impacta directamente en la ejecución de la obra en donde, se promueve que el sector privado pague hasta el 50 % del impuesto de renta, pero no tiene efectos sobre la maquinaria utilizada para dicho propósito. En consecuencia, los beneficios tributarios derivados de las obras por impuestos no se aplican a la maquinaria; al contrario, este método de pago no posibilita deducciones en la renta por el IVA pagado en la importación, formación o adquisición de activos fijos reales productivos. Asimismo, no permite la aplicación de ningún otro beneficio contemplado en el Estatuto Tributario. Por lo tanto, se infiere que el contratista debe cumplir con las obligaciones aduaneras relacionadas con la maquinaria empleada en sus procesos de adquisición.

Uno de los casos mencionados en los que se presentó la exclusión del IVA para maquinaria pesada fue en el Relleno Sanitario Doña Juana para la maquinaria como tractor sobre oruga y maquina compactadora de basuras a utilizar en la ejecución del contrato con fundamentos en los artículos 4 y 5 de la Ley 223 de 1995.

De acuerdo con los artículos 424 y 428-5 del Estatuto Tributario, para que proceda el beneficio de la exención del IVA se debe importar maquinaria o equipo que no se produzca en el país, destinados a la recuperación o saneamiento básico del medio

³² Los responsables del impuesto sobre las ventas (IVA) tienen la posibilidad de descontar del impuesto sobre la renta, correspondiente al año en que se realiza el pago o en periodos gravables subsiguientes, el IVA pagado por la adquisición, construcción, formación e importación de activos fijos reales productivos, incluyendo los servicios necesarios para ponerlos en condiciones de uso. Para activos formados o construidos, el descuento se aplica en el año en que se activan y comienzan a depreciarse o amortizarse, o en periodos gravables futuros. Este beneficio también se extiende a activos adquiridos, construidos o importados a través de contratos de arrendamiento financiero o leasing con opción irrevocable de compra, aplicándose el descuento en cabeza del arrendatario.

ambiente, aprobado y certificado por un programa del Ministerio de Medio Ambiente. Que, para obtener el beneficio, el importador debe solicitar al Ministerio la certificación de que los bienes importados cumplen el requisito previsto en la norma

El literal f) del artículo 428 del Estatuto Tributario dispone:

“ARTICULO 428. IMPORTACIONES QUE NO CAUSAN IMPUESTO. Las siguientes importaciones no causan el impuesto sobre las ventas:

f. La importación de maquinaria o equipo, siempre y cuando dicha maquinaria o equipo no se produzcan en el país, destinados a reciclar y procesar basuras o desperdicios (la maquinaria comprende lavado, separado, reciclado y extrusión), y los destinados a la depuración o tratamiento de aguas residuales, emisiones atmosféricas o residuos sólidos, para recuperación de los ríos o el saneamiento básico para lograr el mejoramiento del medio ambiente, siempre y cuando hagan parte de un programa que se apruebe por el Ministerio del Medio Ambiente. Cuando se trate de contratos ya celebrados, esta exención deberá reflejarse en un menor valor del contrato. Así mismo, los equipos para el control y monitoreo ambiental, incluidos aquellos para cumplir con los compromisos del protocolo de Montreal.”

La disposición transcrita consagró la exclusión del Impuesto sobre las Ventas para la importación de la maquinaria o equipo destinada para: - El reciclaje y procesamiento de basuras o desperdicio; - La depuración o tratamiento de aguas residuales; - Las emisiones atmosféricas o residuos sólidos y, - La recuperación de los ríos o el saneamiento básico para lograr el mejoramiento del medio ambiente

De otra parte, el artículo 424-5, numeral 4º, del mismo estatuto, señala que la importación de los equipos y elementos utilizados en la instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo ambiental está, igualmente, excluida del impuesto sobre las ventas. Al efecto dispone:

“ARTICULO 424-5. BIENES EXCLUIDOS DEL IMPUESTO. Quedan excluidos del impuesto sobre las ventas los siguientes bienes:

Los equipos y elementos nacionales o importados que se destinen a la construcción, instalación, montaje y operación de sistemas de control y monitoreo, necesarios para el cumplimiento de las disposiciones, regulaciones y estándares ambientales vigentes, para lo cual deberá acreditarse tal condición ante el Ministerio del Medio Ambiente.

Adicionalmente a lo anterior, es de tener en cuenta que a pesar de los desafíos previamente mencionados con relación a los incentivos económicos para la adquisición de MMNC más limpia, existen ciertas oportunidades que podrían permitir el acceso a beneficios tributarios, especialmente en contextos específicos y bajo ciertas condiciones. Una de estas posibilidades radica en la destinación de la maquinaria pesada para proyectos específicos que contribuyan a la mitigación del impacto ambiental o que estén ubicados en regiones particulares.

Por ejemplo, en obras destinadas a la mitigación del impacto ambiental, como rellenos sanitarios, las autoridades gubernamentales podrían considerar otorgar beneficios tributarios como una forma de incentivar el uso de maquinaria más limpia y eficiente. Del mismo modo, lo mismo pasaría en ciertas zonas del país, como San Andrés.

Además, otra posibilidad es vincular los beneficios tributarios a MMNC que sea usada en proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Esto podría aplicarse en el contexto de la construcción sostenible, donde el objetivo principal es minimizar el impacto negativo de la construcción en el medio ambiente y promover acciones para combatir el cambio climático.

Finalmente, también se cuentan con beneficios por inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía, esto a partir de la Resolución 319 de 2022 de la UPME en donde se contemplan incentivos de deducción de renta, exclusión del IVA, exención de derechos arancelarios y depreciación acelerada para proyectos de generación de energía eléctrica a partir de FNCE, acciones o medidas de gestión eficiente de la energía (GEE) y proyectos de hidrógeno verde o azul, donde eventualmente podría participar el sector de MMNC.

8.4 Modelo de negocio

La estrategia de modelo de negocio asociada a la compra de maquinaria considera tanto barreras como condiciones habilitantes, en este caso la barrera que afecta el modelo de negocio es el presupuesto limitado en entidades distritales para la compra de maquinaria como consecuencia de la burocracia y monto disponible para poder llevar a cabo esta acción de compra. Por otro lado, en cuanto a las condiciones habilitantes que se le atribuyen al modelo de negocio están las retomas de maquinaria usada por los distribuidores y también el financiamiento por parte de los distribuidores o por las líneas de crédito con los bancos.

- **Barrera identificada**

El no contar con planes de disposición de piezas de una maquinaria que ha finalizado su vida útil, da parte para que estas piezas sean utilizadas como repuestos de otras máquinas aun en funcionamiento. Esto se puede comprobar en plataformas como Superbid.com, la cual sirve como una plataforma para la realización de subastas industriales, entre esta maquinaria pesada en desuso, siniestradas, en estado de abandono o en condiciones tales que no es posible su venta en otras plataformas como tu maquinaria.com, mercado libre o por medio de empresas, pues no aseguran su funcionamiento o estado de las piezas. Este tipo de acciones aumenta los tiempos de operación de maquinarias antiguas al disponer de repuestos de segunda, con una disponibilidad inmediata, y a una fracción del precio de piezas nuevas; evitando generar en los dueños de estas máquinas una necesidad de actualización de sus equipos por estándares superiores.

Las condiciones del mercado en Colombia permiten la compra y venta de maquinaria pesada usada, entre privados sin intervención de organismos de control; en estas negociaciones, la validación del estado de la maquinaria puede estar determinada por el certificado de correcto funcionamiento, el cual resulta ser un documento que avala la operatividad de los equipos en el momento de la negociación, pero no determina el desgaste de piezas vitales o calcula cuanto le falta al equipo para finalizar su vida útil, además es de resaltar que el certificado de correcto funcionamiento no está regulado, por lo cual no hay parámetros ni lineamientos estandarizados que indiquen un buen estado de mantenimiento de la maquinaria.

Las investigaciones hechas demuestran que el concepto de vida útil de un equipo está determinado por el criterio del comprador y vendedor respectivamente; es decir, mientras que para un vendedor un equipo bajo su propiedad ha alcanzado su vida útil, ya que se ha obtenido los beneficios esperados y su depreciación y costos de mantenimiento lo convierten en un equipo que empezará a generar gastos; ese mismo equipo para un posible comprador es una oportunidad de inversión a la cual puede obtener beneficios económicos.

Un ejemplo de lo anterior se puede identificar en una empresa que su actividad económica se centra en alquilar equipos para actividades de ingeniería, como SK Rental; su plan de negocio será mantener una flota joven, que cumpla con los requisitos mínimos de emisiones y tecnología, que se adapte fácilmente a los combustibles del país, que pueda ser usada en cualquier condición y que sea económica en su adquisición. Todo esto con el fin de asegurar que pueda ser utilizada en cualquier escenario de ingeniería, que su costo de adquisición sea bajo y que sea económica en sus mantenimientos preventivos, además que sea un equipo que no requiera mucha supervisión pues otros factores como los estándares de emisión, tecnología o sistemas para un mayor rendimiento en el combustible generan que los sistemas sean más sensibles a condiciones de ambiente, combustibles u horas de operación, lo que se traduce en que deben estar supervisados o en un ambiente propicio para asegurar que no sufran daños por ejemplo por suministrar un combustible con alto contenido de azufre, o que las condiciones del ambiente sean tal que afecten sensores y bloqueen la máquina (Fullen Peru, 2023).

Este funcionamiento del mercado dificulta la entrada de equipos con niveles de tecnología y emisiones superiores, pues los principales compradores son empresas con modelos de negocio que busca maquinaria con un bajo costo de adquisición y con la capacidad de ser usada en cualquier tipo de actividad, terreno o condición, que no se vea afectada por los combustibles que se le suministra y que sus mantenimientos sean sencillos y con repuestos homologables. Todo esto porque con su modelo de negocio se asegura una rápida recuperación de la inversión al no tener que preocuparse por rendimientos de combustible, estándares de emisiones o tecnologías pues sus clientes buscan otro tipo de factores como la capacidad y disponibilidad. Finalmente, al reconocer un aumento de los costos de operación y mantenimiento, los regresan al mercado y los ofertan por una

fracción de su costo de adquisición con el fin de obtener beneficios económicos, aumentando la oferta de maquinaria usada con capacidades de operación inferiores a modelos nuevos, pero con precios rebajados por la depreciación y el uso previo.

Parte de las barreras que condicionan el recambio de la maquinaria antigua a una con mejor tecnología radica en que para poder llevar a cabo esta renovación las entidades distritales dependen de factores económicos y “burocráticos” en donde se es necesario para el proceso de renovación el concepto de la Secretaría Distrital de Hacienda teniendo en cuenta el presupuesto que se dispone para dicho cambio. Un ejemplo de lo anterior es el caso de la UMV, en donde a partir de la mesa de trabajo llevada a cabo con esta entidad se indicó que el proceso de compra y renovación de la maquinaria depende de la Secretaría de Hacienda y del presupuesto (que es reducido) de la UMV por lo que la adquisición de MMNC con mejor tecnología se dificulta y a su vez el retiro de la maquinaria del parque vehicular así ya superara su vida útil se complica.

Adicionalmente, teniendo en cuenta el bajo presupuesto y la dificultad de llevar a cabo el recambio de la MMNC, para el caso específico y mencionado en la mesa de trabajo por parte de la UMV resulta ser más beneficioso el hecho de tercerizar la actividad de manejo de la maquinaria, ya que también se evitan costos de operador, seguros, combustibles y mantenimientos.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

La disponibilidad de diversas marcas y distribuidores de MMNC ha generado un entorno propicio para el acceso a líneas de financiamiento directo tanto con las compañías fabricantes como con entidades bancarias, lo que facilita la compra y actualización de maquinaria de construcción. Esta diversidad de opciones financieras ofrece flexibilidad a los clientes al momento de adquirir nuevos equipos o realizar mejoras en su parque de maquinaria.

Además, la mayoría de los distribuidores cuentan con programas de "retoma" o recepción de maquinaria usada como parte de pago para la adquisición de nuevos equipos. Este enfoque permite a los clientes maximizar el valor de sus activos existentes al utilizarlos como parte del pago para la compra de maquinaria más moderna y eficiente. Esta práctica no solo facilita la transición hacia equipos más avanzados, sino que también ayuda a gestionar de manera efectiva el inventario de maquinaria usada por parte de los distribuidores.

Sin embargo, a pesar de estas opciones de financiamiento, la posibilidad de acceder a créditos bancarios puede estar condicionada por las tasas de interés vigentes en el mercado. Las fluctuaciones en las tasas de interés pueden tener un impacto significativo en los costos financieros asociados con la adquisición de maquinaria, lo que a su vez puede afectar la viabilidad financiera del proyecto y la recuperación de la inversión a largo plazo.

Por lo tanto, si bien la amplia oferta de marcas y distribuidores de MMNC brinda diversas opciones de financiamiento, es importante que los clientes evalúen cuidadosamente las condiciones de los créditos bancarios y las tasas de interés aplicables para garantizar una toma de decisiones informada y rentable. La gestión adecuada de estas variables financieras puede jugar un papel clave en la optimización de la inversión en maquinaria de construcción y en la maximización de los retornos a lo largo del tiempo.

9. COMPONENTE NORMATIVO

Se analizaron las barreras o limitaciones, así como las condiciones habilitantes para el ascenso tecnológico de la MMNC en el Distrito desde el componente normativo. Por lo tanto, este capítulo presenta un análisis detallado de las barreras y condiciones habilitantes identificadas. Lo anterior fue posible a partir de la información de actores relacionados con la gestión de la MMNC, la información obtenida en mesas de trabajo, visitas de campo y solicitudes realizadas a diversas entidades, así como el acercamiento a los gremios de la construcción.

Como barreras técnicas y condiciones habilitantes para el ascenso de la MMNC, se identificaron los siguientes temas: Procedimientos y trámites nuevos, lineamientos de contratación, políticas públicas ambientales y reglamentación y acciones sectoriales.

9.1 Procedimientos y trámites nuevos

La implementación de nuevos procedimientos y trámites se ha convertido en un desafío relevante para los actores involucrados en el sector. Este análisis se centra en la adaptación a los cambios normativos y en la gestión de nuevos requisitos, considerando diversas áreas de preocupación.

En primer lugar, la socialización de la normatividad emerge como un componente esencial en la implementación exitosa de procedimientos y trámites nuevos, junto con los insuficientes planes de acción preparativos relacionados a la entrada en vigor de la Resolución 762 de 2022. De igual forma, otro factor que puede generar ambigüedad en cuanto a los estándares de mantenimiento requeridos parte de la ausencia de reglamentación técnica que define el estado de mantenimiento de la MMNC.

Por otro lado, las condiciones habilitantes relacionado a procedimientos y trámites nuevos se basan en factores como la disponibilidad de documentación y capacitaciones por parte del sector público en los nuevos trámites requeridos para la importación de maquinaria de nuevos estándares de emisión a partir del CEPD, junto con las jornadas de socialización de la normatividad y trámites por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Disponible y la ANLA.

- **Barreras identificadas**

La socialización de los procedimientos y trámites nuevos relacionados a la gestión de la MMNC convierte en una barrera significativa cuando la información no llega de manera efectiva a todos los actores involucrados en el proceso. Esta falta de difusión puede generar una serie de desafíos, especialmente cuando se trata de agentes de aduana e importadores independientes, quienes pueden tener dificultades para acceder y entender la información relevante, esto debido a la falta de familiaridad con los requisitos específicos y los pasos a seguir que puede conducir a errores en el proceso de importación

de maquinaria de construcción, resultando en retrasos, costos adicionales y posibles sanciones.

Además, la falta de mecanismos efectivos de comunicación puede dificultar aún más la distribución de la información a estos actores. Mientras que las grandes empresas y distribuidores pueden tener canales establecidos para recibir actualizaciones y orientación sobre los nuevos procedimientos, otros actores pueden carecer de acceso a estas fuentes de información, lo que los deja en desventaja y aumenta el riesgo de no cumplir con las regulaciones adecuadamente.

Otro punto para considerar es el factor dinámico al que están sujetos los requisitos normativos, lo que puede dificultar el seguimiento y la actualización constante por parte de los agentes de aduana e importadores independientes. La falta de claridad sobre dónde encontrar la información actualizada y cómo interpretarla adecuadamente puede crear confusión y aumentar la probabilidad de errores.

Por otro lado, la Resolución 762 de 2022 como se ha mencionado regula los estándares de emisión con los cuales la MMNC va a ingresar al país desde agosto del año 2024, sin embargo, al momento de preguntar sobre el conocimiento de la resolución y planes de acción a ejecutar cuando entre en vigor la normativa, varios de los distribuidores de MMNC consultados no tenían conocimiento de esta regulación y de los retos técnicos y económicos asociados a su implementación, a pesar de los ejercicios de socialización que ha realizado la autoridad ambiental y la etapa de consulta pública en la formulación del proyecto normativo.

Se resalta que muy pocos son los casos de los actores consultados del grupo de muestra que cuentan con un plan de acción lo cual permite que tengan previsto la venta en stock de la maquinaria de estándares de emisión de Tier 1, Tier 2 y Tier 3 para la primera parte del año 2024 y la renovación del parque vehicular con mejor tecnología para su venta en el segundo semestre del 2024, lo cual dificulta por parte de los actores relacionados a la distribución de la MMNC el recambio e importación de MMNC con mejor tecnología.

Sobresale por su gestión, la empresa Komatsu Colombia, quienes no sólo han organizado espacios de discusión³³ sobre el impacto tecnológico y económicos de una tecnología más moderna, sino que tienen pensado traer máquinas Tier 4 en prueba durante el primer semestre de 2024.

Finalmente, otra barrera relacionada a los procedimientos está relacionada a la ausencia de reglamentación técnica que defina el estado de mantenimiento de MMNC representa un desafío. A diferencia de los vehículos de carretera que están sujetos a inspecciones técnicas periódicas para garantizar su estado óptimo de funcionamiento, la maquinaria de

³³ Como ejemplo está el foro "Caminando hacia un Futuro Sostenible: Tecnología Tier IV" organizado por Komatsu Colombia y disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=_aA-Lilyzp0

construcción carece de una normativa similar que estandarice los procedimientos de inspección y diagnóstico.

Esta carencia de regulación técnica crea incertidumbre en cuanto a los estándares de mantenimiento requeridos para la MMNC. La falta de lineamientos claros puede llevar a discrepancias en la interpretación de los requisitos de mantenimiento entre los diferentes actores de la industria, lo que a su vez puede resultar en prácticas de mantenimiento inconsistentes o insuficientes.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

De acuerdo con la Resolución 762 de 2022 la MMNC que ingrese al país desde la entrada en vigencia debe contar con el “Certificado de Emisiones en Prueba Dinámica” (CEPD) el cual debe ser presentado ante la ANLA, junto con el reporte técnico de la prueba o ensayo de emisiones y otros documentos, por lo tanto, teniendo en cuenta la importancia de dicho certificado actualmente se cuentan con documentos guías como: “Guía para la solicitud de aprobación y evaluación de los Certificados de Emisiones por Prueba Dinámica y Visto Bueno por Protocolo de Montreal”³⁴ y “Guía usuarios CEPD para vehículos fuera de carretera”³⁵, dichas guías contienen los conceptos básicos acerca del CEPD y los procesos a seguir para la solicitud de aprobación del CEPD. Adicionalmente, se han realizado reuniones de orientación frente a estos procesos como la jornada virtual “Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica y Visto Bueno por Protocolo de Montreal para MMNC”³⁶.

Relacionado al proceso de solicitud del CEPD, se cuenta con la segunda guía anteriormente mencionada en la cual se especifican las consideraciones generales para la solicitud del CEPD como lo es el cumplimiento de los límites máximos de emisión permisibles para la MMNC, visto bueno por Protocolo de Montreal y Registro de importación. En cuanto a sus consideraciones técnicas se requiere la Certificación del uso de sustancias no agotadoras de la capa de ozono, certificado del VIN del vehículo si aplica, documentación técnica del fabricante, legalización de documentos provenientes del exterior, traducción oficial de la documentación técnica de soporte, certificación de cumplimiento de los límites máximos de emisiones contaminantes.

Ahora bien, la presentación de guías para la solicitud y emisión de los certificados se considera una condición habilitante teniendo cuenta que por medio de estas guías se proporciona un marco estándar que contribuye a establecer normas claras que deben cumplir los equipos para garantizar su seguridad, rendimiento y cumplimiento de estándares, también se facilita el proceso de certificación ya que se proporciona una hoja de ruta detallada y transparente para el proceso de certificación. Esto facilita a los propietarios de maquinaria comprender los requisitos específicos que deben cumplir para

³⁴ https://www.anla.gov.co/documentos/noticias/guias/guia_solicitud_aprobacion_epdvbpm.pdf

³⁵ <https://storymaps.arcgis.com/stories/7e7c280e74684091b9757156ea17eb10>

³⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=S8fg9iUGUsM>

obtener la aprobación, lo que simplifica y agiliza el proceso de certificación, asimismo, a partir de estos documentos que describe el procedimiento a realizar para la solicitud de aprobación del CEPD en VITAL (Figura 42).

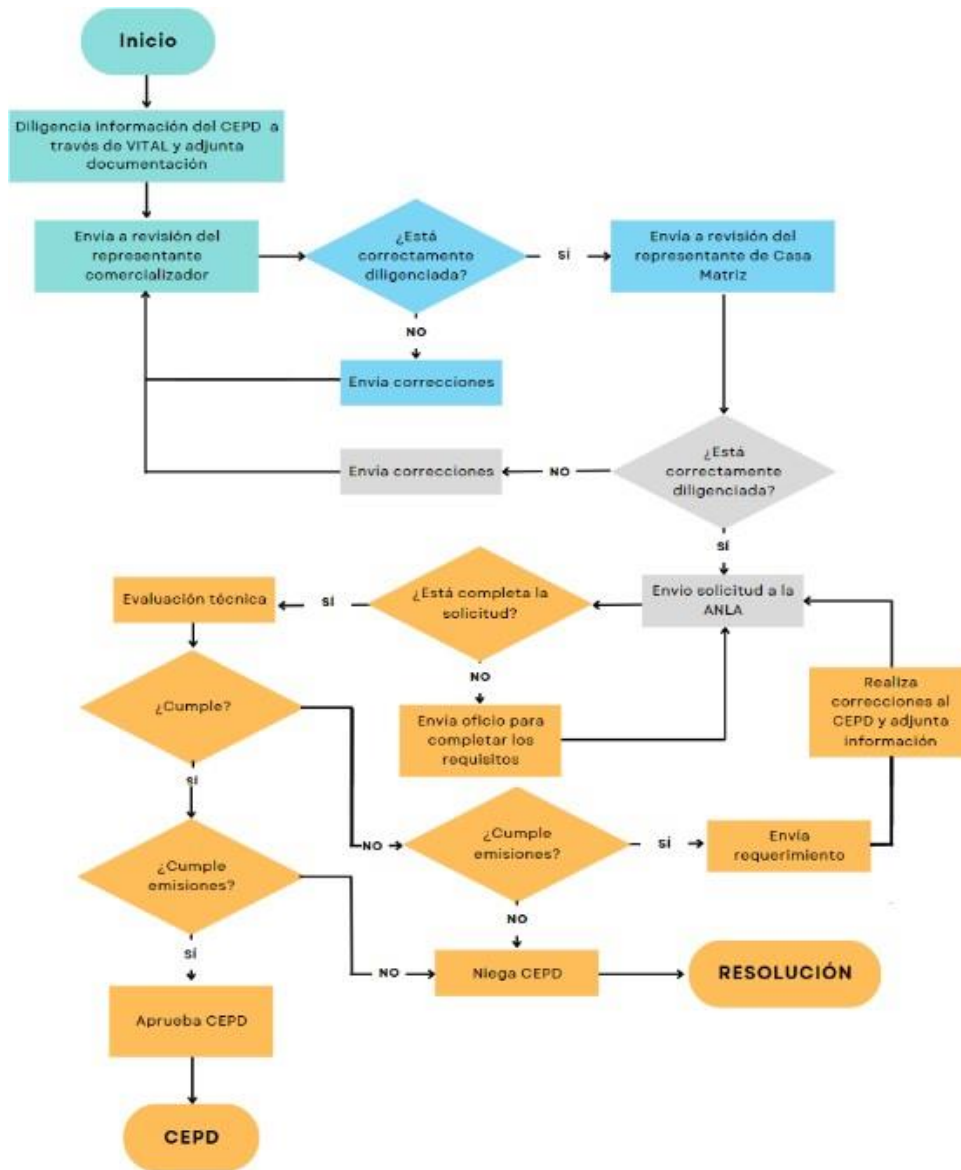


Figura 42. Diagrama de flujo proceso solicitud CEPD MMNC

Fuente. Tomado de (ANLA, 2023a), (ANLA, 2023b)

Es importante resaltar que el tiempo hábil para la aprobación o negación del CEPD, el cual cuenta con un tiempo máximo de 30 días hábiles con los que cuenta la ANLA para finalizar dicho proceso, además que a partir del día siguiente en que el solicitante responda al requerimiento de información, el tiempo para resolver de fondo la solicitud se contará considerando los días que se utilizaron para emitir el oficio de requerimiento (ANLA,

2023b). Además, el usuario tiene un mes contado a partir del día hábil siguiente a la recepción del oficio para responder al requerimiento.

Por otro lado, existen jornadas de socialización de la normatividad y trámites llevadas a cabo por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, junto con ANLA, las cuales representan una condición habilitante crucial en el proceso de adaptación y cumplimiento de las regulaciones ambientales. Estas jornadas proporcionan una plataforma para la difusión de información actualizada sobre las normativas vigentes, los procedimientos requeridos y los requisitos legales para la importación y operación de maquinaria de construcción en cumplimiento con los estándares ambientales. Además, facilita la comprensión y el acceso a la información relevante, se promueven la conformidad normativa, la adopción de mejores prácticas ambientales y una mayor conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad en el sector, y se brindan a los actores la oportunidad de resolver dudas, obtener orientación específica y colaborar con las autoridades competentes para garantizar una transición suave y efectiva hacia prácticas más responsables desde el punto de vista ambiental.

9.2 Lineamientos de contratación

Los lineamientos de contratación desempeñan un papel crucial en la adquisición de MMNC, determinando las condiciones y criterios que rigen los procesos de compra, sin embargo, a pesar de su importancia, se enfrentan a una serie de desafíos como lo son la ausencia de puntajes con criterios ambientales en los pliegos tipo de condiciones de contratación de MMNC, número limitado de proveedores en Colombia Compra Eficiente e imposibilidad de restringir alquiler de maquinaria por edad o tecnología en Colombia Compra Eficiente.

Por otro lado, existen condiciones habilitantes que pueden contribuir a mejorar los lineamientos de contratación como lo es la inclusión de puntajes por ascenso tecnológico en los contratos del Distrito y en Colombia Compra Eficiente, así como la exigencia de condiciones técnicas en los procesos de compra, ofrecen oportunidades para promover la adopción de tecnologías más avanzadas y eficientes en la maquinaria de construcción.

- **Barreras identificadas**

A partir de información capturada con actores del sector público e información secundaria obtenida de la revisión de contratos de obra se ha logrado identificar qué criterios ambientales no son necesariamente incorporados en las condiciones de contratación para realizar una obra pública. En especial, se evidenció que no se promueve maquinaria más moderna con mejores estándares de emisión o maquinaria cero emisiones. Para el caso concreto, se hará un recorrido detallado de los procesos contractuales que fueron identificados tanto como en el IDU, UMV, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER).

Para el caso del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), se consultó el visor geográfico de proyectos³⁷ el cual permite evaluar todas aquellas obras que se encuentran en actual ejecución siendo adjudicados entre el 2019 y 2022, con alrededor de 200 contratos de obra e interventoría y 134 procesos licitatorios a adjudicar (IDU, 2022). Para esta consultoría se revisaron 18 contratos disponibles en el SECOP II de obras públicas del IDU actualmente en ejecución. Al evaluar las condiciones, requisitos y exigencias técnicas de las MMNC, se logró identificar que 13 contratos mencionaban en los pliegos de condiciones la asignación de puntos en el Factor de Calidad relacionados con el uso de maquinaria con una edad menor a 20 años.

Dichos contratos identificados entre los años 2019-2022 tiene un valor máximo de 100 puntos, de los cuales 70 corresponden a la oferta económica, 19 al Factor de Calidad, 10 de apoyo a la industria nacional, 1 de vinculación de personas con discapacidad (Tabla 100y Tabla 101). Para el caso concreto de esta consultoría, llamó la atención el puntaje asignado en el Factor de Calidad, toda vez que en algunos casos se observó los puntos asignados por ofertar maquinaria de obra menor a 20 años asignado puntos entre 9 y 19.

Sin embargo, en reunión sostenida con el IDU el 22 de noviembre de 2023 se mencionó que los procesos que actualmente se están adjudicando para contratación de obras públicas ya no tienen en cuenta puntuación alguna por “Disponibilidad y condiciones funcionales de la maquinaria de obra”. Lo anterior, por cuanto se propiciaba un espacio de menor participación de oferentes por falta de capacidad de cumplimiento. Como ejemplo de lo anterior, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se verifica que un contrato ejecutado en el año 2023 ya no cuenta con puntaje por menor edad en la maquinaria de construcción.

Tabla 100. Contratos revisados con factor de puntuación

Contratos revisados con factor de puntuación por menor edad de operación de MMNC en actual ejecución					
No	No de proceso	Puntaje asignado	Máximo puntaje de Convocatoria	% de representatividad de condición de maquinaria en el contrato	Condición de la maquinaria
1	IDU-LP-SGDU-030-2021	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
2	IDU-LP-SGI-	9	100	9	Maquinaria menor

³⁷ https://webidu.idu.gov.co/visor_proyectos/

	017-2021				a 20 años
Contratos revisados con factor de puntuación por menor edad de operación de MMNC en actual ejecución					
No	No de proceso	Puntaje asignado	Máximo puntaje de Convocatoria	% de representatividad de condición de maquinaria en el contrato	Condición de la maquinaria
3	IDU-LP-DTC-007-2022	14	100	14	Maquinaria menor a 20 años
4	IDU-LP-SGI-038-2021	14	100	14	Maquinaria menor a 20 años
5	IDU-LP-SGI-017-2021	9	100	9	Maquinaria menor a 20 años
6	IDU-LP-DTC-036-2021	14	100	14	Maquinaria menor a 20 años
7	IDU-LP-SGI-015-2019	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
8	IDU-LP-SGI-030-2019	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
9	IDU-LP-SGI-003-2018	100	1000	10	Maquinaria de una edad entre los 5-10 años
10	IDU-LP-SGI-039-2021	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
11	IDU-LP-SGI-024-2021	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
12	IDU-LP-SGI-027-2019	19	100	19	Maquinaria menor a 20 años
13	IDU-LP-SGI-013-2018	100	1000	10	maquinaria de una edad entre los 5-10 años

Fuente. Autores, 2023 (se tienen en cuenta bases de datos de consolidados de procesos adjudicados de obra que están presentes en los anexos al informe).

Tabla 101. Contratos revisados de actual adjudicación

Contratos revisados de actual adjudicación (2023) que no contemplan puntuación por menor edad de operación de MMNC			
No	No de proceso	Fecha suscripción SECOP II	Observación
1	IDU-LP-DTC-021-2022	18/04/2023	Contrato de ejecución de obra que no puntea por ninguna característica de maquinaria

Fuente. Autores, 2023 (se tienen en cuenta bases de datos de consolidados de procesos adjudicados de obra que están presentes en los anexos al informe).

Es de mencionar que la mayoría de los contratos de obra del IDU adjudicados en 2023 hicieron la publicación del aviso de convocatoria pública en diciembre de 2022, cuando aún se tenía contemplado puntaje al oferente por maquinaria de menor edad y, por lo tanto, no existía restricción de orden legal para esta alternativa. Es posible que los nuevos términos de contratación pública entren en vigencia a partir del 2024 y por ello solo hasta esa fecha se tendrá la certeza de las nuevas determinaciones frente a la asignación de puntajes para la contratación de la maquinaria para obra pública.

Para efectos de realizar las consultas y los detalles contractuales, es pertinente resaltar que esta información es pública y se realiza en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 1712 de 2014 donde la entidad debe presentar un Informe consolidado y mensual de los procesos adjudicados y declarados desiertos, que para efectos de la presente consultoría fueron la fuente principal de información, en especial, los procesos adjudicados a 2023 del IDU los cuales están soportados en el Anexo 13. Listado contratos adjudicados- consolidados idu-2023.

Por otro lado, en la UMV, en reunión sostenida el 06 de diciembre de 2023, se comentó que tampoco existen incentivos para la compra de maquinaria más moderna. Sin embargo, en contratos de los años 2022 y 2023³⁸ sí se evidencia puntuación por menor edad de maquinaria en los pliegos de condiciones de obras de ejecución pública. (Anexo 14. Contratos UMV)

38

Contrato LP-006-2021;
<https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.2353461&isFromPublicArea=True&isModal=False> (consultar anexo técnico del contrato)

También se realizó la búsqueda de contratos recientes de entidades como el IDIGER, se encontró en el SECOP el contrato FONDIGER-LIC-017-2023³⁹ al igual que en los casos mencionados con anterioridad no se cuenta con puntaje en los pliegos de condiciones para MMNC. En cuanto a la maquinaria, el contrato únicamente contempla la mínima requerida algunas especificaciones en términos del registro documental exigido por la normatividad. Esta información se describe en el Apéndice específico a gestión ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que debe estar cargado en el portal del SECOP. La información de contrato mencionado con anterioridad se puede consultar en el Anexo 15. Contrato IDIGER FONDIGER-LIC-017-2023.

Por otra parte, también se realizó la búsqueda de contratos de obras públicas por parte de las Alcaldías Locales de Bogotá que se dan teniendo en cuenta los Fondos de Desarrollo Local, allí se evidencia en los pliegos de condiciones que la maquinaria no hace parte de los factores de puntuación de oferentes, como es el caso del contrato FDLCB-LP-002-2021 de la Alcaldía Local de Ciudad Bolívar⁴⁰, la información en detalle de este contrato puede ser consultada en el Anexo 16. Contratos Alcaldías Locales en donde se expone el pliego de condiciones y el anexo técnico.

Por lo expuesto, se concluye de manera preliminar que los contratos revisados bajo la consultoría y que se pueden consultar en los Anexos 13, 14, 15 y 16 en la mayoría de los casos, no presentan mayores exigencias frente a los criterios ambientales de las MMNC en términos de evaluación de estándares de emisión tales como: características puntuales del tipo de motor que garanticen ciertos estándares de emisión, potencia y capacidad, o restricciones frente al uso de maquinaria nueva o condiciones específicas de maquinaria usada.

Lo único que se incorpora en términos ambientales, en especial, en los contratos por parte del IDU es la necesidad de “realizar los monitoreos y/o muestreos de agua, calidad de aire y de ruido, en caso de ser requeridos siguiendo las metodologías establecidas en las normas, leyes ambientales vigentes y en los Capítulos técnicos correspondientes del Pliego de Condiciones”,

También se concluye que frente a las exigencias en los contratos revisados frente a los requisitos y condiciones de la MMNC frente a sus condiciones técnicas son limitadas en los procesos de construcción y desarrollo de obras públicas por parte del IDU, pues solo se conmina al contratista a demostrar lo siguiente:

³⁹ adjudicado en 2023, para la "Construcción de las obras de mitigación por desprendimiento de rocas en el polígono comprendido entre las Calles 181 y 182a, entre Carreras 3a y 6 en barrio el Codito fase 4, de la localidad de Usaquén, en Bogotá Distrito Capital".

⁴⁰ Licitación pública, "Ejecutar a precios unitarios y a monto agotable la actualización y/o complementación y/o ajustes a los estudios y diseños, y las obras de construcción de las vías y espacio público asociado a la infraestructura de transporte de la localidad de Ciudad Bolívar, priorizados para la vigencia fiscal 2021".

- Copia del RNMC.
- Protocolos y manuales de operación y mantenimiento
- Certificación del último mantenimiento realizado vigente según las especificaciones de la maquinaria
- Certificación expedida por un profesional idóneo, en el que se manifieste, que la maquinaria, equipo y vehículo, se encuentra en óptimas condiciones técnico-mecánicas de acuerdo con los parámetros establecidos por el fabricante para garantizar una operación segura

Otra barrera como se ha venido sustentando en los términos de la consultoría, se sabe que la Agencia Nacional de Contratación Pública Colombia Compra Eficiente ha establecido un Acuerdo Marco de Precios⁴¹ con vigencia hasta 2024, que define las condiciones para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola a nivel nacional por parte de entidades públicas.

El establecimiento de este Acuerdo Marco de Precios nace de la modalidad de contratación de licitación pública bajo el número de contrato CCENEG-046-01-2021⁴², en cuyo pliego de condiciones establece que:

1. Los proveedores adjudicados deben estar en la capacidad de entregar los bienes en cualquier parte del país (Colombia Compra Eficiente, 2021). Bajo esta primera condición, proveedores de maquinaria que no cuenten con la suficiente cobertura y que distribuyan maquinaria con estándares de emisión altos están limitados a participar y ser proveedores del estado a través de Colombia Compra Eficiente.
2. Según la naturaleza del Acuerdo, las condiciones aplican para la presentación de propuestas de grandes empresas y no de MiPymes teniendo en cuenta que “Debido a que ninguno de los posibles Proveedores se encuentra catalogado como micro o pequeña empresa, y la mayor parte de las empresas que se encuentran en la capacidad de suministrar Maquinaria pertenecen a Gran empresa” (Colombia Compra Eficiente, 2021). Por lo anterior, se puede decir que el acuerdo no fomenta a las MiPymes, lo que reduce en gran medida la cantidad de posibles proveedores a participar en este tipo de convocatorias.
3. Se exige como requisito habilitante a los proponentes que deben acreditar que están inscritos en el Registro Único de Proponentes -RUP- de la Cámara de Comercio con jurisdicción en su domicilio principal.

⁴¹ (Acuerdo marco de precios para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola CCE-215- AMP-2021, celebrado entre Colombia Compra Eficiente y (i) Casa Toro S.A. BIC, (ii) Comercial internacional de equipos y maquinaria S.A.S. – Navitrans S.A.S., (iii) Komatsu Colombia S.A.S., (iv) Ingeniería maquinaria y equipos de Colombia - IMECOL S.A.S., (v) Moto Mart S.A., (vi) Distribuidora Nissan S.A., (vii) 7 m Group S.A.)

⁴² Nombre de convocatoria: Adquisición de maquinaria amarilla y agrícola

4. El acuerdo expone que solo pueden aplicar aquellos proponentes que puedan acreditar una experiencia en entrega del bien o servicio definidos en mínimo la ejecución de 8 contratos para la distribución de maquinaria amarilla
5. También se presentan requisitos técnicos como:
 - Presentación de certificado en el cual indique que es un distribuidor autorizado de la maquinaria y accesorios
 - El Proponente debe acreditar mediante un certificado de la empresa que cuenta con más de cinco (5) sedes a nivel nacional, estas sedes deben estar ubicadas en ciudades o municipios distintos y debe estar respaldado con todos los soportes legales exigidos⁴³.
 - Los proponentes deben presentar el registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos – RESPEL – expedido por el IDEAM.⁴⁴ En caso de que la disposición de los Residuos Peligrosos se vayan a tercerizar el Proponente debe enviar en su oferta el contrato que certifique la relación entre las partes, sumado a lo anterior el Proponente deberá adjuntar el registro RESPEL de la empresa que realizará la disposición de los Residuos. (Colombia Compra Eficiente, 2021)

Teniendo en cuenta lo anterior se revisaron los términos y condiciones que habilitaron a los proveedores que cumplieron los requisitos exigidos, tales como: Casa Toro S.A. BIC, Comercial internacional de equipos y maquinaria S.A.S – Navitrans S.A.S., Komatsu Colombia S.A.S., Ingeniería maquinaria y equipos de Colombia – IMECOL S.A.S., Moto Mart S.A., (vi) Distribuidora Nissan S.A., 7 m Group S.A.

Estas condiciones resaltan una barrera en la participación masiva de proveedores de maquinaria amarilla para distribuir los productos a entidades públicas, teniendo en cuenta que las exigencias presentadas en el concurso de licitación pública generan condiciones habilitantes estrictas que son de difícil cumplimiento para MiPymes y es más accesibles a las grandes empresas, las cuales cuentan con mayor capacidad para atender a nivel territorial (regional y local) el transporte y distribución.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

Se parte de recordar que UMV a corte de 2022, ha celebrado contratos de obra pública en donde se tiene como factor de puntaje la edad de la maquinaria para la operación de la obra (Tabla 102). La información consultada surge del listado de contratos en actual

⁴³ Sí el Proponente es dueño del inmueble debe presentar el certificado de existencia y representación legal o matrícula mercantil en el que acredite que cuenta con dicho(s) establecimiento(s) de comercio, junto a lo anterior debe adjuntar copia del certificado de tradición y libertad del inmueble.

Sí el Proponente no es dueño del inmueble deberá adjuntar el contrato de arrendamiento del inmueble el cual deberá tener una vigencia igual o mayor a dos (2) años, o el contrato de arrendamiento con vigencia de un (1) año y con cláusula de renovación automática la cual debe ser igual o mayor a la del término inicial (1 año en el caso de la vigencia mínima aceptada), sumado a lo anterior debe adjuntar el certificado de tradición y libertad del inmueble.

⁴⁴ El Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos es la herramienta de captura de información establecida en el capítulo VI del decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.

ejecución que publicó la entidad dando cumplimiento a la Resolución 1519 de 2020 con fecha de actualización al 30 de septiembre de 2023⁴⁵

Para efectos de comprender la posible condición habilitante, se toma como caso concreto el contrato identificado como LP-006-2021 ⁴⁶ de la UMV tiene en cuenta algunas disposiciones específicas frente al manejo y control de la contaminación causada por el uso de equipos y maquinarias en la obra, en donde se expresa que “La operación y mantenimiento de la maquinaria y el manejo de combustibles y lubricantes se harán en forma tal que se evite el vertimiento de grasas o aceites al suelo. La operación de la maquinaria se deberá hacer con las recomendaciones del fabricante y deberán cumplir con los estándares para ruido, emisión de partículas y gases” (UMV, 2022).

En dicho contrato, se incorporan factores de puntuación asociados a la edad de la maquinaria los cuales a pesar de las restricciones jurídicas argumentadas previamente denotan estrategias contractuales que se pueden considerar a futuro, como se observa en la Tabla 102.

Tabla 102. Contratos revisados junto con su factor de puntuación

Contrato revisado con factor de puntuación por menor edad de operación de MMNC en actual ejecución por parte de la UMV					
No	No de proceso	Puntaje asignado	Máximo puntaje de Convocatoria	% de representatividad de condición de maquinaria en el contrato	Condición de la maquinaria
1	LP-006-2021	1	100	1	Maquinaria con una edad menor a veinte (20 años)
		3	100	3	Maquinaria con una edad menor a quince (15 años)
		5	100	5	Maquinaria con una edad menor a 10 años

Fuente. Autores, 2023 (Se toma como base el contrato de la UMV LP-006-2021 en la revisión del pliego de condiciones)

⁴⁵ <https://www.umv.gov.co/portal/ejecucion-contratos/> (Esta base de datos, puede ser consultada en el Anexo

14. Contratos UMV)

⁴⁶

<https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.2353461&isFromPublicArea=True&isModal=False> (consultar anexo técnico del contrato)

Como se observa en Tabla 102 se abre una ventana para que la UMV exija en próximas contrataciones maquinaria de modelos más recientes lo cual redundaría en la adquisición de equipos con mejores estándares de emisiones atmosféricas contaminantes.

Esta oportunidad se desarrollaría en el Anexo técnico que debe estar cargado en el portal del SECOP II, vinculado a las características que debe cumplir la maquinaria en términos del registro documental y que puede ser exigido por la interventoría correspondiente.

Por otro lado, otra condición habilitante evidenciada, se presenta en los procesos de adquisición y compra de MMNC, bajo los términos de la consultoría, se han descrito con anterioridad las condiciones de alquiler y compra de maquinaria, para este caso puntual, se considera esta como una condición habilitante debido a la oportunidad de incluir criterios ambientales en los pliegos de condiciones en función de aspectos técnicos como las condiciones del motor de la maquinaria.

Para el efecto, se identificó que la UMV realiza este tipo de procesos, a través del proceso que desarrolla el portal de Colombia Compra eficiente, en donde a través de la herramienta “Modelo de abastecimiento estratégico MAE”⁴⁷ se puede hacer consulta de todos los contratos de compra de bienes y servicios por parte de entidades públicas. Para el caso de la maquinaria de construcción se emplea el código 2210 “Maquinaria y equipo pesado de construcción”.

Para el caso de la consulta en el portal de Colombia Compra Eficiente, el Modelo de abastecimiento estratégico MAE mostró información sobre la compra de Maquinaria y equipo pesado de construcción en donde, para la escala nacional, en lo que va del año 2023, se han adjudicado 340 contratos, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la cantidad de contratos de compra ejecutados por mes para el año 2023.

47

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiMGY4MWZmZmUtNGJlYy00YTBlLTgzYmYtZGE2NGRkZDA1YTJlIiwidCI6IjdiMDkwNDkxNTI0NDkxMC04Y2IxLTc5ZDZlM2Q4YzFzIiwiaWQiOiJlMjR9&pageName=ReportSection17ad17361e56dd6a009c> Modelo de abastecimiento estratégico MAE

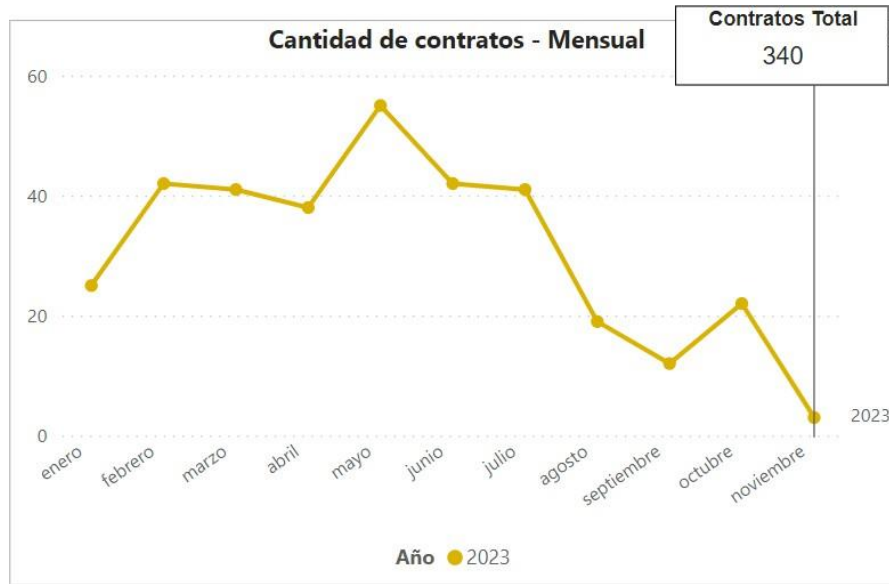


Figura 43. Cantidad de contratos ejecutados de adquisición de maquinaria pesada por mes para el año 2023

Fuente. (Colombia Compra Eficiente, 2023)

Por otro lado, el modelo, permite identificar la cantidad de contratos ejecutados por tipo de maquinaria pesada adquirida, la Tabla 103 muestra el tipo de maquinaria y equipo pesado de construcción adquirido frente al total de contratos de compra ejecutados.

Tabla 103. Tipo de maquinaria y equipo pesado de construcción adquirido frente al total de contratos de compra ejecutados

Año	2023		
	Clasificador de Bienes y Servicios - Familia	Contratos	Valor
2210 - Maquinaria y equipo pesado de construcción	340	\$ 152.906.594.165	100,00%
221015 - Maquinaria para trabajo de desmonte	160	\$ 71.874.869.376	47,01%
221016 - Equipo de pavimentación	48	\$ 43.260.154.659	28,29%
221019 - Maquinaria y accesorios de construcción de edificios	31	\$ 18.785.601.999	12,29%
221017 - Componentes de equipo pesado	87	\$ 12.483.398.400	8,16%
221020 - Equipo y maquinaria de demolición de edificios	12	\$ 6.364.217.729	4,16%
221018 - Gruas de elevación	2	\$ 138.352.000	0,09%
Total	340	\$ 152.906.594.165	100,00%

Fuente. (Colombia Compra Eficiente, 2023)

Para este caso, se puede observar que a nivel nacional para 2023 el 47,01% de los contratos adjudicados de adquisición de maquinaria, se desarrolla para aquella

maquinaria utilizada para trabajo de desmonte, en donde se tienen en cuenta maquinarias como: Excavadoras, Retroexcavadora, Vibrocompactadores y toda aquella maquinaria usada para el mantenimiento de la malla vial.

A modo de contexto, se debe mencionar que, en la mayoría de los casos la modalidad de contratación usada fue competitiva por medio de procesos de licitación pública y Selección Abreviada de Subasta Inversa, este último, es un tipo de subasta en la que los oferentes compiten para ofrecer el precio más bajo en lugar del más alto. En el contexto de adquisiciones gubernamentales, una subasta inversa implica que los proveedores compiten entre sí para ofrecer el precio más bajo para un determinado bien o servicio. La Figura 44 muestra el valor total de los contratos estimado por tipo de modalidad de contratación.

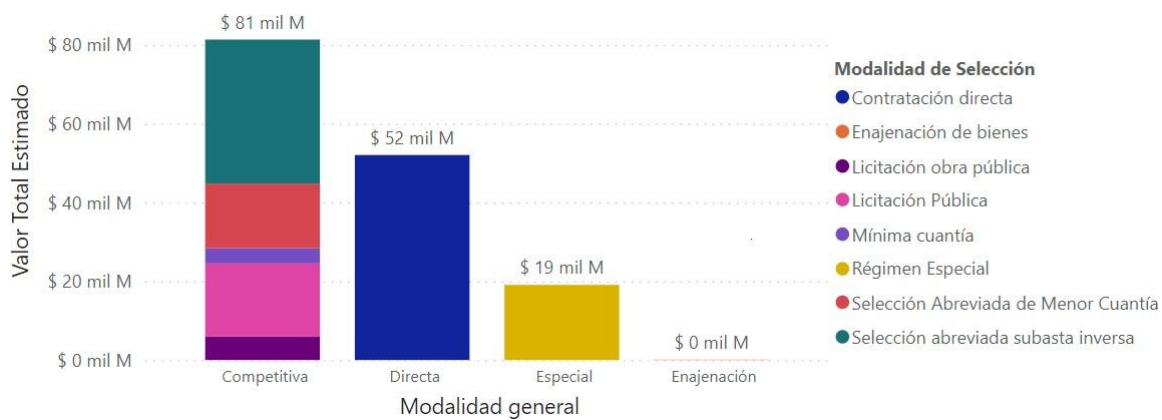


Figura 44. Valor total de los contratos

Fuente. (Colombia Compra Eficiente, 2023)

A partir de la información que brinda la herramienta de Modelo de Abastecimiento Estratégico de Colombia Compra Eficiente, se realizó la búsqueda de información para el caso de Bogotá con la UMV, Allí se pueden encontrar que, en septiembre de 2023, esta entidad realizó una compra de maquinaria correspondiente a la categoría 221015- Maquinaria para trabajo de desmonte que se realizó bajo el proceso de contratación de Selección Abreviada de Subasta Inversa en donde se adquirió la siguiente maquinaria: Selladora de fisuras; ruteadora de pavimento; fresadora de pavimento y pavimentadora. Esta compra se realizó bajo el contrato UMV-SASI-010- 2023⁴⁸

Es de mencionar que para cada una de las maquinarias adquiridas el contrato contempla las condiciones técnicas que se deben tener en cuenta para la presentación de propuestas por parte de los oferentes, estas condiciones se exponen a través de los anexos de fichas técnicas para cada una de las maquinarias.

⁴⁸ Consulta de condiciones del contrato UMV-SASI-010- 2023: <https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.4924206&isFromPublicArea=True&isModal=true&asPopupView=true>

De este modo, al realizar la consulta de los requerimientos técnicos de cada maquinaria adquirida, se puede evidenciar que se cuenta con información referente a las condiciones del motor en función de la exigencia de estándares de emisión de contaminantes atmosféricos, la Tabla 104 sintetiza la información encontrada frente a las condiciones de estándar de emisión por cada maquinaria objeto del contrato UMV-SASI-010- 2023.

Tabla 104. Estándar de emisión exigido en las fichas técnicas en contratos UMV

Estándar de emisión exigido en las fichas técnicas de cada maquinada del contrato UMV-SASI-010- 2023	
SELLADORA DE FISURAS	Mínimo Tier 3 (EPA), Stage III A (Euro) o equivalente.
RUTEADORA DE PAVIMENTO	Mínimo Tier 2 (EPA), Stage II (Euro) o equivalente.
FRESADORA DE PAVIMENTO	Mínima norma de emisiones que cumple el motor deberá ser Tier 3
PAVIMENTADORA	Mínima norma de emisiones que cumple el motor deberá ser Tier 3.

Fuente. (UMV, 2023). Anexos de fichas técnicas de maquinaria del contrato UMV-SASI-010- 2023

Lo anterior, permite identificar en este tipo de compras y adquisiciones, una condición habilitante, teniendo en cuenta que si bien la mayoría de contrato de adquisición de maquinaria se presenta bajo la modalidad de Selección Abreviada de Subasta Inversa en donde el criterio fundamental se presenta bajo el menor precio ofertado y no sobre condiciones ambientales, pero si tienen repercusión positiva frente al estándar de emisión de la maquinaria.

De este modo, bajo la autonomía de las entidades públicas y con el cumplimiento de los principios de contratación pública contemplados en la Ley 80 de 1993, se pueden incorporar criterios ambientales, sin la necesidad directa de realizar ajustes sobre los pliegos tipo de contratación, mediante una definición acertada de condiciones en las fichas técnicas de la maquinaria.

9.3 Políticas públicas ambientales y reglamentación

En el contexto actual, las políticas públicas ambientales y la reglamentación desempeñan un papel fundamental en la promoción de prácticas sostenibles en diversas industrias, incluida la de la construcción. Sin embargo, en el caso específico de la MMNC, existen desafíos y oportunidades que merecen una atención especial.

Una de las dificultades es la ausencia de reglamentación técnica que defina el estado de mantenimiento de la MMNC. Esta carencia de normativas específicas dificulta la aplicación de estándares uniformes de mantenimiento, lo que puede resultar en prácticas inconsistentes y, en algunos casos, insuficientes para garantizar el buen funcionamiento y la eficiencia de la maquinaria. No obstante a lo anterior, a pesar de este desafío, existen políticas públicas ambientales y reglamentaciones que están diseñadas para incentivar la

adopción de maquinaria más limpia y eficiente en términos de emisiones y consumo de combustible.

- **Barrera identificada**

A pesar de los compromisos y políticas en materia de calidad del aire y cambio climático actualmente aún faltan acciones concretas para mitigar las emisiones relacionadas a la MMNC, lo que representa un desafío significativo en la lucha contra la contaminación ambiental y cambio climático.

Una experiencia que vale la pena analizar es la instalación de filtros de partículas diésel (DPF) en máquinas amarillas en Chile, mediante el proceso de retrofit. Este enfoque consiste en la incorporación de tecnologías de control de emisiones en maquinaria existente, lo que permite reducir significativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas de diesel, sin necesidad de reemplazar toda la flota de maquinaria. La implementación exitosa de estos sistemas de control de emisiones puede proporcionar lecciones valiosas sobre la viabilidad técnica y económica de abordar las emisiones en el sector de la MMNC.

Además, los proyectos de electrificación de maquinaria, tanto en Chile como en Noruega, ofrecen una perspectiva innovadora para reducir las emisiones y promover la transición hacia tecnologías más limpias y sostenibles en el sector. La electrificación de la maquinaria, mediante la sustitución de motores diésel por sistemas eléctricos o híbridos, tiene el potencial de reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos y áreas sensibles.

Al analizar estas experiencias, se pueden identificar las barreras y los impulsores para la adopción de tecnologías de control de emisiones y electrificación en el sector de la MMNC, así como las lecciones aprendidas y las mejores prácticas que pueden aplicarse en otros contextos.

- **Condiciones habilitantes identificadas**

Una condición habilitante que permitiría en Bogotá el ascenso tecnológico y la transición a maquinaria de cero emisiones es el avance en materia normativa y política pública ambiental en el distrito, principalmente la entrada en vigor de:

- 1) El Decreto 492 de 2023 “por el cual se reglamenta el artículo 120 del Decreto Distrital 555 de 2021 en relación con las (ZUMA) en Bogotá, D.C. y se declara la ZUMA Bosa-Apogeo, y se dictan otras disposiciones” (SDA, 2023a). Se ha identificado la posibilidad de promover el uso de MMNC con mejor tecnología en Zonas Urbanas por un Mejor Aire, establecidas por la SDA.

En este decreto se define que las ZUMA tienen como objetivo concentrar acciones intersectoriales para mejorar progresivamente la calidad del aire de la zona urbana del Distrito Capital a través de la reducción de las emisiones de contaminantes

atmosféricos y la disminución del riesgo de afectaciones en la salud de las personas por causa de la exposición a estos y que unos de los objetivos específicos busca reducir progresivamente las emisiones de contaminantes atmosféricos de las fuentes móviles, fuentes fijas y de material resuspendido en las ZUMA y en la ciudad.

- 2) La Política Pública de Acción Climática Bogotá 2050 cuyo objetivo es impulsar la carbono neutralidad, la resiliencia y la adaptación climática en Bogotá D.C. Sí bien esta política no menciona de manera específica el uso de maquinaria pesada cero emisiones, si contempla las metas de reducción de gases de efecto invernadero a 2050, es allí, en donde es posible ahondar en la implementación de maquinaria con mejores estándares de emisión o cero en emisiones, a través de la consolidación de los instrumentos que se empleen para dar cumplimiento a las metas de esta política.

Por otra parte, la política menciona promover la construcción sostenible en donde “se plantea promover la inclusión, en el Código de Construcción de Bogotá, nuevas tecnologías para mitigar la crisis climática, tales como: las pinturas que capturen CO₂ y nuevos materiales e insumos de origen bio que permitan consolidar la construcción sostenible en la ciudad.” (SDA, 2023a) de este modo también se abre la posibilidad de mejorar los criterios de sostenibilidad de la construcción y contemplar exigencias ambientales a la maquinaria empleada.

9.4 Acciones sectoriales

La condición habilitante de acciones sectoriales se destaca por la implementación de certificaciones de construcción sostenible que otorgan puntajes adicionales para el uso de maquinaria más limpia. En este sentido, se resalta la versión 3.0 del aplicativo CASA, lanzado en julio de 2023, el cual incluye la gestión avanzada de impactos durante la construcción enfocada en la reducción de emisiones contaminantes por parte de la maquinaria de construcción, cumpliendo los umbrales de estándares Tier3/Stage IIIA o superiores.

Este avance marca un cambio notable en la manera en que se evalúan y promueven las prácticas sostenibles en el sector de la construcción. Al considerar el impacto ambiental de la maquinaria utilizada durante el proceso de construcción, se incentiva la adopción de equipos más limpios y eficientes en términos de emisiones. Además, el CCCS está impulsando el acompañamiento a la construcción "net zero carbono", promoviendo activamente el uso de maquinaria de construcción eléctrica como parte de esta iniciativa. Esta estrategia busca reducir las emisiones de carbono asociadas con la actividad de construcción, alentando la transición hacia tecnologías más limpias y sostenibles.

Por otro lado, con respecto a incentivo de participación voluntaria, en el país se está fomentando la edificación sostenible como respuesta a las demandas de preservación del medio ambiente y reducción del cambio climático. Se enfatiza la reducción y reutilización de desechos sólidos, la optimización del consumo energético y la conservación del agua

como principales aspectos ambientales. Aunque las emisiones derivadas de la maquinaria de construcción no se consideran explícitamente en la evaluación de impacto, se ha estado explorando la inclusión del impacto de dicha maquinaria como parte de las responsabilidades inherentes a los proyectos de construcción en los últimos años. Asimismo, algunos instrumentos de participación voluntaria se relacionan con las políticas ambientales adoptadas por las empresas matrices que distribuyen maquinaria, ya que dentro de los objetivos de reducción de la huella de carbono o la búsqueda de la neutralidad de carbono, en ocasiones se incluyen las emisiones generadas por la maquinaria, las cuales se pretenden disminuir mediante la adopción de tecnologías más avanzadas o la transición de motores de combustión a motores eléctricos.

10. CONCLUSIONES

Esta consultoría del programa CALAC+ tuvo como propósito generar información e instrumentos de soporte para apoyar a la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) en la ruta de ascenso tecnológico de la MMNC con la consecuente reducción de emisiones a la atmósfera. En la medida que dichos instrumentos son aplicables no sólo en Bogotá sino en todo el país, los resultados plasmados en este informe pueden ser de utilidad también para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), así como autoridades ambientales regionales.

En primer lugar, se hizo una identificación de actores relacionados con la MMNC. Como actores directos se encuentran fabricantes, importadores y distribuidores de maquinaria y de repuestos, entidades públicas y privadas gestoras de obras civiles, constructoras y consorcios, instituciones gubernamentales encargadas del registro y regulación de la maquinaria. Como actores indirectos se mencionan incubadoras de políticas a través de cooperación internacional, la academia, asociaciones y gremios de la construcción, entidades promotoras de la construcción sostenible. De esta forma, un proceso de gestión de la MMNC, ya sea a través de lineamientos normativos, incentivos económicos o acciones voluntarias, debería involucrar todos los actores, cada uno aportando desde su campo de acción.

La realización de mesas de trabajo con diversos actores permitió observar, que a pesar de los ejercicios de socialización que ha hecho la autoridad ambiental de la Resolución 762 de 2022, el conocimiento de esta es aún precario. Sólo los grandes importadores y distribuidores de maquinaria pesada han establecido un plan de trabajo para el ascenso tecnológico al estándar Tier 4, mientras que distribuidores más pequeños aun concentran sus esfuerzos en importar maquinaria con estándares Tier 2 y Tier 3 antes de la entrada en vigor de la norma, y así poder ofrecer a sus clientes un stock de máquinas a un valor competitivo. Otros actores que poseen maquinaria como consorcios y constructoras, así empresas de fabricación de ladrillos y productos cerámicos tampoco tienen conocimiento de la resolución.

El ascenso tecnológico de la maquinaria ha estado limitado por una serie de temores que existen entre importadores, distribuidores y usuarios. Por una parte, se habla del combustible como no adecuado para motores con estándar Tier 4. A pesar de que algunos distribuidores mencionaron el contenido de azufre, el principal problema señalado es el canal de distribución. Para la maquinaria fuera de ruta, el combustible debe ser transportado desde la estación de servicio o zona de almacenamiento hasta el lugar de operación, actividad que se realiza en canecas o tanques, no siempre en las mejores condiciones, pudiendo contaminarse con partículas y agua. Es práctica común en grandes poseedores de maquinaria realizar la compra del combustible directamente al proveedor y no a través de estaciones de servicio o intermediarios. Se han detectado problemas de

cristalización del diésel y formación de natas en tanques de almacenamiento, probablemente ocasionados a las temperaturas de los tanques.

Otro temor está en la adaptación de la tecnología al país, lo que comúnmente se conoce como “tropicalización” de la máquina. Dado que ésta fue diseñada en otras latitudes, usualmente se requiere ajustes a nivel local. El proceso de tropicalización puede suponer la instalación de equipos específicos dependiendo de las condiciones ambientales como la instalación de calentadores de arranque en climas fríos o refrigerantes especiales en climas cálidos.

No hay consenso sobre la vida útil de una máquina por antigüedad u horas de trabajo, pudiendo encontrarse maquinaria con edad superior a los 20 años o actividad cercana las 20.000 horas de uso. Por encima de este rango, la depreciación en el valor de la máquina es alto, por lo que su precio de venta será muy bajo. La vida de operación se extiende aprovechando la existencia de un mercado de repuestos, tanto originales como adaptables, e incluso piezas de máquinas en desuso. No existe regulación para la disposición, destrucción y eliminación de maquinaria usada y sus piezas.

Se encuentra en el mercado una gran diversidad de marcas y tipologías de MMNC, de respaldo internacional, en capacidad de realizar una actualización tecnológica. En cuanto a marcas fue posible identificar hasta 128 distintos tipos y 21 tipologías en la ciudad. Así mismo, existen diversos portales para la compraventa de maquinaria como tumaquinaria.com.co, superbid.com.co, be-market.com que permiten una mayor interacción entre compradores y vendedores de maquinaria y un dinamismo en el mercado.

Sin lugar a duda el componente económico es el de mayor impacto en el ascenso tecnológico de la MMNC. El costo de la maquinaria nueva en Colombia es determinado en primera medida por: 1) La potencia o capacidad de la maquinaria, seguido de 2) la reputación y posicionamiento de la marca fabricante y el nivel tecnológico de la misma. El estándar de emisión no es un criterio clave, y al contrario, influye negativamente al aumentar el costo de la maquinaria. Se estima un mayor costo de inversión por un estándar Tier 4 entre un 20 a 30% respecto a las tecnologías Tier 2 y Tier 3 lo que desincentiva su compra.

Si bien el costo de operación de una máquina con tecnología Tier 4 pudiera llegar a ser menor que un equipo de menor estándar, estos costos no son visibles en el corto plazo para el comprador, lo que dificulta el incorporarlos en la contabilidad de las empresas. Los menores costos se asocian un rediseño en la estructura de la máquina, sistemas más eficientes de consumo de combustible y menores horas de mantenimiento.

Se pudo determinar que el costo de la maquinaria de construcción en una obra civil podría estar cercano al 16% del presupuesto, junto con los rubros de materiales (76%), mano de obra (6%), transporte (1%) y alquiler de otros equipos (1%). Estos porcentajes pueden variar dependiendo de la configuración o tipo de infraestructura a realizar. Dentro de

estos rubros el de mayor posibilidad de minimizar es la maquinaria, al comprar vehículos usados o alquilar unidades de mayor antigüedad y, por ende, menores estándares de emisión. Pocas veces se exige a un contratista contar con maquinaria específica para la realización de los trabajos, quedando a criterio del contratista, el cual, se sesga a intereses económicos.

En cuanto a los costos del subtotal de maquinaria, en promedio, un 40% corresponde al combustible, del 25 al 30% al mantenimiento, y el restante 30 a 35% al operador y costos administrativos como pólizas, impuestos, seguros, etc. Esta información fue proveída por el coordinador de equipos de Concreto, una firma colombiana de desarrollo de proyectos de infraestructura, edificaciones, vivienda e inversión.

El modelo de negocio que involucra la maquinaria pesada se caracteriza por buscar una rápida recuperación de la inversión. Los principales compradores son empresas que buscan maquinaria con bajo costo de adquisición y con la capacidad de ser usada en cualquier tipo de actividad, terreno o condición, que no se vea afectada por la calidad del combustible y que sus mantenimientos sean sencillos y con repuestos homologables. Este funcionamiento del mercado dificulta la entrada de equipos con niveles de tecnología y emisiones superiores.

El concepto de vida útil de un equipo está determinado por el criterio del comprador y vendedor respectivamente; es decir, mientras que para un vendedor un equipo bajo su propiedad ha alcanzado su vida útil, ya que se ha obtenido los beneficios esperados y su depreciación y costos de mantenimiento lo convierten en un equipo que empezará a generar gastos; ese mismo equipo para un posible comprador es una oportunidad de inversión a la cual puede obtener beneficios económicos.

El estatuto tributario muestra dos tipos de incentivos aplicados a maquinaria pesada de industrias básicas. Sin embargo, el sector de la construcción no hace parte de las industrias básicas, por lo cual no aplica a este incentivo. En respuesta a una solicitud realizada a la ANLA, se confirma que esta entidad no ha expedido hasta el momento certificaciones ambientales para acceder al beneficio tributario de exclusión del IVA y descuento del impuesto sobre la Renta relacionadas con la importación de “maquinaria amarilla”. A pesar de lo anterior habría la posibilidad de acceder al beneficio tributario para la maquinaria pesada si ésta se destina a proyectos o actividades que sean exportadores de certificados de reducción de emisiones de carbono y que contribuyan a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

La maquinaria que se importa puede ser entregada en el sitio de trabajo o en zona franca. En el primer caso, al cliente se le trasladan los costos de nacionalización y el IVA del 19%. En el segundo caso, en la zona franca se puede optar por hacer una importación temporal y diferir el IVA a cinco años. Según la destinación de la maquinaria o la zona del país donde vaya a operar, podría existir una reducción al 16%, 8%, 5% o 0%.

A nivel nacional, la contratación pública está regida por la Agencia Nacional de Contratación Pública -Colombia Compra Eficiente. En el caso de la adquisición de MMNC se tienen acuerdos marco de precios con siete distribuidores nacionales (vigente hasta 2025) para algunas tipologías vehiculares. En los requerimientos mínimos se incluyen características técnicas de las máquinas y su costo, pero no se hace alusión al estándar de emisión, ni al año modelo u horas de uso en caso de ser maquinaria usada.

Sin embargo, el factor técnico adicional, sí contempla el componente ambiental. Sobre un total de 100 puntos, al factor técnico adicional le corresponde 45 puntos, y de éstos 10 puntos van para el componente ambiental según el estándar de la maquinaria (Tier 1: 5 puntos, Tier 2: 8 puntos, Tier 3: 10 puntos). De acuerdo a lo anterior, en los catálogos que presentan los distribuidores se incluye información de la norma ambiental que cumple el equipo.

En la revisión de contratos de obra a nivel distrital entre el 2019 y el 2022, se evidenció que tanto el IDU como la UMV contemplaban puntaje en las licitaciones por maquinaria de menor edad (<10 o 20 años). Sin embargo, al exigirse a estas entidades adoptar Pliegos Tipo de contratación, el incentivo fue suprimido debido a una menor participación de oferentes por falta de capacidad de cumplimiento.

A pesar de la imposibilidad de modificar pliegos tipo, se podrían incorporar criterios ambientales en los contratos de obra, sin la necesidad directa de realizar ajustes sobre los pliegos tipo de contratación, mediante una definición acertada de condiciones en las fichas técnicas de la maquinaria. Esto bajo la autonomía de las entidades públicas y con el cumplimiento de los principios de contratación pública contemplados en la Ley 80 de 1993.

Políticas distritales de calidad del aire y disminución de la huella de carbono podría promover el ascenso tecnológico de la MMNC. En especial, en Bogotá la definición y declaración de zonas por un mejor aire ZUMAs, reglamentadas por la SDA mediante el Decreto 492 de 2023, podría promover la operación de obras de construcción con maquinaria moderna para disminuir las emisiones a la atmósfera. Este ejercicio sería similar a las zonas de bajas emisiones (LEZ) en Londres, donde se exige que en el centro de la ciudad se debe cumplir como mínimo el estándar Stage IV.

Por otra parte, la Política Pública de Acción Climática Bogotá 2050 podría enfatizar en la implementación de maquinaria con mejores estándares de emisión o cero emisiones, a través de la consolidación de los instrumentos que se empleen para dar cumplimiento a las metas de esta política.

Respecto a los incentivos de participación voluntaria, en el país se viene impulsando la construcción sostenible en respuesta a las necesidades del cuidado ambiental y la mitigación del cambio climático. Se promueve la disminución y reciclaje de residuos sólidos, la eficiencia energética y, el ahorro de agua, como principales indicadores ambientales. Si bien las emisiones asociadas a la maquinaria de construcción no están

implícitamente contempladas en la matriz de impactos, en los últimos años se ha buscado incorporar el impacto de la maquinaria de construcción dentro de las responsabilidades de la obra.

El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), en la última actualización de la certificación CASA, versión 3.0, incluyó como requerimiento opcional la gestión avanzada de impactos durante la construcción, en especial, la reducción de emisiones contaminantes por maquinaria de construcción cumpliendo los umbrales de estándares Tier3/Stage IIIA o superiores.

Algunos instrumentos de participación voluntaria identificados tienen que ver con políticas ambientales de casas matrices distribuidoras de maquinaria. Las metas de reducción de la huella de carbono o la carbono neutralidad, incluyen algunas veces las emisiones de la maquinaria que se buscan reducir mediante el ascenso tecnológico o la sustitución de motores de combustión por motores eléctricos.

11. REFERENCIAS

- 19 CFR § 12.74. (1 de Abril de 2022). *Importation of nonroad and stationary engines, vehicles, and equipment*. Obtenido de <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2022-title19-vol1/CFR-2022-title19-vol1-sec12-74/summary>
- 40 CFR§ 1068 Subparte D. (8 de Octubre de 2008). *GENERAL COMPLIANCE PROVISIONS FOR HIGHWAY, STATIONARY, AND NONROAD PROGRAMS*. Obtenido de <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-U/part-1068>
- Actualícese. (2017). *¿Cómo se maneja el IVA de una importación temporal de maquinaria?* Obtenido de <https://actualicese.com/como-se-realiza-la-contabilizacion-de-una-importacion-temporal-de-maquinaria/>
- ADBLUE. (2017). *¿Qué es el sistema SCR?* Obtenido de <https://es.greenchem-adblue.com/greenchem-has-a-new-product-8/>
- AET Turbos. (2014). *Turbo tech 101: ¿Qué es un turbo Wastegate y cómo funciona?* Obtenido de <https://aet-turbos.co.uk/turbo-tech-101-what-is-a-turbo-wastegate-and-how-does-it-work/>
- Alca Ingeniería & Construcción. (2022). *Nosotros*. Obtenido de <https://alcaingenieriasrl.com.ar/nosotros/>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2022). *Derecho de petición*. Obtenido de https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/2022/servicio-a-la-ciudadania/consulte-sus-requerimientos/04-abril/01-04-22/20223460640011.pdf
- ANLA . (2023a). *Guía para la solicitud de aprobación y evaluación de los Certificados de Emisiones por Prueba Dinámica y Visto Bueno por Protocolo de Montreal*. Obtenido de https://www.anla.gov.co/documentos/noticias/guias/guia_solicitud_aprobacion_e_pdvbpm.pdf
- ANLA. (2019). *Certificado de Emisiones por Prueba Dinámica y Visto Bueno por Protocolo de Montreal*. Obtenido de https://www.anla.gov.co/01_anla/certificado-de-emisiones-que-es-el-cepd
- ANLA. (2023b). *Guía usuarios CEPD para vehículos fuera de carretera*. Obtenido de <https://storymaps.arcgis.com/stories/7e7c280e74684091b9757156ea17eb10>
- ANMOPYC. (2013). *Emisiones de motores de combustión en máquinas móviles no de carretera*. Obtenido de [https://www.anmopyc.es/uploads/noticias/288/doc/fnta08-emisionesmotores_\(v1.0\).pdf](https://www.anmopyc.es/uploads/noticias/288/doc/fnta08-emisionesmotores_(v1.0).pdf)
- Axparts. (2017). *¿Cómo y cuándo se realiza un mantenimiento preventivo?* Obtenido de <https://www.axpartsmontacargas.com/single-post/2017/06/22/-c%C3%B3mo-y-cu%C3%A1ndo-se-realiza-un-mantenimiento-preventivo#:~:text=A%20las%20250%20horas%20de,filtro%20de%20aceite%20de%20motor.>

- Basté J. (2013). *Determinación del comportamiento de los componentes contaminantes en el sistema de alimentación Diesel*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000400011
- bnbamericas. (s.f.). *Consortio Sanra María 004*. Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/perfil-empresa/consorcio-santa-maria-004>
- BOSCH. (s.f.). Obtenido de High-pressure rail for common-rail systems: <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/fuel-supply/high-pressure-rail/#:~:text=The%20high%2Dpressure%20rail%20gives,supplies%20this%20to%20the%20injectors>
- C40. (2020a). *Acelerador de Construcción Limpia*. Obtenido de <https://www.c40.org/accelerators/clean-construction/>
- C40. (Enero de 2020b). *Cómo Oslo está impulsando la transición a la construcción limpia*. Obtenido de https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-Oslo-is-driving-a-transition-to-clean-construction?language=en_US#:~:text=In%20September%202019%2C%20the%20first,and%20likely%20the%20first%20globally
- C40. (s.f.). *Acelerador de edificios con emisiones netas de carbono cero*. Obtenido de <https://www.c40.org/accelerators/net-zero-carbon-buildings/>
- Caballero , J. (s.f.). *Regimen de obras por impuestos, un mecanismo para extinguir la obligación tributaria* . Obtenido de <https://russellbedford.com.co/regimen-de-obras-por-impuestos-un-mecanismo-para-extinguir-la-obligacion-tributaria/>
- CALAC+. (2021a). *Guía para el reacondicionamiento de maquinaria móvil fuera de ruta con filtros de partículas diésel en Chile*. Obtenido de https://programacalac.com/wp-content/uploads/2022/07/Guia-de-reacondicionamiento-de-MMFR-con-DPF-en-Chile_FINAL.pdf
- CALAC+. (2021b). Obtenido de Sistematización de políticas y normativa de experiencias internacionales para la reducción de emisiones de la maquinaria móvil no de carretera (MMNC).: https://programacalac.com/wp-content/uploads/2023/09/Estudio-MMNC-Calac-Espanol_.pdf
- CALAC+. (2022). *Sistematización de la oferta tecnológica para maquinaria móvil no de carretera de cero emisiones*. Obtenido de https://programacalac.com/wp-content/uploads/2023/07/OFERTA-TECNOLOGICA-PARA-MAQUINARIA-MOVIL-NO-DE-CARRETERA-DE-CERO-EMISIONES-v090323_compressed-1.pdf
- Calameo. (s.f.). *Sobrealimentación de motores*. Obtenido de <https://www.calameo.com/read/00269060417a2b4524b95>
- Cao, T., Durbin, T., Russell, R., Cocker III, D., Scora , G., Maldonado, H., & Johnson , K. (2016). *Evaluations of in-use emission factors from off-road construction equipment*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.042>
- CARB . (2023). *Reglamento sobre flotas todoterreno alimentadas con diésel en uso*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/use-road-diesel-fueled-fleets-regulation/about>
- CARB. (2021). *Potential Amendments to the Diesel Engine Off-Road Emission Standards: Tier 5 Criteria Pollutants and CO2 Standards*. Obtenido de [253](https://ww2.arb.ca.gov/es/our-</p></div><div data-bbox=)

- CARB. (2022a). *Cuarto Plan de Inversión de los Ingresos de las Subastas de Cap-and-Trade Años Fiscales 2022-23 a 2024-25*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/auction-proceeds/Cap-and-Trade%20Auction%20Proceeds%20Fourth%20Investment%20Plan_FINAL%28Spanish%29.pdf
- CARB. (2022b). *Programa Carl Moyer- Aplicar*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/carl-moyer-program-apply>
- CARB. (2022c). *Programa Carl Moyer: Reserva Estatal*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/carl-moyer-program-state-reserve/about>
- Carl Moyer Program . (2016). *Carl Moyer Program Statistics 2016 Reporting Cycle*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/msprog/moyer/status/program_statistics_2016_reporting_cycle_final.pdf
- Carl Moyer Program . (2017). *Carl Moyer Program Statistics 2017 Reporting Cycle*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/msprog/moyer/status/2017_moyer_program_stats_29oct2018.pdf
- Carl Moyer Program . (2020). *Carl Moyer Program Statistics 2020 Reporting Cycle*. Obtenido de <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2022-03/2020%20Carl%20Moyer%20Statistics%2002152022.pdf>
- Carl Moyer Program. (2019). *Carl Moyer Program Statistics 2019 Reporting Cycle*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/msprog/moyer/status/2019%20Moyer%20Statistics%2008272020_v7-final.pdf
- Carl Moyer Program. (2021). *Carl Moyer Program Statistics 2021 Reporting Cycle*. Obtenido de https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2023-10/2021%20Moyer%20Statistics%20ADA1004_0.pdf
- Casa Toro. (2022). *Informe GRI CasaToro 2022*. Obtenido de https://www.casatoro.com/assets/docs/Informe_GRI_CasaToro_2022.pdf
- Castillejo, A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90174/fichero/TFG.+Alejandro+Castillejo+Calle.pdf>
- Castro Tcherassi. (s.f.). *Construyendo país*. Obtenido de <https://www.castrotcherassi.com/>
- CAT. (2023a). *Capacitación para operadores de Caterpillar*. Obtenido de https://www.cat.com/es_MX/support/cat-training/operator-training.html
- CAT. (2023b). *Servicios de productividad*. Obtenido de https://www.cat.com/es_MX/support/cat-training/operator-training/productivity-services.html
- CAT. (s.f.). *Excavadora de ruedas*. Obtenido de https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators/wheel-excavators/1000001273.html

- CCB. (2017). *Bogotá como vamos: informe de calidad de vida 2016 (p. 371)*. Obtenido de <http://www.bogotacomovamos.org/>
- CCCS. (2016). *Certificado CASA Colombia*. Obtenido de Consejo Colombiano de Construcción Sostenible: <https://casa.cccs.org.co/>
- CCCS. (2023). *CASA Colombia Versión 3.0*. Obtenido de https://casa.cccs.org.co/wp-content/uploads/2023/12/CASA_V3.pdf
- CDMX Construcción. (2020). *Ciudad de México se compromete a una construcción limpia*. Obtenido de <https://sobreorugas.com/construccion/ciudad-de-mexico-se-compromete-a-una-construccion-limpia/#:~:text=CIUDAD%20DE%20M%C3%89XICO%20SE%20COMPROMETE%20A%20UNA%20CONSTRUCCI%C3%93N%20LIMPIA&text=Los%20>
- Centro de construcción de bajas emisiones . (2019). *CLEC case studies* . Obtenido de <https://clec.uk/projects/case-studies>
- Chevrolet. (2022). *Euro VI demos el paso*. Obtenido de <https://www.busesycamioneschevrolet.com.co/euro-vi-demos-el-paso/#:~:text=Es%20una%20tecnolog%C3%ADa%20que%20usa,NOx%20en%20nitr%C3%B3geno%20y%20H2O>.
- Climate Action Tracker. (2020). *Country Summary* . Obtenido de <https://climateactiontracker.org/countries/norway/#:~:text=Norway%20has%20committed%20to%20a,in%20Norway's%202022%20updated%20NDC>.
- CODELCO. (2019). *Codelco estrena equipos mineros híbridos únicos en el mundo*. Obtenido de <https://www.codelco.com/prensa/2019/codelco-estrena-equipos-mineros-hibridos-unicos-en-el-mundo>
- CODELCO. (2022). *Mineros y mineras de Codelco se transportarán en los primeros buses eléctricos hechos en Chile*. Obtenido de https://www.codelco.com/mineros-y-mineras-de-codelco-se-transportaran-en-losprimeros-buses/prontus_codelco/2022-08-18/091249.html
- CodigosDTC. (2023a). *Inyección directa*. Obtenido de <https://codigosdtc.com/blog/inyeccion-directa/>
- CodigosDTC. (2023b). *Inyección indirecta*. Obtenido de <https://codigosdtc.com/blog/inyeccion-indirecta/>
- Colombia Compra Eficiente. (2021). *ACUERDO MARCO DE PRECIOS PARA LA ADQUISICIÓN DE MAQUINARIA AMARILLA Y AGRÍCOLA CCE-215-AMP-2021*. Obtenido de Colombia Compra Eficiente: https://www.colombiacompra.gov.co/sites/cce_public/files/cce_tienda_virtual/minuta_amp_maquinaria_amarilla_y_agricola_version_final_8-10-2021_1.pdf
- Colombia Compra Eficiente. (2021). *Anexo Técnico Fichas Técnicas y Especificaciones*. Obtenido de Colombia Compra Eficiente: https://www.colombiacompra.gov.co/sites/cce_public/files/cce_tienda_virtual/anexo_tecnico_2.pdf
- Colombia Compra Eficiente. (2021). *PLIEGO DE CONDICIONES PARA SELECCIONAR A LOS PROVEEDORES DE UN ACUERDO MARCO DE PRECIOS PARA LA ADQUISICIÓN DE MAQUINARIA AMARILLA Y AGRÍCOLA*. Obtenido de SECOP II.

- Colombia Compra Eficiente. (14 de Abril de 2023). *Guía para la compra en la tienda virtual del estado colombiano (TVEC) a través del acuerdo marco de precios para la adquisición de maquinaria amarilla y agrícola CCE-215-AMP-2021*. Obtenido de Colombia Compra Eficiente: https://www.colombiacompra.gov.co/sites/cce_public/files/cce_tienda_virtual/guia_para_comprar_en_la_tvec_del_amp_maquinaria_amarilla_y_agricola_v1_17-04-2023_compressed_1.pdf
- Colombia Compra Eficiente. (2023). *Manual de Abastecimiento estratégico MAE*. Obtenido de Colombia Compra Eficiente: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaMGY4MWZmZmUtNGJlYy00YTBlTgzYmYtZGE2NGRkZDA1YTJlIiwidCI6IjdiMDkwNDFlTjE0NTk0Y2IwLTc5ZDVM2Q4YzFiZSIsImMiOjR9&pageName=ReportSection17ad17361e56dd6a009c>
- Concreto. (2022a). *Concreto aporta su experiencia a la evolución de la movilidad en Bogotá*. Obtenido de <https://concreto.com/sala-de-prensa/concreto-aporta-su-experiencia-a-la-evolucion-de-la-movilidad-en-bogota/>
- Concreto. (2022b). *Somos Concreto*. Obtenido de <https://concreto.com/nosotros/#nuestra-historia>
- Concreto. (2022c). *Transmilenio Av. 68- Grupo 5*. Obtenido de <https://concreto.com/proyectos/transmilenio-av-68-grupo-5/>
- Concreto. (s.f.). *Transmilenio Av. 68- Grupo 8*. Obtenido de <https://concreto.com/proyectos/deprimido-transmilenio-av-68-grupo-8/>
- Congreso de la República. (1993). *Ley 80 de 1993*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=304>
- Congreso de la República. (2014). *Decreto 723 de 2014*. Obtenido de Sistema Único de Información Normativa: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1153502#>
- Congreso de la República. (2022). *Reforma tributaria Ley 2277 de 2022*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=199883>
- CONPES 3943. (2018). *POLÍTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3943.pdf>
- Construcción Latinoamericana . (2023a). *Sudamérica se prepara para fuertes ventas de equipos de construcción... pero sólo si se mantiene la estabilidad política*. Obtenido de <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/sudamerica-se-prepara-para-fuertes-ventas-de-equipos-de-construccion...-pero-solo-si-se-mantiene-la-estabilidad-politica/8032334.article>
- Construcción Latinoamericana . (2023b). *Contexto de la maquinaria de construcción en América Latina*. Obtenido de <https://www.construccionlatinoamericana.com/video/contexto-de-la-maquinaria-de-construccion-en-america-latina/8032907.article>
- Covinoc. (2024). *¿Quiénes somos?* Obtenido de <https://covinoc.com/nosotros/quienes-somos>

- Cummins. (2023). *¿Qué es un sistema de postratamiento?* . Obtenido de <https://www.cummins.com/es/components/aftertreatment/how-it-works#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20sistema%20de,con%20las%20normativas%20de%20emisiones.>
- Cummins. (s.f.). *Cómo funciona un turbocompresor.* Obtenido de <https://www.cummins.com/es/components/turbochargers/how-a-turbocharger-works>
- DCCEEW. (2022). *Non-road diesel engines – cost-benefit analysis: final report.* Obtenido de <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/nrde-cost-benefit-analysis-final%20report.docx>
- DEMALQ. (s.f.). *Fases de una construcción y qué máquinas se requieren para cada una.* Obtenido de <https://delmaq.com.py/fases-de-una-construccion/>
- Desouza, C., Marsh, D., Beever, S., Molden, N., & Green, D. (2020). *Real- world emissions from non-road mobile machinery in London.* Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117301>
- DIAN. (2016). *Caracterización del Régimen de Zonas Francas en Colombia.* Obtenido de Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales: <https://www.dian.gov.co/dian/cifras/Cuadernos%20de%20Trabajo/Caracterizaci%C3%B3n%20del%20r%C3%A9gimen%20de%20zonas%20francas%20en%20Colombia.pdf>
- DIAN. (2022). *Exención del IVA de materias primas, partes, insumos y bienes terminados. OFICIO N° 358 [902353].* Obtenido de CENTRO INTERAMERICANO JURIDICO FINANCIERO-CIJUF: <https://cijuf.org.co/normatividad/oficio/2022/oficio-358902353.html>
- DIAN. (2023). *Estatuto tributario.* Obtenido de DIAN: <https://estatuto.co/258-2>
- DieselNet. (2021). *EU: Nonroad Engine.* Obtenido de <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>
- DieselNet. (s.f.). *United States: Nonroad Diesel Engines.* Obtenido de <https://dieselnet.com/standards/us/nonroad.php#intro>
- DNP. (2017). *The costs of Environmental Degradation in Colombia.* Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradación-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-20,7-billones-.aspx>
- Dockery, D., Pope, C., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., . . . Speizer, F. (1993). *An association between air-pollution and mortality in six United-States cities.* Obtenido de New England Journal of Medicine, 329(24), 1753–1759.
- ECH. (2020). *¿Qué es un DPF filtro de partículas diésel?* Obtenido de *¿Qué es un DPF filtro de partículas diésel?* <https://ehcteknik.com/es/que-es-un-dpf-filtro-de-particulas-diesel/>
- Ecopetrol. (2022). *Calidad de combustibles.* Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/sostecnibilidad/ambiental/aire-limpio/calidad-combustibles#:~:text=Para%202021%2C%20el%20contenido%20de,regulaci%C3%B3n%20de%20hasta%2020%20ppm.>

- EEA. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook- 2016 1.A.4 Non road mobile machinery*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-4-non-road-1/view>
- EITI. (2017). *Obras por impuestos*. Obtenido de <https://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2077/flujo-de-ingresos/obras-impuestos/>
- Electronics Co Ltd. (2012). *ECU (Unidad de control electrónico) del sistema de inyección electrónica de combustible del motor*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/CN202615469U/en#citedBy>
- Federal Register 5-17-93 Vol. 58 No. 93. (17 de Mayo de 1993). *Federal Register 5-17-93 Vol. 58 No. 93*. Obtenido de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-1993-05-17/pdf/FR-1993-05-17.pdf#page=61>
- Ferreycorp. (2017). *Reporte de Sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.ferreycorp.com.pe/assets/uploads/archivos/compartidos/777859d29c255044e114e5f43229db7f.pdf>
- Financiera de Desarrollo Nacional. (2018). *Estructuración técnica del tramo 1 de la primera línea del metro de Bogotá*. Obtenido de <https://www.metrodebogota.gov.co/sites/default/files/3.%20DESCRIPC%C3%93N%20DEL%20PROYECTO.pdf>
- Fullen peru. (17 de 12 de 2023). *¿Debería elegir un cargador frontal con Motor Tier2 o Tier3?* Recuperado el 17 de 12 de 2023, de <https://fullen.pe/blog/cargador-frontal-tier2-o-tier3/#:~:text=La%20diferencia%20en%20el%20consumo,%2C5l%2Fhr%20Tier%20>
- Función Pública. (2015). *Decreto 1076 de 2015*. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=77913
- Fundación estatal para la prevención de riesgos laborales F.S.P. (s.f.). *Listado de máquinas*. Obtenido de <https://verificacionmaquinaria.lineaprevencion.com/listado-maquinas?categories%5B%5D=M%C3%81QUINAS+DE+CONSTRUCCI%C3%93N+DE+CARRETERAS>
- Garzon Reina, A. M., & Hernandez Mendez, L. Y. (2017). *CARTILLA-GUIA ILUSTRATIVA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO*. Bogotá.
- Geasur. (2013). *Elaboración de diagnóstico e inventario de emisiones informe final corregido*. Obtenido de https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/7._Antecedentes_Diagnostico.pdf
- Gecolsa . (Diciembre de 2023). *Catálogo de equipis usados Diciembre 2023*. Obtenido de https://gecolsacom/uploads/product/used-equipment-alternate/attachment/Catalogo_Equipos_Usados_Diciembre_2023_Final.pdf
- GECOLSA. (2023). *Nosotros*. Obtenido de <https://gecolsacom/maquinaria/nosotros/>

- Global Compact Cities Programme. (2017). *OSLO MUNICIPALITY'S PROCUREMENT STRATEGY*. Obtenido de <https://c40.my.salesforce.com/sfc/p/#36000001Enhz/a/1Q000000MmJ4/A58UYd9jnYoGUEzM9TTKGqYV2XgwVPntxEJvQCZY.qw>
- GoAuto. (s.f.). *Naturally-aspirated*. Obtenido de <https://www.goauto.com.au/glossary/naturally-aspirated.html>
- Gobierno de Chile. (2021). *Estrategia Nacional de Electromovilidad 2021*. Obtenido de https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf
- Grupo Empresarial LHS. (2023). *Proyectos*. Obtenido de <https://porto.grupolhs.co/adequacion-a-sistema-transmilenio-av-congreso-eucaristico-bogota/>
- Grupo Empresarial LHS. (s.f.). *Nosotros*. Obtenido de <https://porto.grupolhs.co/nosotros-3/>
- Grupo Makro. (2020). *La seguridad y el aprendizaje van primero*. Obtenido de <https://grupomakro.org/wp-content/uploads/2020/11/ESCUELA-INTERNACIONAL-DE-OPERACI%C3%93N-DE-MAQUINARIA-PESADA.pdf>
- Harrison, R., & Yin, J. (2000). *Particulate matter in the atmosphere: Which particle properties are important for its effects on health? In Science of the Total Environment (Vol. 249, Issues 1–3, pp. 85–101)*.
- Helloauto. (s.f.). *Wastegate*. Obtenido de <https://helloauto.com/glosario/wastegate>
- ICCT. (2016a). *COSTS OF EMISSION REDUCTION TECHNOLOGIES FOR HEAVY-DUTY DIESEL VEHICLES*. Obtenido de http://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_costs-emission-reduction-tech-HDV_20160229.pdf
- ICCT. (2016b). *TECHNOLOGY PATHWAYS FOR DIESEL ENGINES USED IN NON-ROAD VEHICLES AND EQUIPMENT*. Obtenido de https://theicct.org/sites/default/files/publications/Non-Road-Tech-Pathways_white-%20paper_vF_ICCT_20160915.pdf
- IDEAM. (2020). *Primer inventario indicativo Nacional de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro 2010-2014*. Obtenido de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023893/1InventarioBLACK.pdf>
- IDU. (2016). *Contratación*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/page/contratacion>
- IDU. (2022). *Informe de gestión de 2022*. Obtenido de IDU: https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/2022/Transparencia/presupuesto/CBN_1090_INFORME_DE_GESTIO%CC%81N_Y_RESULTADOS_2022_CB_FIRMADO.pdf
- IDU. (2022). *Informe de gestión de 2022*. Obtenido de Instituto de Desarrollo Urbano: https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/2022/Transparencia/presupuesto/CBN_1090_INFORME_DE_GESTIO%CC%81N_Y_RESULTADOS_2022_CB_FIRMADO.pdf
- IDU. (15 de 12 de 2023). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C.* Recuperado el 15 de 12 de 2023, de <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/portafolio-inno>

- IDU. (15 de 12 de 2023). *IDU*. Recuperado el 15 de 12 de 2023, de <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>
- IDU. (s.f.). *Quiénes somos*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/page/quienes-somos-2>
- IRS. (2023). *Créditos y deducciones para personas físicas*. Obtenido de <https://www.irs.gov/es/credits-deductions-for-individuals>
- ITT. (2021). *Tropicalización de máquinas y equipos*. Obtenido de <https://www.itt1878.es/news/novedades-0/tropicalizacion-de-maquinas-y-equipos-1217>
- J. C. Bamfors Excavators. (2023). *Productos sostenibles*. Obtenido de <https://www.jcb.com/es-pa/acerca-de/soluciones-sustentables/productos-sostenibles>
- KlimaOslo. (20 de Junio de 2019a). *Electric excavator mean Zero-emissions construction sites*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/2019/06/20/emissions-free-construction-site/>
- KlimaOslo. (7 de Noviembre de 2019b). *Electric excavators may become the norm in Oslo*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/2019/11/07/electric-excavators-in-oslo/>
- KlimaOslo. (24 de Febrero de 2022a). *Accelerating the transition to an emission-free construction process*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/2022/02/24/accelerating-the-transition-to-emission-free-construction/>
- KlimaOslo. (2022b). *Impact assessment of zero emission building processes in Oslo*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/article/executive-summary-zero-emission-building/>
- KlimaOslo. (12 de Enero de 2022c). *The making of zero-emission construction sites*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/2022/01/12/zero-emission-construction-sites-with-electrical-machines/>
- KlimaOslo. (15 de Septiembre de 2023). *The City of Oslo's emissions continue to drop*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/2022/06/03/the-city-of-oslos-emissions-continue-to-drop/>
- Kobelco. (2023). *Tecnología Híbrida*. Obtenido de <https://kobelco-usa.com/es/excavators/innovation>
- Komatsu. (2021). *Komatsu anuncia una alianza colaborativa con clientes para avanzar en soluciones de equipos de cero emisiones*. Obtenido de <https://www.komatsulatinamerica.com/colombia/komatsu-anuncia-una-alianza-colaborativa-con-clientes-para-avanzar-en-soluciones-de-equipos-de-cero-emisiones/>
- Komatsu. (2023a). *Conoce la tecnología TIER IV de la mano de Komatsu Colombia*. Obtenido de <https://www.komatsulatinamerica.com/colombia/conoce-la-tecnologia-tier-4-de-la-mano-de-komatsu-colombia/>
- Komatsu. (2023b). *Komatsu operación Latinoamérica*. Obtenido de <https://www.komatsulatinamerica.com/colombia/nuestra-empresa/komatsu-latinoamerica/>
- Komatsu. (s.f.). *Tienda Virtual Komatsu Colombia*. Obtenido de <https://www.tienda.komatsu.com.co/>

- KUBOTA. (2022). *Internal EGR*. Obtenido de <https://discovery.engine.kubota.com/dictionary/191/>
- LEED Colombia. (s.f.). *Sello LEED*. Obtenido de <https://www.bing.com/search?q=+LA+CERTIFICACI%C3%93N+LEED+EN+COLOMBIA+SE+RENUUEVA%3F&qsn&form=QBRE&sp=-1&lq=0&pq=+la+certificaci%C3%B3n+leed+en+colombia+se+renueva&sc=10-45&sk=&cvid=23FE6C4CE6F24633A2B86A39850E7976&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=>
- Legiscomex. (2023). *Zonas francas*. Obtenido de https://www.legiscomex.com/Documentos/definicion_zonasfrancas
- MADS & COSUDE. (2022). *Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso fuera de carretera en Colombia. Enfoque sobre maquinaria de construcción, minería, industrial y agrícola*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/INVENTARIO-DE-EMISIONES-DE-FMFC.pdf>
- MADS. (2010). *Política de prevención y control de la calidad del aire*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Politica_de_Prevenccion_y_Control_de_la_Contaminacion_del_Aire.pdf
- MADS. (2012). *Criterios ambientales para diseño y construcción de edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Cartilla_Criterios_Ambientales_Disenio_y_Construccion_de_Vivienda_Urbana.pdf
- MADS. (2017a). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf
- MADS. (2017b). *Resolución 2254 de 2017*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>
- MADS. (2020a). *ANÁLISIS DE IMPACTO NORMATIVO Emisiones generadas por fuentes móviles Análisis de Impacto Normativo Final*. Obtenido de <https://www.andi.com.co/Uploads/AIN-norma-emisiones-fuentes-moviles-minambiente.pdf>
- MADS. (2020b). *¿En qué consiste la construcción sostenible?* Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/#:~:text=Es%20un%20proceso%20hol%C3%ADstico%20que,y%20procesos%20de%20operaci%C3%B3n%20y>
- MADS. (2022). *Resolución 0762 de 2022. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- Maquinarias pesadas. (2019). *Curso mantenimiento 250, 500 y 1000 horas D275AX-5*. Obtenido de <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/1867-curso-mantenimiento-cada-250-500-1000-horas-bulldozer-d275ax5-komatsu>

- MINCIT. (s.f.). *¿Cuáles son los beneficios de las zonas francas?* Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/servicio-ciudadano/preguntas-frecuentes/mipymes/cuales-son-los-beneficios-de-las-zonas-francas>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2012). *Circular 047 Decreto 2261 de 2012*. Obtenido de Ministerio de Comercio, Industria y Turismo: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/76459d72-fc64-40e2-91eb-9368a3b1fd6e/Circular-047-de-2012-Decreto-2261-de-2012-Medidas.aspx>
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (15 de 12 de 2023). *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo*. Obtenido de Licencia de excavación en Bogotá: <https://www.colombiaagil.gov.co/tramites/intervenciones/licencia-de-excavacion-en-bogota>
- Ministerio de Energía. (2022). *Estrategia Nacional de Electro-movilidad*. Obtenido de <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3773#:~:text=El%20objetivo%20de%20la%20Estrategia,la%20electromovilidad%20en%20el%20pa%C3%ADs>.
- Ministerio de Medio Ambiente de Chile. (2021). *Decreto 39 de 2020 que Establece Norma de Emisión para Maquinarias Móviles*. Obtenido de https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2021/proyectos/Publicacion_DO_MFR.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PAI-PROURE)*. Obtenido de UPME: https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PROURE/Documento_PROURE_2022-2030_v4.pdf
- Ministerio de Transporte. (2012). *Resolución 0012335 de 2012*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/604808/1818.pdf/f7a460ed-00f6-410f-bc4e-21428db7c47e>
- Mobility Work. (2023). *Los 5 niveles de mantenimiento preventivo y correctivo*. Obtenido de <https://mobility-work.com/es/blog/niveles-mantenimiento-correctivo-preventivo/>
- Moto Mart S.A. (2023). *Conozca Moto Mart S.A.* Obtenido de <https://www.motomart.com.co/empresa/>
- Nasta. (2019). *Zero emission construction machinery*. Obtenido de <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/zero-emissionconstruction-machinery/>
- Navitrans. (s.f.). *¿Quiénes somos?* Obtenido de <https://www.navitrans.com.co/nosotros/>
- OHL. (2021). *OHL se adjudica en Colombia contratos que superan los 61 millones de euros*. Obtenido de <https://ohla-group.com/ohl-se-adjudica-en-colombia-contratos-que-superan-los-61-millones-de-euros/>
- OMS. (2016). *Calidad del aire (exterior y salud)*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- One Park Finacial. (2022). *Los 10 mejores fabricantes de maquinaria de construcción*. Obtenido de <https://www.oneparkfinacial.com/es/articulos/fabricantes-de-maquinaria-pesada-de-construccion-en-estados-unidos>

- OVACEN. (2017). *Tipos de maquinaria construcción u obras y ejemplos*. Obtenido de <https://ovacen.com/tipos-maquinaria-construccion-obras/>
- Pachón , J. (2018). *La experiencia de Bogotá*. In X. Querol (Ed.), *La Calidad del aire en las ciudades: un reto mundial* (p. 302). Fundación Gas Natural Fenosa. Obtenido de <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Pardo F. (2018). *Determinación del nivel de actividad y emisiones contaminantes producidas por maquinaria fuera de ruta en Chile*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42452/3560902038715UTFSM.pdf>
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2001). *Directiva 97/68/CE del parlamento Europeo y del consejo del 16 de diciembre de 1997*.
- Parlamento Europeo y del consejo. (2004). *Directiva 2004/26/CE*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:225:0003:0107:ES:PDF>
- Pavimentos Colombia. (2023). *Quiénes somos*. Obtenido de <https://pavimentoscolombia.com/es/quienes-somos/>
- Pavimentos Colombia. (s.f.). *Transmilenio Avenida 69- Grupo 4*. Obtenido de <https://pavimentoscolombia.com/es/portfolio/transmilenio-avenida-68-grupo-4/>
- Procolombia. (2019). *¿Qué es una zona franca?* Obtenido de <https://www.colombiatrade.com.co/contacto/preguntas-frecuentes/que-es-una-zona-franca>
- Protool Reviews. (s.f.). *What is EFI? Understanding electronic fuel injection's benefits*. Obtenido de <https://www.protoolreviews.com/what-is-efi-and-its-benefits/>
- Purexhaust. (2017). *Norma de emisión de la UE y EE.UU. para motores diésel en maquinaria fuera de ruta*. Obtenido de <https://purexhaust.com/noticias/normas-emision-la-ue-ee-uu-motores-diesel-maquinaria-ruta/>
- Ramirez, V. (2007). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/vicente/Docencia/EvaProyectos.pdf>
- Recanpri S.L. Recambios de maquinaria. (2021). *Cómo hacer el mantenimiento de la maquinaria pesada*. Obtenido de <https://www.recambiosdemaquinariaop.com/mantenimiento-maquinaria-pesada/>
- RENTSOL. (2023). *Alquiler de máquinas*. Obtenido de <https://www.rentsol.com.co/>
- RHEINMENTALL. (s.f.). *Alojamiento en máquinas hincapilotes y perforadoras*. Obtenido de <https://www.permaglride.com/es/cojinetes/ejemplos-de-aplicacion/maquinas-hincapilotes-y-perforadoras>
- RO-DES. (2014). *¿Qué es una valvula EGR, cómo es su funcionamiento y qué tipos existen?* Obtenido de <https://www.ro-des.com/mecanica/valvula-egr-tipos-y-funcionamiento/>
- Rojas Suarez, G. D., & Cuervo Galindo, C. A. (2020). *MODELO DE GESTIÓN DE LA MAQUINARIA EN PROYECTOS VIALES BASADO EN LA FILOSOFÍA LEAN MANAGEMENT*. 22.
- Ruiz. J. (2010). *Efectos fiscales asociados a la importación temporal*. Obtenido de https://xperta.legis.co/visor/rimpuestos/rimpuestos_90df2297b93e0042e0430a0101510042

- RYLSA. (2023). *Nosotros*. Obtenido de <https://rylsa.com.co/>
- Salud, S.-S. (2019). *Carga de enfermedad atribuible a la contaminación extramural e intramural del aire en Bogotá. Boletín Epidemiológico Distrital, 16(1), 2–27*. Obtenido de <http://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/2019/09/09/boletin-epidemiologico-distrital/>
- Santos K, K. (2020). *Análisis de las operaciones de compraventa en las que intervienen usuarios de zona franca. El caso del IVA*. Obtenido de Revista de Derecho Fiscal Universidad Externado de Colombia: https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/fiscal/article/view/5413/9291#content/cross_reference_18
- SANY. (2023). *Nosotros*. Obtenido de <https://www.sanycolombia.com/nosotros>
- SBA. (2023a). *504 loans*. Obtenido de <https://www.sba.gov/funding-programs/loans/504-loans>
- SBA. (2023b). *Loans*. Obtenido de <https://www.sba.gov/funding-programs/loans>
- SDA. (2018). *Inventario de emisiones de Bogotá Contaminantes atmosféricos*. Obtenido de <https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/397082/Inventario+de+Emisiones+de+Bogota+portal+nuevo.pdf/972994eb-7f58-42c2-a801-0f8579937919>
- SDA. (2020). *Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos*. Obtenido de [https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/sitp-redujo-emisiones-de-pm#:~:text=La%20ciudad%20actualiz%C3%B3%20el%20inventario,t\)%20de%20PM%2C%20respectivamente.](https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/sitp-redujo-emisiones-de-pm#:~:text=La%20ciudad%20actualiz%C3%B3%20el%20inventario,t)%20de%20PM%2C%20respectivamente.)
- SDA. (2021). *Plan estratégico para la gestión integral de la calidad del aire de Bogotá 2030*. Obtenido de <https://www.ambientebogota.gov.co/plan-aire-2030#:~:text=El%20Plan%20Aire%20es%20la,puedan%20respirar%20un%20aire%20mejor.>
- SDA. (2022). *Informe de seguimiento al Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá – Plan Aire 2030 2022- I*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/2023/01/Anexo-1.-version-extendida-Informe-seguimiento-Plan-Aire-2022-I.pdf>
- SDA. (2023a). *Decreto 492 de 2023*. Obtenido de Alcaldía de Bogotá: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=150340>
- SDA. (2023b). *Política pública de acción climática 2023-2050*. Obtenido de https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/doc_conpes_31_pp_aclimatica.pdf
- SDA. (2023c). *Informe de seguimiento al Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá – Plan Aire 2030 2022-II*. Obtenido de <https://oab.ambientebogota.gov.co/wp-content/uploads/2023/03/Anexo-1.-Version-extendida-Informe-semestral-2022-II.pdf>
- SDGE. (2022). *Clean transportation programs*. Obtenido de <https://www.sdapcd.org/content/dam/sdapcd/documents/capp/meetings/portside-csc/021522/V-SDGE-Clean-Trans-Programs.pdf>

- SEALAND Turbo-Diesel Asia . (s.f.). *¿Qué son los inyectores unitarios electrónicos y cómo funcionan?* . Obtenido de <https://www.slturbodiesel.com/what-are-electronic-unit-injectors-and-how-do-they-work/>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2021). *Presentan Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ProAire ZMVM) 2021-2030*. Obtenido de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/presentan-programa-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire-de-la-zo>
- SECSA. (2017). *Mantenimiento sugerido para una excavadora*. Obtenido de <https://ventamaquinaria.mx/mantenimiento-sugerido-una-excavadora/>
- SiempreAuto. (2022). *Qué es la inyección directa en los autos*. Obtenido de <https://siempreauto.com/que-es-la-inyeccion-directa-en-los-autos/>
- SINTEF. (2022). *Impact assessment of zero emission building processes in Oslo*. Obtenido de <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2995817>
- SK RENTAL. (s.f.). *Conozcanos*. Obtenido de <https://www.skrental.com/Colombia/webapp/estaticos/skrental>
- Soletanche Bachy Colombia . (2021). *Política medio ambiental de Soletanche Bachy Colombia*. Obtenido de <https://soletanche-bachy.com.co/somos-sbc/>
- Spectra Premium. (s.f.). *Refrigerados de carga del aire*. Obtenido de <https://www.spectrapremium.com/es/aftermarket/north-america/charge-air-cooler>
- Superbid Exchange . (2023). *Quienes Somos* . Obtenido de <https://www.superbid.com.co/quem-somos>
- Talleres y respuestos. (2015). *Que es la inyección mecánica de combustible diésel y cómo funciona la inyección mecánica de combustible diésel*. Obtenido de <https://talleresyrespuestos.com/documentacion-tecnica/inyeccion-electronica-de-combustible/589-que-es-la-inyeccion-mecanica-de-combustible-diese>
- Testbook. (2023). *Fuel injection System- know functions, components, working, types and applications*. Obtenido de <https://testbook.com/mechanical-engineering/fuel-injection-system-definition-types-uses#:~:text=A%20fuel%20injection%20system%20consists,for%20combustion%20in%20the%20engi>
- The Agency for Improvement and Development. (2019). *Climate and environmental requirements for the City of Oslo's construction sites Version 1.0*. Obtenido de <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2019/11/Climate-and-enviromental-requirements.pdf>
- TRACSA The Rental Store. (s.f.). *AUTOHORMIGONERA DIECI L4700*. Obtenido de <https://rentalstore.tracsa.com.mx/equipo-en-renta/autohormigonera/l4700>
- TransporPolicy. (2018). *EU: NONROAD: EMISSIONS*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10024CN.PDF?Dockey=P10024CN.PDF>
- TU MAQUINARIA. (s.f.). *Conoce todo sobre nosotros* . Obtenido de <https://tumaquinaria.com.co/por-que-nosotros/>
- UMV. (2022). *CONTRATO PARA LA EJECUCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS Y MUROS GAVIONES PARA EL PROYECTO " MEJORAMIENTO DE VÍAS TERCARIAS EN*

- BOGOTÁ", DEL SISTEMA GENERAL DE REGALÍAS*. Obtenido de Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial: <https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.2353461&isFromPublicArea=True&isModal=False>
- UMV. (2023). *COMPRA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS INTERVENCIONES DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL, POR GRUPOS. PROYECTO 7858 METAS 1, 2, 4 y 5*. Obtenido de Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial: <https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/OpportunityDetail/Index?noticeUID=CO1.NTC.4924206&isFromPublicArea=True&isModal=true&asPopupView=true>
- United Rental. (s.f.). *6,000 lb. Telehandler, 15-34 ft., Variable*. Obtenido de <https://es.unitedrentals.com/marketplace/equipment/forklifts/telehandlers/6000-lb-telehandler-15-34-ft-variable>
- Universidad Autónoma de Zacatecas. (2021). *LA NORMATIVA DE EMISIONES EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ EN EL CONTEXTO DE LA SUSTENTABILIDAD: UN COMPARATIVO ENTRE MÉXICO Y EL PRIMER MUNDO*. . México.
- Universidad Nacional de Ingeniería. (2008). *Trabajo de explicación en obras viales*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/equipos-de-construccion-en-obras-viales.pdf>
- U.S. EPA. (2010). *Median life, Annual activity, and local factor values for Nonroad engine emisiones modeling*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/P100058Z.PNG?-r+75+g+7+D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C00THRU05%5CTIFF%5C00001079%5CP100058Z.TIF>
- US- EPA. (2023). *Basic information about the emission standards reference guide for on-road and nonroad vehicles and engines*. Obtenido de <https://www.epa.gov/emission-standards-reference-guide/basic-information-about-emission-standards-reference-guide-road>
- US-EPA. (2004). *Clean Air Nonroad Diesel Rule*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10001RN.PDF?Dockey=P10001RN.PDF>
- US-EPA. (2007). *Diesel Retrofit Technology: An Analysis of the Cost-Effectiveness of Reducing Particulate Matter and Nitrogen Oxides Emissions from Heavy-Duty Nonroad Diesel Engines Through Retrofits*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P10023OA.txt?ZyActionD=ZyDocument&C>
- US-EPA. (2008). *Regulatory Impact Analysis: Control of Emissions of Air Pollution from Locomotive Engines and Marine Compression Ignition Engines Less than 30 Liters Per Cylinder*. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10024CN.PDF?Dockey=P10024CN.PDF>
- US-EPA. (2022). *Clean Heavy-Duty Vehicle Program*. Obtenido de <https://www.epa.gov/inflation-reduction-act/clean-heavy-duty-vehicle-program>
- WHO. (2023). *Air pollution: The invisible health threat*. Obtenido de <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/air-pollution--the-invisible-health-threat>

World Green Building Council. (s.f.). *The Net Zero Carbon Buildings Commitment*. Obtenido de <https://worldgbc.org/thecommitment/>

YARA . (s.f.). *¿Qué es el AdBlue®?* Obtenido de <https://www.yara.com.co/productos-quimicos-nitrogenados-y-soluciones-medioambientales/adblue-para-automotriz/#:~:text=El%20AdBlue%20convierte%20el%20NOx,atmosf%C3%A9rica%20en%20los%20centros%20urbanos.>

Zamora, E. (2021). *Desarrollo de un modelo para catalizadores de oxidación bicapa*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/173727>

Es un Programa de:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE**

calac@swisscontact.org.pe

www.programacalac.com

Facebook: @CALACplus

Twitter: @Calacplus

Ejecutado por:



Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7,

Miraflores

Lima 15073, Perú,

Teléfonos: +51 (0)1 500 5075

www.swisscontact.org