



SISTEMATIZACIÓN DE LA OFERTA TECNOLÓGICA PARA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA DE CERO EMISIONES



Versión: diciembre 2022

Sistematización de la Oferta Tecnológica para Maquinaria Móvil No de Carretera de Cero Emisiones

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 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:
Hill Consulting SAS

Revisado por:

Helberth Santiago Morales Pinilla
Coordinador Non-Road CALAC+

Adrián Montalvo Balarezo
Director Programa CALAC+

Imagen de portada: Hill Consulting SAS | Bogotá, Colombia

Edición diciembre 2022

Este documento, elaborado por Hill Consulting para CALAC+ y cualquier otro material producto del contrato suscrito son de propiedad exclusiva de CALAC+.

LOS TEXTOS PUEDEN SER MENCIONADOS TOTAL O PARCIALMENTE CITANDO LA FUENTE

Glosario

Maquinaria móvil no de carretera: a nivel internacional se utilizan diferentes criterios para definir qué equipos se clasifican como maquinaria móvil no de carretera (MMNC). Para este trabajo se adopta la definición de la Unión Europea (Regulación EU No. 2016/1628)¹: Maquina móvil no de carretera 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.

Maquinaria cero emisiones: el término cero emisiones hace referencia a maquinaria que en su operación no emite ningún contaminante atmosférico como consecuencia de un proceso de combustión. Únicamente las tecnologías 100% eléctricas y a hidrógeno² cumplen con esta característica. Nota: Para efectos prácticos, en este documento se han incluido maquinaria híbrida como se define a continuación.

Maquinaria híbrida: las tecnologías híbridas combinan dos fuentes de energía. Las más comunes son las que mezclan para su operación el uso de electricidad con uso de combustibles fósiles.

Algunas tecnologías híbridas cuentan con baterías eléctricas y tienen un generador eléctrico que permite cargar las baterías cuando se agotan durante el funcionamiento de la maquinaria. En este caso el motor de combustión externa únicamente tiene como finalidad recargar las baterías.

Otras tecnologías híbridas permiten que la maquinaria opere en algunos intervalos con una fuente de electricidad y cuando no está disponible la fuente de electricidad permite que la maquinaria opere con diésel.

Combustibles fósiles: son una fuente no renovable de energía, debido a su origen contienen grandes cantidades de carbono. Su uso como fuente de energía es la principal causa antropogénica de la emisión de contaminantes atmosférico y gases efecto invernadero (GEI), causantes del cambio climático. Son combustibles fósiles utilizados por MMNC el diésel, la gasolina y el gas natural.

Combustibles alternativos, no fósiles: existen otras fuentes de energía, diferentes a los combustibles fósiles, que también pueden ser utilizados por MMNC. Estos energéticos se caracterizan por ser renovables y por tener un impacto menor en la emisión de GEI, respecto a los fósiles. Hacen parte de este grupo la biogasolina y el biodiesel, ambos producidos a partir de material vegetal como el bagazo, el maíz y la palma aceitera.

¹ Regulation EU No. 2016/1628: REGULATION (EU) 2016/1628 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 14 September 2016 on requirements relating to gaseous and particulate pollutant emission limits and type-approval for internal combustion engines for non-road mobile machinery, amending Regulations (EU) No 1024/2012 and (EU) No 167/2013, and amending and repealing Directive 97/68/EC.

² Es pertinente considerar que para que la maquinaria sea una solución de reducción de emisiones de gases efecto invernadero más allá de los sitios de construcción, tendría que hacerse uso de Hidrógeno verde. La disponibilidad de este hidrógeno dependerá de la matriz energética de cada país.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	2
2. Casos de estudio sobre el uso de MMNC cero emisiones	3
2.1. Oslo - Noruega	3
2.2. California - Estados Unidos	5
2.3. Boliden - Suecia	9
2.4. Barcelona - España	11
2.5. Codelco - Chile	13
2.6. Anglo American - Perú	15
2.7. India	16
3. Oferta de MMNC cero emisiones.....	18
4. Instrumentos para promover el uso de MMNC cero emisiones	23
5. Mensajes finales.....	28
Anexos	30
Anexo 1. Matriz de oferta MMNC cero emisiones.	30
Anexo 2. Banco de imágenes MMNC de cero emisiones.	37
Anexo 3. Fichas técnicas MMNC cero emisiones.	53
Anexo 4. Revisión de casos de uso de MMNC e instrumentos.	53
Referencias	54

1. Introducción

El estudio que se presenta en este documento se desarrolló en el marco del programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina (CALAC+), ejecutado por Swisscontact y financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). En la **Sección 2** se presentan diferentes casos de estudio a nivel internacional sobre el uso de Maquinaria Móvil No de Carretera (MMNC) cero emisiones. A través de los casos se presentan algunas de las principales barreras existentes para el uso de estas tecnologías, se exponen diferentes alternativas que se han utilizado para viabilizar los proyectos y se presentan las ventajas identificadas por los usuarios de la MMNC cero emisiones.

En la **Sección 3** se expone el resultado de la identificación de la oferta comercial de la MMNC cero emisiones. En este ejercicio se hizo una recopilación de información por casas matrices a nivel internacional, según líneas de maquinaria disponibles para los diferentes sectores, y considerando la oferta en tecnologías de ultra bajas emisiones y cero emisiones existentes. Se presentan los resultados de la oferta tecnológica en función de diferentes características como sectores de uso final de la maquinaria y tamaño de la maquinaria disponible. También se presenta información sobre la maquinaria cero emisiones que está en fase de desarrollo.

En la **Sección 4** se hace un recuento de diferentes tipos de instrumentos que se han utilizado a nivel internacional para promover el uso de MMNC cero emisiones. Esta sección pretende dar a conocer algunas de las alternativas que podrían ser consideradas para acelerar la conversión tecnológica de la MMNC en la región de América Latina.

En la **Sección 5** se presentan los mensajes finales de la revisión realizada sobre la oferta de MMNC de cero emisiones, casos de uso de la maquinaria y acerca de los instrumentos identificados a nivel global para incentivar el uso de MMNC cero emisiones.

Hacen parte de los resultados de este estudio cuatro anexos. En el **Anexo 1** se presenta una matriz con la oferta tecnológica de MMNC cero emisiones, el **Anexo 2** es el banco de imágenes correspondiente a la MMNC referenciada en el Anexo 1, y el **Anexo 3** es la recopilación de las fichas técnicas. En el **Anexo 4** se muestra una tabla resumen de los casos de estudio de los diferentes países organizados por criterios de interés.

2. Casos de estudio sobre el uso de MMNC cero emisiones

En esta sección se presenta una revisión de experiencias internacionales en la implementación y desarrollo de maquinaria móvil no de carretera (MMNC) cero emisiones. A partir de esta revisión se busca identificar barreras, ventajas y oportunidades en la implementación de MMNC en diferentes contextos.

En la revisión de los casos se buscó identificar cuáles son los elementos y diferentes enfoques que se han venido utilizando a nivel global para habilitar y promover el uso de MMNC de cero emisiones. Se abordan siete casos de estudio pioneros en la implementación de MMNC cero emisiones a nivel global, tres de ellos en Latinoamérica. Estas referencias en uso de MMNC cero emisiones permiten identificar algunas de las condiciones propicias para la introducción y masificación de nuevas tecnologías con menores cargas en emisiones atmosféricas.

En la Tabla 1 se resumen los criterios técnicos de la maquinaria reportados en los casos de estudio.

Tabla 1. Resumen de criterios seleccionados para la revisión de los casos de estudio.

País del caso de estudio	Sector de uso final de la MMNC cero emisiones	¿Se reporta información sobre los siguientes aspectos?				
		Infraestructura de carga	Modelos	Potencia	Retos	Ventajas
Noruega	Construcción	✓	✓		✓	✓
California	Transversal		✓	✓	✓	
Suecia	Minería	✓	✓	✓	✓	✓
Barcelona	Construcción	✓	✓		✓	✓
Chile	Minería		✓	✓		
Perú	Minería	✓	✓	✓	✓	✓
India	Agricultura		✓	✓	✓	

Fuente: Elaboración propia.

2.1. Oslo - Noruega

El compromiso de reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de Noruega es lograr en 2030 un nivel de emisiones un 55% por debajo de las emisiones de 1990. 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% con respecto a 1990 (UNFCCC, 2020).

En la ciudad de Oslo se están desarrollando diferentes proyectos para reducir las emisiones del sector de construcción, el cual es responsable del 7% de las emisiones totales de GEI de la ciudad. En 2017 se inició la transición energética del sector utilizando biocombustibles sostenibles. Sin embargo, dado que esto no era una solución para otros impactos como la contaminación del aire y el ruido; posteriormente, la ciudad se enfocó en la implementación de maquinaria eléctrica como parte de las intervenciones para lograr zonas cero emisiones (Nasta, 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, 2019a).

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, 2019a).

En septiembre del 2019, comenzó a funcionar la primera obra de construcción con maquinaria cero emisiones, utilizando únicamente maquinaria eléctrica (ver Figura 1). En la Calle Olav Vs y la Calle Klingenberg se utilizó un prototipo de la ZERON ZE85 eléctrica de 9 toneladas con batería, junto con una excavadora eléctrica ZERON ZE160LC de 17.5 toneladas con baterías y cable, la primera en utilizar completamente el sistema de gestión de energía *PeakShaver*. *PeakShaver* es un sistema para gestionar los picos de demanda y permite operar la maquinaria a su máxima capacidad con una fuente de alimentación de electricidad convencional (Nasta, 2022c; The Explorer, 2022).

Se podría decir que en la medida en que se fue identificando el tipo de MMNC necesaria para la obra, se fueron electrificando prototipos para poder hacer el piloto en los casos en que la maquinaria cero emisiones no estuviera comercialmente disponible (CALAC+, 2022). Nasta, fue un aliado importante por su experiencia en el desarrollo y reconversión de maquinaria de construcción con motor de combustión interna para su funcionamiento eléctrico. El procedimiento de conversión incluía reequipar el vehículo diésel existente con nuevos componentes de cadena cinemática que utilizaban motores y accionamientos eléctricos para sustituir al motor de combustión. Esta nueva cadena cinemática incluía un sistema de almacenamiento de energía y una solución de carga en lugar del depósito de combustible (CALAC+, 2022).



Figura 1. Sitio de construcción de emisiones cero en el centro de Oslo.

Fuente: (Construcción Latinoamericana, 2022).

El proyecto piloto de construcción con maquinaria eléctrica duró un año. Se evidenciaron mejoras significativas en cuanto a la generación de ruido y emisiones atmosféricas de gases y material particulado. Según los operarios las máquinas eléctricas funcionaron de manera equivalente a la maquinaria que opera con diésel como combustible. Gracias al uso de maquinaria eléctrica para construcción, en el proyecto piloto se ahorraron 35,000 litros de diésel y se evitaron 92,500 kg de dióxido de carbono (CO₂), en comparación con lo que se hubiese generado con el uso de maquinaria convencional. Sin embargo, no todos los procesos se pudieron sustituir por maquinaria eléctrica, como en el caso del proceso de soldadura, en donde se continuó utilizando tecnología convencional a diésel (Nasta, 2020).

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. La solución de ABB para cadenas cinemáticas eléctricas garantiza que la maquinaria resista entornos difíciles, como aquellos con polvo, humedad, fuertes vibraciones y choques. Este desarrollo se ha venido haciendo gracias al apoyo del gobierno y al impulso de las zonas de construcción de cero emisiones, dado que, por esta implementación, la demanda de clientes de la maquinaria cero-emisiones ha aumentado. Nasta reporta que ha emprendido en decenas de proyectos de electrificación, y que la implementación de maquinaria eléctrica ha traído beneficios ambientales. Una excavadora de 24 toneladas suele consumir 18,000 litros de combustible al año, lo que produce un total anual de unas 48 toneladas de emisiones de dióxido de carbono. Tras la actualización, estas emisiones de CO₂ no se producen, ni las de óxidos de azufre (SO_x). Además, los operarios han manifestado que las máquinas eléctricas son mucho más ágiles a la hora de excavar (Nasta, 2022a).

Debido al éxito del proyecto piloto, un objetivo de la Municipalidad es que las obras que ellos realicen 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).

2.2. California - Estados Unidos

La Agencia de Aire Limpio del Gobierno de California (*California Air Resources Board CARB*), a través de Calstart³, tiene el objetivo de fomentar el uso de tecnologías limpias en el mercado de transporte mediante la provisión de servicios relacionados con el desarrollo tecnológico, además de demostraciones, validaciones y evaluaciones que faciliten a los operadores de flota y entes gubernamentales la toma de decisiones e implementación de nuevas tecnologías y políticas en vehículos de ruta y MMNC.

³ Calstart es una organización estadounidense, no gubernamental y sin fines de lucro, que trabaja con empresas privadas y entidades públicas, a nivel nacional e internacional; desarrollando una red que conecta cerca de 300 miembros, de la que hacen parte empresas de tecnología, operadores de tránsito, fabricantes de vehículos, instituciones de investigación y agencias gubernamentales, entre otros actores del sector transporte con el fin de superar las barreras ante los cambios en el uso de tecnología, combustibles y sistemas de transporte limpio (Calstart, 2022a).

La CARB creó el modelo *Beachhead*⁴, el cual busca acelerar el mercado de vehículos comerciales de cero emisiones, enfocándose inicialmente en los sectores más fáciles de electrificar con el fin de generar bases sólidas en la cadena de suministro que permitan un desarrollo posterior en otros sectores que demanden mayores volúmenes, disponibilidad y producción de equipos cero emisiones (Calstart, 2022b). El modelo *Beachhead* inició con la electrificación de elevadores o montacargas ligeros, ganando experiencia en términos de infraestructura, manejo de baterías y almacenamiento de energía. Posteriormente, en un segundo nivel, pasaron al segmento de tractores con aplicación en terminales aéreos y un tercer nivel se ha enfocado en equipos de manipulación de carga media. Actualmente, el programa enfoca su esfuerzo en equipos de manipulación de carga pesada y marítima (Sokolsky, 2022). En la Figura 2 se presenta un esquema del modelo *Beachhead*.



Figura 2. Modelo Beachhead-CALSTAR

Fuente: (Sokolsky, 2022).

Para el modelo *Beachhead* se analizó el costo total de propiedad (que incluye costos de adquisición, operación y mantenimiento) de diferentes tipos de vehículos y MNNC. Se identificó que para equipos convencionales a diésel la mayor parte del costo total está relacionado con el combustible utilizado para su funcionamiento; mientras que, para equipos eléctricos el mayor porcentaje se atribuye al costo de adquisición inicial, siendo esta la barrera más importante que encuentra el sector para la incursión en tecnologías cero emisiones (Sokolsky, 2022).

⁴ De acuerdo con Calstart (2022) el modelo Beachhead hace referencia a una estrategia comercial en la cual se busca ganar una posición inicial segura, que luego se utiliza para lograr un mayor avance (White Paper: The Beachhead Strategy: A Theory of Change for Medium- and Heavy-Duty Commercial Transportation). Así mismo, el Corporate Finance Institute define a la estrategia Beachhead como la estrategia de concentrar los recursos en una pequeña zona del mercado (como una categoría de productos o un segmento de mercado más pequeño) para convertirla en un bastión antes de avanzar hacia el mercado o las categorías de productos más amplios. La estrategia Beachhead permite a una empresa dominar las áreas pequeñas desde las que luego puede entrar y dominar el resto del mercado. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/beachhead-strategy/>

Respondiendo a lo identificado en este análisis y buscando acelerar el mercado y uso de tecnologías limpias, Calstart administra diferentes programas para el estado de California. Entre ellos se encuentra el Programa de incentivos para equipos fuera de ruta de tecnología limpia (CORE por sus siglas en inglés). Este programa ha contado con una inversión de más de mil millones de dólares en incentivos para que los usuarios de MMNC de California compren o arrienden equipos de cero emisiones actualmente disponibles en el mercado (Sokolsky, 2022).

El proceso de aplicación al Programa CORE se realiza a través de una solicitud en el punto de venta. El estado de California trabaja con distribuidores y vendedores de equipos para entregar a los operadores de flota un cupón para reducir el costo inicial del equipo. De esta manera el Programa CORE compensa el mayor costo de adquisición de la tecnología cero emisiones y facilita su entrega en los puntos de venta minimizando los costos de transacción para los usuarios.

Para cumplir con sus objetivos, el programa CORE se rige bajo los siguientes principios (Sokolsky, 2022):

- Mantener la simplicidad y sencillez del proceso, permitiendo acelerar la transformación del mercado para las tecnologías limpias.
- Apoyar la estrategia de inversión a largo plazo en maquinaria pesada de CARB e impulsar las decisiones de compra en las flotas y posicionar los equipos de cero emisiones a la par de equipos convencionales.
- Apoyar las estrategias y esfuerzos reguladores del gobierno.
- Evitar las perturbaciones del mercado causadas por la imprevisible disponibilidad de financiación.
- Apoyar todas las estrategias estatales que impulsen el financiamiento para tecnologías limpias.
- Promover una aceptación total en el mercado de las tecnologías limpias.
- Asegurar un acceso equitativo al programa para pequeños y grandes actores.

La aplicación al programa se realiza mediante unos pasos sencillos, que incluyen seleccionar en el catálogo ofrecido, el equipo que se adapte a las necesidades del usuario y contactar a un distribuidor autorizado; y facilitar al distribuidor la información requerida para realizar la solicitud, y hacer el envío de la solicitud a Calstart y CARB por parte del distribuidor. Luego de esto, la etapa final consiste en la aprobación de la solicitud y la compra de la MMNC utilizando el bono otorgado.

Para el funcionamiento del Programa se han definido las siguientes premisas:

- Cualquier usuario de MMNC en California es elegible para participar en el programa.
- La maquinaria adquirida debe estar domiciliada y ser operada en California durante al menos tres años.
- Los usuarios de la maquinaria deben presentar informes de actividad durante tres años luego de realizar la compra.
- El tamaño de la flota no afecta la posibilidad de acceder a los bonos y los usuarios no tienen límite en el número de bonos que pueden solicitar.

Desde su inicio en el año 2019, el Programa CORE ha avanzado en la oferta de categorías de equipos disponibles. Actualmente se cuenta con las siguientes opciones:

- Tractores de uso en terminales.
- Unidades de transporte para frigoríficos.
- Equipos de manipulación de contenedores.
- Equipos de apoyo en tierra para aeropuertos: MMNC de carga para uso en aeropuertos, remolcadores de aviones de fuselaje ancho.
- Equipos de apoyo ferroviario.
- Unidades móviles de potencia y sistemas móviles de gestión de cables de tierra.

- Equipos de construcción: excavadoras, topadoras, mini cargadoras, cargadoras, retroexcavadoras, equipos de minería y otros tipos de equipos de construcción.
- Equipos de agricultura: equipos de cosecha y tractores agrícolas.
- Embarcaciones portuarias comerciales: barcos de pesca y de excursión, transbordadores, remolcadores, barcos de tripulación y de suministro, barcazas, dragas y otros tipos de embarcaciones.

Es importante mencionar que los bonos para adquisición inicial se establecen de acuerdo con el tamaño del equipo y la cantidad de emisiones que emite la maquinaria homóloga convencional. Se entregan hasta 500,000 dólares para la adquisición de maquinaria de construcción y maquinaria agrícola, entre otras tipologías (Sokolsky, 2022a) (ver Figura 3).



Figura 3. Programa CORE: equipos elegibles y montos financiados.

Fuente: (Sokolsky, 2022).

Durante el periodo 2022-2023 el programa ha trabajado con 26 proveedores, 110 distribuidores y 127 tipos de maquinaria. En este periodo se han entregado 476 bonos, que representan más de 125 millones de dólares, en donde se destaca que un 24.5% ha sido destinado a tractores, 24.5% a maquinaria de construcción y un 10.5% a maquinaria para el sector de agricultura (Sokolsky, 2022) (ver Figura 4).



Figura 4. Resultados Programa CORE 2022-2023

Fuente: (Sokolsky, 2022).

2.3. Boliden - Suecia

Aitik, ubicada en el norte de Suecia, es la mayor mina a cielo abierto de cobre del país. En Aitik se trabaja con algunas de las máquinas más grandes del mundo en jornadas de operación continua (Figura 5). Un camión convencional consume en las operaciones de carga de material de la mina alrededor de un millón de litros de diésel cada año. Boliden se propuso ser pionero en los altos estándares ambientales en operaciones mineras, y una de las estrategias para esto es la electrificación de los camiones.



Figura 5. Operaciones de carga en la mina Aitik.

Fuente: (Streamio, 2022).

Durante el 2018 y 2019 se llevó a cabo un proyecto de electrificación de camiones, en el cual se implementó un piloto con un sistema de asistencia de trole para camiones mineros de accionamiento eléctrico (Figura 6). El proyecto piloto tuvo una duración de dos años. Se electrificaron cuatro camiones 795F AC con una

potencia de 3400 HP (Caterpillar, 2022a) y se pusieron a prueba en una línea trole de 700 metros. Los camiones utilizan electricidad mientras están conectados a la línea de trole y utilizan diésel el resto del tiempo.



Figura 6. Sistema de asistencia de trole Cat para camiones mineros de accionamiento eléctrico.

Fuente: (Streamio, 2022).

Con esta implementación se tenía el objetivo de mitigar emisiones de gases efecto invernadero, reducir costos de combustible y aumentar la velocidad para lograr mayor eficiencia en las operaciones de la mina. Debido a los resultados positivos del proyecto piloto, a finales de 2019 se tomó la decisión de ampliar el proyecto a un total de tres kilómetros del sistema trole, incluido el tramo existente, y equipar diez camiones más con colectores de corriente (Boliden, 2022).

La implementación del sistema de troles redujo significativamente las emisiones producto de los motores a diésel, así como, el gasto de combustible por la sustitución con electricidad durante la parte del proceso más exigente del ciclo de trabajo del camión. Solo con la línea de 700 metros se evita el uso de 800,000 litros de diésel cada año por vehículo. Los conductores perciben mayor comodidad para el trabajo y una reducción importante en los niveles de ruido. Los costos de combustible se han reducido en un 90%. Este sistema de camiones y troles de voltaje fabricados por Caterpillar además brindan ventajas en reducción de costos de capital de infraestructura y mantenimiento de distribución de energía (Boliden, 2022).

La productividad también se ha visto favorecida por la operación de los vehículos. Al operar con asistencia de trole, la velocidad en la pendiente aumenta hasta un 100 por ciento en comparación con el modo cuando solo se utiliza diésel. Usando un trole, un 795F a máxima carga puede alcanzar 28 km/h en una pendiente del 10 por ciento con fuertes condiciones de transporte.

A futuro la expectativa es poder tener camiones 100% eléctricos con sistemas de baterías. Con el sistema actual existe un alto costo de infraestructura de recarga que solo se justifica en partes de la mina en donde se esperan altos periodos de producción. Un reto técnico para los camiones a batería es que se requieren para operación pesada más de 20 horas al día, lo cual hoy en día aún no es viable con las baterías existentes. El sistema actual de trole de Boliden ha despertado interés de parte de múltiples empresas a nivel global que esperan poder implementar soluciones semejantes en sus campos de operación (Boliden, 2022).

2.4.Barcelona - España

La ley en Cataluña establece reducir las emisiones de GEI en un 55% para el 2030, en un 65% para el 2040, y finalmente en un 100% para el año 2050 con respecto a los niveles del año 1990 (Parlamento Europeo en Barcelona, 2022).

Un caso de referencia en mitigación de emisiones GEI ha sido la implementación de una prueba piloto, a partir de la colaboración público-privada entre el ayuntamiento de Barcelona y Aigües de Barcelona junto con Sorigué y Germans Homs, para utilizar maquinaria eléctrica en las obras de renovación de la red de distribución de agua en Barcelona. Además de la mitigación de emisiones GEI, también han sido objetivos de este piloto la reducción de emisiones de contaminantes locales y del ruido en las obras de la ciudad. Como parte del piloto se analizaron impactos en emisiones locales y globales, consumos energéticos, costos, viabilidad, impactos y eficiencia de la maquinaria, comparando la MMNC convencional respecto a la MMNC cero emisiones (Valdéz, 2022).

El piloto realizado tuvo cobertura en la calle Balmes durante el mes de julio 2022 y posteriormente en la avenida Esplugues en el mes de agosto del mismo año (ver Figura 7). Este tuvo una duración de cinco semanas, en las cuales se desarrolló un experimento de comparación entre la ejecución de las mismas labores mediante el uso de MMNC convencional a diésel y MMNC eléctrica (Valdéz, 2022) (ver Figura 8).



Figura 7. Maquinaria eléctrica utilizada en el piloto en implementación de maquinaria eléctrica en Barcelona fabricada por WackerNeuson.

Fuente: (Wackerneuson, 2022).

Cuadro Sinóptico Maquinaria ZERO EMISSION					
	Psúa (Rammer)	Bonleja Víbrolara (Vibrating Shaft)	Cargalora ruelas (Wheel Loader)	Dumper	Excavator
Modelo	AP1840e	KS30e	WL20e (230)	DW15e	EZ17e
Tipo Bateria	Ion-Liño	Ion-Liño	Plomo-ácido	Plomo-ácido	Ion-Liño
Tecnología Baterías	BP1400-NCA	BP1400-NCA	AGM	AGL	NCA
Capacidad Nominal (kWh)	28	28	230	300	500
Tiempo Trabajo	60/45/35 min	80/80/80 min	2-3h	6-8h	5-7h
Tiempo de carga (100%)	390 (120)	350 (120)	6h	7h	4/7,5h
Exchale Carga Standard					
Exchale Carga Opcional					
					

Figura 8. Maquinaria eléctrica utilizada en el piloto de Barcelona.

Fuente: (Valdéz, 2022).

Durante el piloto, la MMNC eléctrica se cargó en los puntos de vehículos eléctricos de Endolla Barcelona. El punto utilizado para carga de la maquinaria del piloto era un punto disponible para motocicletas y por esta razón, este punto contaba con baja potencia. Como solución a la disponibilidad de potencia, se utilizó una batería complementaria la cual se recargaba en el mismo punto de recarga de motocicletas (Valdéz, 2022).

Los implementadores del piloto identificaron los siguientes puntos como los principales (Valdéz, 2022):

- Ausencia de un mercado local en Cataluña de maquinaria eléctrica, por lo cual, la maquinaria no está disponible de forma inmediata.
- Altos precios de adquisición de la MMNC eléctrica, como consecuencia de la baja oferta. Los implementadores perciben que los precios del mercado de esta maquinaria no son competitivos.
- La maquinaria eléctrica de menor tamaño cuenta con autonomía de carga por la implementación de baterías. La maquinaria de mayor escala depende de puntos de carga cercanos a la zona de implementación de los proyectos piloto.
- El fabricante proveedor de la maquinaria eléctrica para los proyectos piloto fue la empresa alemana WackerNeuson, quienes aportaron esta maquinaria a Germans Homs, una empresa dedicada al alquiler de maquinaria en Barcelona (Figura 7). Una barrera adicional que se identificó es que no existe normativa que establezca la necesidad, viabilidad y promoción del uso de maquinaria cero emisiones. De acuerdo con los implementadores esta situación influye en los altos precios de la maquinaria eléctrica comercialmente disponible. La maquinaria eléctrica es en promedio entre un 30% y 70% más costosa que su homóloga a diésel (Valdéz, 2022).

Como primeras conclusiones del proyecto piloto, los operarios reportaron que el rendimiento de la maquinaria eléctrica es prácticamente igual al de la maquinaria convencional que opera con diésel. Percibieron ventajas significativas en la reducción del ruido con la maquinaria eléctrica, respecto a la convencional. Además, las condiciones de trabajo mejoraron por la reducción en el calor que generan las

máquinas al pasar de las convencionales a las eléctricas. Con las mediciones monitoreadas por sonómetros, no se encontró diferencia significativa en los niveles de ruido emitidos por la obra, sin embargo, los investigadores reportan que este resultado es debido a que el ruido emitido era natural de la actividad de la obra y no de la emisión de la maquinaria. El proyecto piloto evidenció que la maquinaria eléctrica consume 10 veces menos energía respecto a la convencional. Finalmente, los indicadores de las emisiones de CO₂ y material particulado mejoraron notablemente con la implementación de maquinaria eléctrica (Valdéz, 2022).

Los principales actores de la implementación del proyecto piloto contemplan entregar un Protocolo de Conexiones de maquinaria eléctrica para las distintas infraestructuras energéticas existentes para así incentivar el mercado y despliegue de estas nuevas tecnologías (Valdéz, 2022).

De este caso es interesante resaltar que la selección del proyecto piloto y del subsector de la construcción en donde se realizó el proyecto, se hizo en función de la disponibilidad comercial de la maquinaria. Es decir, se analizó cuál era el tipo de obra en la que se podía hacer el piloto según la maquinaria eléctrica disponible en Barcelona (Valdéz, 2022).

2.5.Codelco - Chile

Chile está liderando en Latinoamérica el despliegue de normativas y estrategias para cumplir los objetivos de la agenda climática. El país 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, principal productora de cobre del mundo, cuenta con un plan de descarbonización para sus operaciones al 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, 2022b).

En su *División El Teniente* en abril de 2019 se implementó el primer camión híbrido de la industria minera a nivel global como un piloto antes de su despliegue a nivel internacional. El equipo de carga transporte y descarga mineral, fabricado por Komatsu, opera de manera híbrida, con sistema de mando eléctrico y diésel para la generación de fuerza motriz. Se le atribuye un aumento de la productividad de la maquinaria entre un 10% y 20% respecto a las convencionales, beneficios por reducción del 30% en costos de operación, y 25% de reducción en los costos de los combustibles, emisiones y ruido. Adicionalmente, este equipo tiene entre 10% y 20% de mayor confiabilidad y disponibilidad, por su mayor vida útil y por la facilidad de reemplazo de los componentes (Codelco, 2019a).

En *El Teniente* también se empezó a operar un elevador 100% eléctrico de tipo tijera para uso en el interior de la mina. Los costos de operación de este equipo se redujeron en un 70% en comparación con la versión diésel, se redujo el 70% del ruido respecto a la versión diésel, se evitó el 100% del consumo de combustibles y emisiones GEI, y se generó una reducción entre el 80% y 90% en la generación de calor (Codelco, 2019a).

En el 2022, en esta misma división, Codelco y Epiroc iniciaron una prueba piloto del primer cargador subterráneo 100% eléctrico (Figura 9), este logro fue facilitado por la articulación del sector estatal y privado. Con una capacidad de 14 toneladas, el equipo LHD modelo Scooptram ST14 Battery, fabricado por la multinacional sueca, fue estrenado en la mina Diablo Regimiento. Con este equipo se logró la mitigación de 433 toneladas de GEI en un año de operación. Se logró una reducción del 60% de costos de mantenimiento y del 100% en las emisiones directas de gases de efecto invernadero, dada la reducción de gases y calor emitidas por los equipos. Adicionalmente, se presentó una reducción significativa en vibraciones y ruido, generando un entorno de trabajo más saludable (Codelco, 2022a).



Figura 9. El cargador eléctrico en una demostración de operación en la actividad minera.

Fuente: (Codelco, 2022a).

En cuanto a la estrategia de electrificación de la flota, se han implementado buses eléctricos para transportar a los trabajadores de las diferentes divisiones de Codelco. Los proyectos piloto iniciaron desde 2019 y en 2022 se esperaba el inicio de 155 buses eléctricos, la mayor flota eléctrica de la compañía. La flota eléctrica representa el 30% del total de buses de transporte del personal de la empresa minera (ver Figura 10). Más de 100 buses serán de fabricación local por la empresa Reborn Electric Motors (REM) en la región de Rancagua, reafirmando que el proyecto de descarbonización de Codelco tiene un fuerte componente de innovación y de desarrollo local de capital humano (Codelco, 2022b).



Figura 10. Flota de buses eléctricos en Codelco.

Fuente: (Codelco, 2022b).

2.6. Anglo American - Perú

En la región de Moquegua al sur del Perú se ubica Quellaveco, el segundo yacimiento de cobre más grande a América Latina, y una de las 15 minas con mayor producción a nivel global. Este proyecto está siendo desarrollado por la compañía minera Anglo American en sociedad con la Corporación Mitsubishi (Anglo American, 2022c). Los objetivos en gestión ambiental al 2030 incluyen en mitigación de emisiones GEI reducir en 30% las emisiones netas y mejorar la eficiencia energética en 30% (Anglo American, 2022d).

En 2022 en la mina se contaba con cinco camiones híbridos (diésel + sistema mando eléctrico) Caterpillar 794 AC (Figura 11), con capacidad de carga de 320 toneladas y una potencia de 3500 HP; y se espera alcanzar 27 unidades de este modelo en los próximos años. Este proyecto de electrificación de MMNC está siendo desarrollado con el apoyo de Ferreycorp, empresa peruana representante de la marca Caterpillar la cual además presta asistencia técnica al proyecto (Ferreyros, 2022a).



Figura 11. Camión minero eléctrico.

Fuente: (Ferreyros, 2022a).

Las pruebas realizadas con la flota del modelo Caterpillar 794 AC mostraron alta productividad, disponibilidad de más de 92% y una velocidad de 16 km/h en subida con carga (Ferreyros, 2022a).

Los cinco camiones Caterpillar 794 AC son parte de una flota autónoma se busca expandir en la mina. Con estos se logra un acarreo 100% autónomo, a lo cual se atribuyen mejoras en seguridad, productividad y la optimización del uso de los camiones. Caterpillar a través de la Plataforma *MineStar* permite gestionar la operación autónoma de diferentes tipos de maquinaria y de los camiones (MCoppa, 2021). El sistema de autonomía propuesto por Caterpillar está conformado por la tecnología Cat MineStar, *hardware* habilitado en la maquinaria, procesos de optimización en las minas y gestión del personal (Caterpillar, 2022; Florentini, 2020).

En las minas Antamina, Toquepala y Cuajone, y Cerro verde se implementaron 20 camiones Cat 798 AC, con una potencia de 4,150 HP (Ferreyros, 2022d). El suministro eléctrico de Quellaveco de 185 MW de

capacidad será energía 100% verde, provista por ENGIE desde la futura Central Eólica Punta Lomitas, un parque eólico que se construye en Ocucaje (Ica) (Anglo American, 2022e).

En el Proyecto Quellaveco también se implementó la primera pala eléctrica de cables modelo 7495 Cat (Figura 12). Este es uno de los equipos más grandes que hay en Perú para minería, y su función es cargar los camiones 794 AC durante las operaciones. Este equipo cuenta con un cucharón con capacidad de carga entre 109 y 120 toneladas por cada pase, y con potencia promedio entre 945- 13,322 kW. Uno de los retos fue el ensamblaje de la pala que demandó 40,000 horas hombre de un equipo peruano (Anglo American, 2022g).



Figura 12. Pala minera eléctrica.

Fuente: (Anglo American, 2022g).

Una meta adicional de Anglo American es contar con camiones a hidrógeno circulando en 2030. Estos camiones ofrecen múltiples beneficios, como sus largos recorridos con una sola recarga. Una de las facilidades de desarrollo de estos camiones, es que uno de los materiales principales es el cobre, y este se produce en las mismas minas (Anglo American, 2022a).

2.7. India

India enfrenta uno de los mayores retos a nivel mundial en términos de reducción de emisiones debido a sus altos niveles de contaminación ambiental y al crecimiento de la población. Los niveles de contaminación del aire en el país generan un alto riesgo en la salud de la población. Se estima que para el año 2017 aproximadamente el 78% de la población estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire que exceden el umbral recomendado por los Estándares Nacionales de Calidad del Aire del país ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$) (Balakrishnan et al., 2019). Se atribuye al sector transporte el 9% de las muertes asociadas a los niveles de material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) y ozono (O_3), y dentro de estas se estima que el 19% es atribuible a fuentes móviles MMNC y trenes (Anenberg et al., 2019).

El gobierno de la India cuenta con normativa para regular los niveles de emisión de vehículos particulares, carga y MMNC. Esta regulación es formulada por la Junta Central de Control de Contaminación del Ministerio de Ambiente, Bosques y Cambio Climático y se denomina como estándar de emisiones *Bharat*. En el año 1999 se implementó la primera etapa del estándar de emisiones *Bharat* para MMNC del sector agricultura y en el año 2003 se implementó la primera fase para MMNC del sector de la construcción (Shao,

2016). Actualmente ambos estándares se encuentran en su cuarta fase, y se planea que la quinta etapa entre en operación en el año 2024 (Figura 13).

Engine Power kW	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
		g/kWh				1/2Wh
Trem Stage IV and CEV Stage IV						
37 ≤ P < 56	CEV: 2021.04	5.0	4.7*		0.025	-
56 ≤ P < 130	Trem: 2022.10	5.0	0.19	0.4	0.025	-
130 ≤ P < 560		3.5	0.19	0.4	0.025	-
Trem Stage V and CEV Stage V						
P < 8	2024.04	8.0	7.5*		0.4	-
8 ≤ P < 19		6.6	7.5*		0.4	-
19 ≤ P < 37		5.0	4.7*		0.015	1×10 ¹²
37 ≤ P < 56		5.0	4.7*		0.015	1×10 ¹²
56 ≤ P < 130		5.0	0.19	0.4	0.015	1×10 ¹²
130 ≤ P < 560		3.5	0.19	0.4	0.015	1×10 ¹²
P ≥ 560		3.5	0.19	3.5	0.045	-

Figura 13. Estándares de emisión de MMNC empleados en agricultura (Trem por sus siglas en inglés) y construcción (CEV por sus siglas en inglés).

Fuente: (DieselNet, 2022).

Una de las mayores limitaciones del estándar de MMNC de agricultura, es que a la fecha (etapa IV), se excluyen de la regulación los vehículos de menos de 37 kW, aunque cerca del 78% de la venta de MMNC es maquinaria entre 19 y 37 kW (Bhatt & Shao, 2022). Sin embargo, se espera que esta limitación se supere con la implementación de la fase V, en la cual se regularán vehículos desde 8 kW (ver Figura 13).

Por otra parte, India es el principal fabricante de MMNC empleada en agricultura, con una producción que superó el millón de unidades en el 2022 (Tractor and Mechanization Association (TMA), 2023). Algunos fabricantes se encuentran desarrollando MMNC para agricultura alimentados con fuentes alternativas de energía. Por ejemplo, la firma Sonalika presentó en el año 2020 el primer tractor impulsado con energía eléctrica de 11 kW, denominado Tiger Electric (ver Figura 14), el cual funciona con batería (Sonalika, 2022). De manera similar, la compañía Escort Limited se encuentra en etapa de desarrollo de un tractor eléctrico en el rango entre 15 y 22 kW. Los fabricantes Mahindra & Mahindra, y TAFE se encuentran trabajando en el desarrollo de MMNC de bajas emisiones para agricultura (Bhatt & Shao, 2022).



Figura 14. Tractor eléctrico Sonalika Tiger Electric.

Fuente: (Sonalika, 2022).

A pesar de que los estándares de emisiones y la conciencia ambiental pueden incentivar la transformación tecnológica de la MMNC para los sectores de agricultura y construcción hacia tecnologías de bajas o cero emisiones, el principal obstáculo que enfrentan estas unidades es su costo. Por esta situación, algunos expertos han sugerido que para facilitar la penetración de tecnologías basadas en energía eléctrica se requieren medidas adicionales tales como subsidios a la compra de MMNC de bajas o cero emisiones por parte del gobierno central o a nivel de autoridad regional, incentivos y descuentos en las tasas de aseguramiento, subsidios y tarifas reducidas en las tarifas de energía eléctrica en el sector agricultura, inversiones en infraestructura de estaciones de recarga y ayudas financieras en los préstamos del sector (Shao & Anup, 2022).

3. Oferta de MMNC cero emisiones

La revisión del estado de la oferta de MMNC cero emisiones con énfasis en la maquinaria para uso en los sectores minero, construcción y agrícola, se abordó mediante la búsqueda de casas matrices a nivel global y centros de desarrollo de nuevas tecnologías, identificando maquinaria que ya se encuentra comercialmente disponible, así como procesos en desarrollo sobre oferta esperada para los próximos años.

Se identificaron 24 casas matrices a nivel global que ofrecen soluciones en MMNC cero emisiones. Estas casas ofrecen 19 clases de MMNC cero emisiones para los sectores agrícola, minero y construcción.

La mayoría de las casas identificadas cuentan con oferta de maquinaria eléctrica (82%), y en una proporción mucho menor se identificaron opciones híbridas (18%) y a hidrógeno (2%). De acuerdo con la revisión, la mayor parte de la oferta se centra en MMNC cero emisiones para los sectores de construcción (58%) y minería (32%); siendo Europa uno de los principales mercados para este tipo de maquinaria. De la maquinaria en desarrollo, los casos identificados están principalmente orientados al sector de la construcción.

La autonomía de la maquinaria es una de las características que más se resalta por las casas matrices, haciendo énfasis en que la autonomía en la mayoría de los casos es suficiente para cubrir los patrones de operación que exige cada sector. En las fichas técnicas de la MMNC eléctrica también se resaltan características sobre el funcionamiento con cable o con batería. En cambio, la información que se provee acerca de las prácticas de disposición de residuos al final de la vida útil de la maquinaria es casi inexistente.

En el **Anexo 1** se presenta una matriz con la compilación y sistematización de información referente a la oferta tecnológica. Para cada caso se documentan aspectos técnicos que incluyen: casa matriz, clase, línea, sector de uso final de acuerdo con el catálogo o ficha técnica del fabricante, tecnología, potencia y capacidad de la batería, capacidad de carga (cuando aplica), estado de madurez de la tecnología, zona de comercialización y otras características técnicas de interés en cada caso. La maquinaria que se presenta en la matriz se relaciona a través de un código de identificación con un banco de imágenes (ver Anexo 2). Este ejercicio se ha complementado con una base de datos de fichas técnicas de la oferta tecnológica identificada en estado de comercialización (ver Anexo 3).

La información agregada que se presenta en las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 es un resumen de la muestra de 50 máquinas caracterizadas en el Anexo 1. La clasificación por sector, tecnología y tamaño de la maquinaria (v.g., tamaño del motor, capacidad de carga) se realizó de acuerdo con la información reportada por el fabricante en catálogos o fichas técnicas.

Tabla 2. Participación de oferta tecnológica por sector y tecnología.

Sector	Tecnología		
	MMNC Eléctrica	MMNC Híbrida	MMNC Hidrógeno
Agrícola	100%		
Construcción	84%	13%	3%
Minero	69%	31%	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Resumen de oferta tecnológica por potencia, sector y capacidad de carga.

Potencia del motor (kW)	Sector			Capacidad de carga (Kg)*
	Agrícola	Construcción	Minero	
P<8	✓	✓		1,100
8 ≤ P < 19	✓	✓		1,500-2,000
19 ≤ P < 37		✓		1,827-5,000
37 ≤ P < 56	✓	✓		4,500-9,000
56 ≤ P < 75			✓	3,600-6,000
75 ≤ P < 130	✓	✓		9,000-10,000
130 ≤ P < 225			✓	10,000-68,000
225 ≤ P < 450		✓	✓	20,000-42,000
P ≥ 560			✓	100,000-326,000

Fuente: Elaboración propia.

*Para esta columna de la tabla se excluye maquinaria que por sus características no tienen capacidad de carga, como perforadoras, pavimentadoras, trituradoras y extendedoras.

Tabla 4. Resumen de oferta tecnológica por clase y tecnología.

Clase	Tecnología		
	MMNC Eléctrica	MMNC Híbrida	MMNC Hidrógeno
Cargador	✓		
Cargador frontal compacto	✓		
Cargador frontal mediano	✓		
Dumper	✓	✓	

	Tecnología		
Excavadora	✓	✓	✓
Grúa sobre cadenas		✓	
Manipulador telescópico	✓		
Mini camión	✓		
Minixcavadora	✓		
Mini extendedora	✓		
Pala de cable	✓		
Pavimentadora	✓		
Perforadora	✓		
Retroexcavadora	✓		
Rodillo compactador	✓		
Torre de perforación		✓	
Tractor	✓		
Trituradora		✓	
Trolley Dump Trucks		✓	

Fuente: Elaboración propia.

En referencia al estado de madurez de la muestra de las 50 máquinas caracterizadas, se encuentra que 38 de ellas están en fase de comercialización, de las cuales el 53% cuentan con una potencia de motor menor a 75 kW, y se caracterizan por ser maquinaria relativamente pequeña para uso agrícola y sector de la construcción. La distribución por rango de potencia de la maquinaria en comercialización se muestra en la Figura 15.

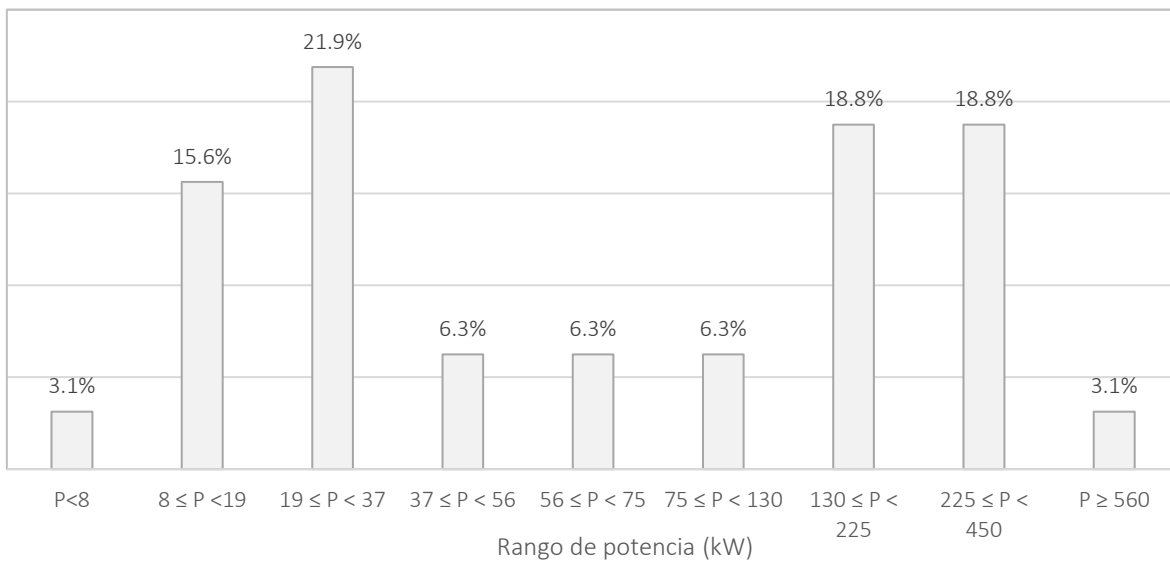


Figura 15. Maquinaria en comercialización por rango de potencia.

Fuente: Elaboración propia.

De la identificación de oferta tecnológica se resaltan los siguientes mensajes:

- Existe disponibilidad a nivel comercial de MMNC de cero emisiones en los tres sectores analizados.

- El 50% de los casos identificados mencionan que tienen oferta disponible de MMNC de cero emisiones en Suramérica.
- Los principales fabricantes de MMNC cero emisiones están presentes en el mercado de Estados Unidos, Europa y Asia.
- Se destaca el fabricante de MMNC peruano [Resemin](#), como el tercer mayor fabricante global de equipos de perforación minera subterránea, el cual se encuentra trabajando en el desarrollo de una perforadora minera 100% eléctrica y espera comercializar 300 unidades para el año 2023 (Revista energiminas, 2019). Este tipo de avances en fabricantes latinoamericanos puede significar una oportunidad para superar la barrera del alto costo de adquisición al que se enfrenta el mercado de MMNC cero emisiones.
- La disponibilidad comercial de maquinaria eléctrica de funcionamiento con batería y sin conexión con cable, en su mayoría, está limitada a MMNC pequeña con potencia de motor menor a 56 kW, la cual es principalmente utilizada en los sectores agrícola y construcción.
- Se reportan casos de MMNC en fase de desarrollo con potencia de motor mayor a 56 kW para funcionamiento sin cable y una autonomía con batería mayor a seis horas.
- La oferta de maquinaria con altas capacidades de carga o de trabajo pesado en el sector minero, se satisface con maquinaria eléctrica con cable y con maquinaria híbrida. Se destaca la existencia de alternativas híbridas (eléctrico con cable y diésel) como los *Trolley Dump Trucks* que emplean la energía eléctrica para la subida de cimbras, mediante la alimentación por cables aéreos.
- En MMNC de hidrógeno únicamente se identificó un caso en desarrollo para el sector de construcción, que corresponde a la excavadora 220X del fabricante JCB.
- Se destaca la existencia de adaptaciones de maquinaria agrícola para su operación a hidrógeno. En un piloto realizado por la compañía Amogy, domiciliada en Nueva York, en el Centro de Energía Avanzada de la Universidad de Stony Brook en Estados Unidos, se ha logrado éxito en la adaptación de un tractor John Deere con amoníaco como combustible, sustituyendo el motor diésel por un sistema que convierte el amoníaco en hidrógeno. Para Amogy, este desarrollo brinda soluciones al reto de almacenamiento del hidrógeno al que se enfrenta la industria (Amogys, 2022). En términos de potencia se menciona que el tractor brinda las mismas capacidades que el modelo diésel; sin embargo, el funcionamiento del tractor es de tan sólo unas horas con un depósito de 60 galones de amoníaco (Farres, 2022).
- Por otro lado, es importante resaltar el interés de los fabricantes por brindar soluciones que faciliten el proceso de carga de baterías para la maquinaria mediante sistemas de almacenamiento de energía móvil basado en baterías que permite operar o cargar localmente máquinas y equipos electrificados, mediante sistemas conocidos como *Power Packs* (Liebherr, 2022).
- Los fabricantes de MMNC están enfocando sus desarrollos en alcanzar objetivos de cero emisiones, disminuir la emisión de ruido y lograr la autonomía que permita jornadas completas de trabajo. Como reto a más largo plazo se tiene la electrificación en un nivel superior, cambiando los trenes hidráulicos por trenes eléctricos (CALAC+, 2022).

En complemento al trabajo presentado en este reporte y sus anexos en la identificación de oferta de MMNC cero emisiones, se recomienda consultar la base de datos para el sector de la construcción elaborada por Belladonna, una fundación que tiene sus oficinas centrales en Oslo, dedicada a la búsqueda de soluciones a retos medioambientales (ver Figura 16).

En este [enlace](#) es posible acceder al sistema de búsqueda de maquinaria por fabricante y tipo de MMNC. En la base de datos se registran características como línea, peso, fuente de alimentación, capacidad de

batería, tiempo de carga, tiempo de funcionamiento y un enlace a la página Web de los fabricantes. Adicionalmente, se permite la descarga de la base de datos en formato Excel.

BELLONA SUBJECTS PUBLICATIONS PROJECTS CONTACT ABOUT BELLONA

Database: Emission-free Construction Equipment (by manufacturer)

Zero Emission Construction Machinery - Manufacturers
Below you can find a list of manufacturers offering zero emission construction machinery.

Database: Emission-free Construction Equipment (by manufacturer)

Electric construction machinery has a lot of benefits including **GHG emission reduction, no direct air pollution, less noise pollution and lower running costs**. See below which construction machinery has already been developed.

Navigating the database:
Click on a manufacturer to view the electric equipment they offer.
Links to the product page can be found in the 'Product' column.
To view the database sorted by machine type click [here](#).
If you wish to submit any new machinery to be added to our database please [contact us here](#).
If you want to download this database in excel format click [here](#).

^ **Ahlmann**

Product	Serial Number	Weight
Swing Loader	AZ95	6,8 tons

^ **Bobcat**

Product	Serial Number	Weight	Power Source	Power Capacity	Charging Time	Operating Time	Retrofitted by
Mini Excavator	E10e	1.22 t	batteries	12.7 kWh	2 h	8 h	
Excavator	E20	4306 lb	batteries				Green Machine
Excavator	E32	7340 lb	batteries				Green Machine
Excavator	E35	7699 lb	batteries				Green Machine
Excavator	E50	11357 lb	batteries				Green Machine
Track loader	T7X	12,187 lb. (5528 kg)	lithium-ion battery	62 kW (100 hp equivalent)		four hours of continuous operation time	

For more information on the machinery retrofitted by Green Machine reach out to Kirk Durham (848) 459-4000

Figura 16. Captura de pantalla de la página Web de Belladona, con base de datos de maquinaria cero emisiones para el sector de la construcción.

4. Instrumentos para promover el uso de MMNC cero emisiones

En las secciones anteriores del reporte se han mencionado instrumentos utilizados a nivel internacional para incentivar el uso de MMNC cero emisiones. Se observan estrategias muy diferentes entre los casos analizados previamente. Estas abarcan acciones impulsadas por el sector privado, como en los casos de Boliden y Anglo American en donde la incorporación de MMNC cero emisiones ha sido respuesta a metas internacionales en descarbonización adoptadas por compañías multinacionales. Se identifican iniciativas públicas, como la de Oslo en donde se aprovecha el poder de contratación de la municipalidad para, a través de cambios en los esquemas de selección de contratistas, promover el uso de maquinaria eléctrica en los procesos de construcción contratados por las municipalidades.

Dentro de las estrategias adoptadas por el sector público para promover el uso de MMNC cero emisiones, los casos de California, Oslo y Barcelona muestran diferentes posibilidades. California a través de su autoridad ambiental CARB basa su modelo en eliminar la barrera principal del alto costo de adquisición de la maquinaria, mediante el otorgamiento de bonos. Diseñaron un modelo que busca abarcar todo el mercado de MMNC eléctrico, pero que inicia con los sectores más fáciles de electrificar con la finalidad de ir superando las barreras de manera gradual y así ir avanzando hacia sectores en donde se identifican más retos. De este modelo también se resalta el énfasis del instrumento en facilitar los trámites tanto como sea posible para que el usuario final pueda acceder a los bonos de compra y arriendo de la MMNC cero emisiones. La estrategia de California es de muy amplio alcance, según lo demuestran los recursos financieros asignados anualmente al programa y la tasa de uso de estos.

De Oslo se destaca como punto central de la estrategia, la planeación de la política mediante el establecimiento de una hoja de ruta. Posteriormente, en el desarrollo del piloto, se identifica un componente relevante de cooperación entre los sectores público y privado, y que además hace una apuesta muy grande por la innovación local. En la medida en que se fueron demandando diferentes tipos de MMNC para el proyecto piloto se fueron electrificando los equipos requeridos, lo que probablemente influyó en un alto costo para cumplir el objetivo de tener una obra cero emisiones. En Barcelona, el objetivo central del proyecto piloto fue demostrar la viabilidad de la iniciativa como punto de partida para el desarrollo posterior de las condiciones habilitantes. La selección del proyecto piloto de Barcelona se hizo considerando cuál era el tipo de obra para la cual se contaba con la mayor disponibilidad de maquinaria eléctrica necesaria según el mercado local. Una vez identificada la maquinaria disponible, los promotores del proyecto fueron construyendo los elementos necesarios para poder desarrollar el piloto.

Se identifican algunos instrumentos adicionales a nivel internacional que también buscan promover el uso de MMNC cero emisiones. En la Tabla 5 se presentan una recopilación de políticas, normativas e iniciativas identificadas a nivel global.

Algunos son instrumentos indicativos que dan lineamientos para la adopción de políticas públicas en línea con la MMNC cero emisiones, aunque aún no hayan definido los mecanismos específicos para su incorporación. Otros se refieren a instrumentos normativos e incentivos dirigidos a la MMNC de ultra bajas emisiones y cero emisiones.

De esta revisión se resalta la gradualidad de los instrumentos adoptados en diferentes ciudades en China, en donde las exigencias para las zonas de bajas emisiones se van haciendo cada vez más fuertes, hasta que no es posible operar MMNC que no sea cero emisiones. Algunos de los esquemas adoptados en las áreas urbanas de China varían su exigencia en emisiones de la MMNC en función del nivel de la contaminación del aire que se tenga, y esto se ve reflejado en esquemas que varían con la época del año afectadas por diferentes condiciones de emisiones y meteorológicas. La gradualidad también se refleja en algunas ciudades en la priorización de sectores por los cuáles inicia la transición tecnológica.

Del caso de China vale la pena mencionar que para garantizar que la MMNC que opera en zonas de bajas emisiones cumpla con los requisitos establecidos, se cuenta con plataformas de monitoreo que permiten hacer seguimiento en tiempo real mediante sistemas de detección electrónica a las entradas y salidas de las zonas y sistemas de registro de la MMNC, entre otros otros mecanismos. Para que la estrategia total de reducción de emisiones de la MMNC funcione se requiere de la participación y coordinación de múltiples actores públicos y privados (Shao, 2022).

A partir de la revisión del caso de China, Shao (2022) propone cuatro pasos para acelerar las zonas de bajas emisiones con MMNC de ultra bajas emisiones o cero emisiones. Estos cuatro pasos resumen muy bien el tipo de instrumentos disponibles aplicables a nivel global, los mecanismos de implementación y los criterios de priorización que se pueden aplicar para acelerar el cambio tecnológico de la MMNC en diferentes contextos.

- 1) **Establecer la base legal para las zonas de cero emisiones.** Esto les permite a los gobiernos locales implementar las medidas que soportan las zonas de cero emisiones y contar con reglamentación acerca del monitoreo, control y sanciones para los incumplimientos.
- 2) **Establecer una plataforma de colaboración de múltiples agencias y un sistema de intercambio de datos.** Para el funcionamiento de una zona de bajas emisiones es necesario contar con autoridades de diferentes sectores y representantes del sector privado. La posibilidad de compartir datos sobre el proyecto entre entidades funciona de manera sinérgica, y los datos son fundamentales para que cada entidad pueda cumplir con sus funciones dentro del proyecto.
- 3) **Aumentar la exigencia de las zonas hacia cero emisiones, en paralelo con esquemas de incentivos.** Dado que no se cuenta con el 100% de oferta de maquinaria eléctrica, es posible iniciar con zonas de ultra bajas emisiones, en donde se puedan utilizar alternativas como MMNC híbrida o con combustibles alternativos, cuando no exista la versión eléctrica de los equipos requeridos. Instrumentos como incentivos (fiscales y no fiscales), esquemas de contratación, entre otros, dan soporte a las zonas de bajas emisiones y a las acciones para su logro. Se requieren esquemas flexibles, que permitan irlos revisando y ajustando periódicamente, buscando cada vez tener un mayor alcance y mejores resultados del proyecto en costos y beneficios.
- 4) **Priorizar regiones, tipos de equipos y aplicaciones para las etapas tempranas de los programas.** Las ciudades en donde ya se cuenta con pilotos y proyectos de zonas de bajas emisiones, o que tienen esquemas de seguimiento implementados para MMNC, pueden contar con condiciones que faciliten la adopción de MMNC de ultra bajas emisiones y cero emisiones. Otro criterio de priorización puede ser iniciar por los sectores con los que ya se cuenta oferta tecnológica de MMNC cero emisiones. También podrían priorizarse proyectos para minimizar la exposición personal a la contaminación, como en espacios cerrados como en minas y túneles.

Para finalizar se resalta que la implementación de zonas urbanas de bajas emisiones es uno de los mecanismos más utilizados para promover el uso de MMNC de ultra bajas emisiones y cero emisiones. Aunque en la mayoría de los casos éstas han surgido como una respuesta al problema de contaminación local, la implementación de MMNC cero emisiones es una solución tanto para los problemas locales de contaminación y ruido, como para problemas globales como el cambio climático. En el contexto de América Latina reducir los niveles de contaminación del aire en los centros urbanos está dentro de los objetivos ambientales prioritarios para los próximos años, por lo que acelerar la electrificación de la MMNC para uso en áreas urbanas daría solución a varios problemas apremiantes.

Tabla 5. Instrumentos para promover el uso de MMNC cero emisiones.

Categoría	Nombre	Ciudad - País	Descripción	Sector/Tipo de maquinaria	Fuente
Lineamientos de política pública	Estrategia Climática y Energética	Oslo, Noruega	Esta herramienta política fue creada para que la ciudad implemente acciones alineadas a las metas de reducción de emisiones. Dentro de las estrategias para lograr la reducción de emisiones GEI se mencionan las tecnologías y combustibles cero emisiones para MMNC.	MMNC para construcción	(KlimaOslo, 2021b)
	Estrategia de Adaptación	Oslo, Noruega			(KlimaOslo, 2020)
	Hoja de Ruta Edificaciones Neto Cero Carbono	Colombia	Hoja de ruta para implementación de acciones de los sectores públicos y privados para descarbonizar las edificaciones en Colombia. Se incluyen metas en mitigación de emisiones GEI en carbono incorporado alineadas con la Estrategia Climática de Largo Plazo (E2050) de Colombia. Dentro de las acciones de mitigación se recomiendan medidas para reducir las emisiones GEI en la fase de construcción de las edificaciones.	MMNC para construcción	(CCCS & MADS, 2022)
	Política Nacional Minera 2050	Chile	Política por la cual se plantea un modelo para la industria minera, potenciando la minería a corto, mediano y largo plazo en la operación de flotas de cero emisiones.	MMNC utilizada en minas	(Gobierno de Chile, 2020)
	Estrategia Nacional de Electromovilidad		El objetivo de esta estrategia es establecer los ejes estratégicos, políticas y metas que permitan el desarrollo acelerado y sostenible del transporte eléctrico. Se propone como una de las metas que el 100% de las ventas de maquinaria (minera, forestal, construcción y agrícola) de más de 560 kW de potencia sea cero emisiones a partir del 2035, y de más de 19 kW a partir de 2040.	MMNC para construcción	(Gobierno de Chile, 2021)
Acuerdos	Declaración de construcciones limpias	Cinco ciudades de C40: Budapest, Los Ángeles, Oslo, Ciudad de México, San Francisco, Londres, Milán	Las ciudades que firman esta declaración se comprometen a reducir las emisiones por carbono incorporado de las edificaciones. Específicamente tienen tres compromisos: <ul style="list-style-type: none"> - Reducir las emisiones de carbono incorporado en al menos un 50% en todos 	MMNC para construcción	(C40, 2021)

Categoría	Nombre	Ciudad - País	Descripción	Sector/Tipo de maquinaria	Fuente
			<p>los edificios nuevos y grandes remodelaciones al 2030, esforzándose por lograr al menos un 30% para 2025.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducir las emisiones de carbono incorporado en al menos un 50% en todas las obras de infraestructura al 2030, esforzándose por lograr al menos un 30% para 2025. - Exigir MMNC cero emisiones para la construcción de proyectos municipales a partir de 2025 y sitios de construcción de cero emisiones en toda la ciudad para 2030. 		
Regulación en calidad del aire	London's 'Low Emission Zone' for Non-Road Mobile Machinery	Londres, Inglaterra	Por medio de esta política se implementaron zonas de baja emisión para la construcción, de este modo se incentiva el uso de MMNC de bajas emisiones en la ciudad.	MMNC implementada en sector construcción.	(London City Hall, 2022)
	Plan de acción de aire limpio	Ámsterdam, Países Bajos	En este plan se contempla el “trato verde el nuevo giro”, el cual fue firmado desde diferentes sectores para trabajar durante los próximos cuatro años para reducir las emisiones de CO ₂ , NO _x y material particulado fomentando el ahorro de combustible.	MMNC para construcción y agricultura	(Gemeente Amsterdam, 2021)
	Zonas Urbanas por un Mejor Aire	Bogotá, Colombia	Actualmente está en desarrollo un Decreto para reglamentar las Zonas Urbanas por un Mejor Aire, similar las zonas de bajas emisiones con las que se cuenta en múltiples ciudades alrededor del planeta. Las zonas de construcción limpias podrían cumplir con los objetivos de la medida en diferentes partes de la ciudad.	MMNC para sector construcción	(SDM, 2022)
	Ley del Aire Limpio	China	La Ley del Aire Limpio habilitó a las ciudades chinas para establecer zonas de baja emisión de MMNC para el sector de la construcción. Al 2022 el 92% de las áreas urbanas habían definido zonas de bajas emisiones. En estas áreas no puede operar MMNC de	MMNC para construcción, aeropuertos y sector ferroviario	(Shao, 2022)

Categoría	Nombre	Ciudad - País	Descripción	Sector/Tipo de maquinaria	Fuente
			<p>altas emisiones; sin embargo, existen diferencias en las definiciones entre regiones sobre lo que significa “MMNC de altas emisiones”.</p> <p>Diferentes tipos de intervenciones han sido implementadas incluyendo: promoción de MMNC de bajas emisiones en Beijing y Tianjin; Beijing ha utilizado instrumentos fiscales para construir estaciones de recarga de flota eléctrica; incentivos para acelerar la compra de MMNC eléctrica; priorización de sectores para el ascenso tecnológico (MMNC para aeropuertos y sector ferroviario en Jinan); Chengdu implementó regulación para dar incentivos fiscales para la compra de MMNC de bajas emisiones.</p> <p>Los esquemas adoptados en China han sido graduales en algunas zonas y en otras varían según los niveles de contaminación del aire.</p>		
Regulación en cambio climático	Presupuesto climático 2021	Oslo, Noruega	En Oslo se han fijado zonas en construcción de cero emisiones para alcanzar el objetivo de reducción de emisiones. La ciudad se plantea como meta que todas las zonas de construcción sean cero emisiones en el año 2030.	MMNC implementada en construcción.	(KlimaOslo, 2021a)
Incentivos para fabricación y uso de MMNC cero emisiones	El Decreto Supremo N° 4539	Bolivia	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivos tributarios para fabricación, ensamblaje e importación de vehículos automotores eléctricos, híbridos y maquinaria agrícola eléctrica e híbrida. - Incentivos financieros para fabricación, ensamblaje y compra de vehículos automotores eléctricos, híbridos y maquinaria agrícola eléctrica e híbrida. 	Maquinaria agrícola eléctrica e híbrida.	(Decreto Supremo N° 4539 Del 2016, n.d.)
	Programa de incentivos para uso de MMNC de tecnología limpia	California, Estados Unidos	El programa CORE compensa el costo de la tecnología de emisiones cero (costo de adquisición) con un descuento que se hace efectivo para los usuarios en el punto de venta. Para esto se entregan bonos para compra o alquiler de MMNC cero emisiones.	Transversal	(CALAC+, 2022)

Fuente: Elaboración propia.

5. Mensajes finales

Oferta tecnológica y acceso a la información: La revisión de oferta tecnológica de MMNC cero emisiones muestra importantes desarrollos para el sector minero, industrial y agrícola. Para los tres sectores ya se cuenta con oferta comercial de MMNC cero emisiones, concentrándose principalmente en la maquinaria eléctrica para construcción y minería. Si bien la mayor parte de la MMNC cero emisiones que está disponible es de tamaño pequeño (>75 kW⁵) y mediano (>450 kW), también empieza a haber ejemplares de mayor tamaño (<560 kW) y un avance rápido en la oferta de las diferentes casas matrices para cubrir todos los segmentos y tamaños de maquinaria. Dentro de la maquinaria identificada se cuenta con tecnologías de cadenas cinemáticas eléctricas, soluciones híbridas (diésel-electricidad), soluciones portátiles de recarga eléctrica, soluciones por cable, métodos híbridos de funcionamiento (batería-cable) y otros métodos de recarga como el de cables tipo trole para maquinaria en minería.

Para facilitar el cambio de tecnología en la MMNC resulta de gran importancia el acceso a información para los usuarios por parte de los fabricantes. Son parámetros y variables claves las relacionadas con posibilidades de carga de la maquinaria, la autonomía, los ciclos de conducción y las tasas de recuperación de energía, entre otros. Aspectos como la vida útil de la maquinaria y las posibilidades de portabilidad que son relevantes para los desarrolladores de los proyectos no están comúnmente disponibles entre las características reportadas por los fabricantes. Información sobre prácticas de gestión de residuos al final de la vida útil de las baterías y de la maquinaria tampoco es información que esté públicamente disponible para su consulta.

En cuanto al retorno de la inversión de la maquinaria eléctrica, como se observa en los casos de estudio relacionados en la sección 2, es posible ver ostensibles reducciones de costos asociados al consumo de combustible en el tiempo, sin embargo, es necesario resaltar que este mercado aún no está masificado y lo acá presentado corresponde a casos puntuales. Cálculos genéricos de retorno requerirán de más tiempo y masificación de estas tecnologías para ser recopilados. Los costos finales también dependerán del combustible y costo de la energía en cada país (DNV GL 2019).

Existen diferentes caminos posibles para promover el uso de MMNC cero emisiones: Para que Latinoamérica avance en la implementación de MMNC existen ejemplos de diferentes caminos ya experimentados por otros países en el mundo.

Los casos de estudio muestran diferentes maneras de incentivar el uso de MMNC. El sector público ha liderado algunas de las iniciativas; sin embargo, también es claro el rol de liderazgo del sector privado desarrollando este tipo de proyectos. En todos los casos se resalta la necesidad de una articulación entre financiadores e implementadores de los programas, fabricantes y representantes que puedan dar soporte técnico local, representantes de los diferentes sectores públicos de orden nacional y local, usuarios finales de la maquinaria y la comunidad beneficiaria de mejores condiciones ambientales.

⁵ Los valores en kW indicados acá no corresponden a rangos fijos sino indicativos para aportarle al lector una idea de los tamaños de las máquinas. En general, cuando se habla de motores Diesel para todas las aplicaciones (incluyendo locomotoras, barcos, generadores, etc) las palabras pequeña, mediana y larga emplean rangos de potencia más grandes como: pequeña (> 188 kW) mediana (188 – 750 kW) y grandes superiores a 750 kW (<https://swiftequipment.com/types-of-diesel-engines-and-its-applications/>). No obstante, las normativas de emisiones para motores diesel se han enfocado preferentemente en tamaños inferiores a 560 kW por cuanto son más comunes en entornos urbanos donde las emisiones son expuestas a un mayor número de personas.

Los casos de estudio muestran una gran diversidad en las estrategias aplicadas para promover el uso de MMNC de ultra bajas emisiones y cero emisiones. Las estrategias varían en los instrumentos de apoyo que utilizan, algunas se basan en esquemas de contratación, y otras utilizan, de manera independiente o como complemento, incentivos financieros y no financieros, regulación para la reducción de la contaminación local y regulación para la mitigación de emisiones de GEI. Las estrategias para impulsar el uso de la MMNC cero emisiones también se diferencian en los enfoques con los cuales seleccionan los puntos de partida de la sustitución de la MMNC; algunos se definen según la disponibilidad tecnológica en el mercado local, otras según proyectos prioritarios para las áreas urbanas, unas los definen según normas marco de apoyo existentes, mientras que para algunas ciudades las apuestas en innovación local son el criterio más importante y por lo tanto la disponibilidad de las tecnologías no es la principal barrera. En otras ciudades las estrategias se definen de una manera gradual en las exigencias de los niveles de emisión permitidos para la MMNC, y también con gradualidad temporal en el alcance de los programas.

Potencial de aprendizaje de los proyectos piloto: Los proyectos piloto representan un papel importante en la transición hacia MMNC cero emisiones. A través de estas experiencias se identifican necesidades para las diferentes etapas de los proyectos desarrollados con MMNC cero emisiones; y se proponen soluciones entre múltiples actores que viabilizan los proyectos. Así, los proyectos piloto se convierten en una manera de superar barreras; y las lecciones aprendidas de los pilotos se pueden aprovechar en las etapas de consolidación y réplica de los programas para la MMNC cero emisiones.

Los proyectos piloto también resultan muy relevantes para medir los beneficios que implica el uso de MMNC en términos ambientales (reducción de contaminantes locales y GEI), en reducción de costos de los combustibles fósiles, en aumento de la productividad y mejora del entorno para los trabajadores por aspectos como la reducción del ruido, emisiones (producto de la combustión incompleta) y del calor que genera la maquinaria convencional. La documentación de los proyectos piloto es valiosa tanto para los implementadores, como para compartir la experiencia con otros sectores y ciudades que puedan estar interesados en desarrollar proyectos similares.

Difusión de la información para superar barreras en conocimiento: La difusión de información acerca de las dificultades, soluciones y ventajas de la MMNC cero emisiones puede ayudar a reducir las barreras actuales en conocimiento referente a las nuevas tecnologías. Los resultados de los casos analizados muestran datos muy positivos en aspectos varios como los ambientales, financieros y de productividad. En este sentido, se resalta el rol de la plataforma de colaboración de CALAC+ a través de la cual se puede continuar potenciando el intercambio de experiencias a nivel global y entre países de América Latina, y se resalta la iniciativa de Construcción Limpia de C40, que tiene una finalidad similar para compartir información entre ciudades, así como la Iniciativa de Transporte de la CCAC que busca abordar el tema de reducción de emisiones de carbono negro en maquinaria y apoyar a así a sus socios de gobierno a nivel global.

Anexos

Anexo 1. Matriz de oferta MMNC cero emisiones.

Tabla A 1. Matriz de oferta MMNC cero emisiones.

ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
1	Suncar	Excavadora	ZE85	Construcción	Eléctrico	40	Capacidad: 100 kWh Carga total en dos horas, CEE 400v Posibilidad de cargar hasta 150 kw con CCS2, reduce el tiempo de carga a 35-45 minutos	Funcionamiento con batería y cable.	8,000-9,000 Kg	Comercialización	Europa	Enlace aquí
2	Amman	Rodillo compactador	EARX 26-2	Construcción	Eléctrico	25	Capacidad: 31.5 kWh	Diseñado para optimizar el uso de energía. Ideal para sitios de construcción pequeños y medianos.	N/A	Comercialización	NE	Enlace aquí
3	Ausa	Dumper	D151AEG	Construcción	Eléctrico	17,3	Capacidad: 12.4 kWh Carga total en dos horas , 230V Carga rápida externa una hora y veinticuatro minutos, 415V	Cargador integrado que permite una conexión directa a una fuente de alimentación CA. Regeneración de energía en desaceleración.	1,500 Kg	Comercialización	España	Enlace aquí
4	Bobcat	Mini excavadora	E19e	Construcción /Agrícola	Eléctrico	10	Capacidad: 17.28 kWh Carga total en dos horas con sobrealimentación externa	Autonomía para toda una jornada laboral en rutina normal de trabajo.	1,800 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
5	Bobcat	Mini excavadora	E10e	Construcción /Agrícola	Eléctrico	7,5	Capacidad: 11.52 kWh Carga total en dos horas con sobrealimentación externa	Autonomía para toda una jornada laboral en rutina normal de trabajo.	1,100 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
6	Case	Retroexcavadora	580 EV	Construcción	Eléctrico	n.d	Capacidad: 90 kWh Carga a 220V	Proyecto Zeus, ganador del premio Good Design Award 2020 del Chicago Athenaeum Museum of Architecture and Design y Metropolitan Arts Press. Autonomía de 8 horas continuas.	N/A	Desarrollo	NA	Enlace aquí
7	Caterpillar	Mini excavadora	301,9	Construcción	Eléctrico	n.d	Capacidad: 32 kWh	Autonomía de 8 horas.	N/A	Desarrollo	NA	Caterpillar anuncia cuatro prototipos de máquinas eléctricas - Construcción Latinoamericana (construccionlatinoamericana.com) Enlace aquí

ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
8	Caterpillar	Cargador frontal mediano	Cat 906	Construcción	Eléctrico	n.d	Capacidad: 64 kWh	Autonomía de 6 horas. Presentado en Bauma Munich 2022.	6,200 Kg	Desarrollo	NA	Caterpillar anuncia cuatro prototipos de máquinas eléctricas - Construcción Latinoamericana (construccionlatinoamericana.com) Acceso aquí
9	Caterpillar	Cargador frontal compacto	Cat 950 GC	Construcción	Eléctrico	n.d	Capacidad: 256 kWh	Autonomía de 6 horas. Presentado en Bauma Munich 2022.	N/A	Desarrollo	NA	Caterpillar anuncia cuatro prototipos de máquinas eléctricas - Construcción Latinoamericana (construccionlatinoamericana.com) Acceso aquí
10	Caterpillar	Excavadora	Cat 320	Construcción	Eléctrico	120	Capacidad: 320 kWh Cargador integrado de 22 kW Carga total de batería en 6 horas	Autonomía de 8 horas. Presentado en Bauma Munich 2022.	N/A	Comercialización	NA	Línea Z Cat 320 Equipo Pon (pon-cat.com)
11	Caterpillar	Pala de cable	*7495 con cuerda de avance *7495 con HydraCrowd *7495 HF con cuerda de balance *7495 HF con HydrCrowd *7495 HD *7395 *7295	Minero	Eléctrico	n.d	N/A	Funcionamiento con cable. Requisitos de potencia- Potencia máxima: 2.152 kW-3.778 kW.	Peso de trabajo, con draga y varillaje estándar: 793,259 Kg-1,442,274 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África, América y Oceanía	Enlace aquí
12	Dynapac	Pavimentadora	eCity SD1800W	Construcción	Eléctrico	55	Carga total en más de tres horas. Tarda alrededor de 3 horas en pasar del 5% al 80% @ 400V 22kW (AC) y 40 min para pasar del 5% al 80% @ 80kW (DC).	Autonomía de 4 horas. Anchura de pavimentación de 4.1 metros.	Capacidad máxima de pavimentación de 350 t/h	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí

ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
							La carga se realiza a través de una caja de pared o una estación de carga. La carga se realiza con un enchufe Tipo 2 compatible con CE para 400V, 6-32A, 1.4-22.0kW AC.					
13	Epiroc	Cargador	Scooptram ST7	Minero	Eléctrico	149	Capacidad: 165 kWh Carga a 575 VAC	Autonomía de 4 horas. Intercambio de batería rápido (dos baterías).	6,800 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Pala de Batería ST7 Pala subterránea Epiroc
14	Epiroc	Cargador	Pala EST1030	Minero	Eléctrico	132	N/A	Funcionamiento con cable. Cargadora más rápida de su clase con una velocidad máxima de 15 km/h.	10,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Scooptram EST1030 Pala subterránea Epiroc
15	Epiroc	Cargador	Pala EST2D	Minero	Eléctrico	56	N/A	Funcionamiento con cable.	3,629 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
16	Epiroc	Cargador	Pala EST3.5	Minero	Eléctrico	74,6	N/A	Funcionamiento con cable.	6,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
17	Epiroc	Cargador	Pala de Batería ST14	Minero	Eléctrico	200	Capacidad: 300 kWh Carga total en dos horas Cargador externo	Conector CCS 2.0 tipo 1 o 2. Permite intercambio de batería.	14,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Pala de Batería ST14 Pala subterránea Epiroc
18	Epiroc	Mini camión	MT2010 Battery	Minero	Eléctrico	301	Capacidad: 165 kWh Artisan, 165 kWh, LiFePO4, 630 VDC	Carga de batería: input 575 VAC.	20,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Minetruck MT2010 Battery Epiroc
19	Epiroc	Mini camión	MT42 Battery	Minero	Eléctrico	2x200	Capacidad: 375 kWh Cargador externo Carga total en tres horas y media	Conector CCS 2.0 tipo 1 o 2. Permite intercambio de batería.	42,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
20	Faresin	Manipulador telescópico	*17.45 Full Electric *14.42 Full Electric *17.40 Full Electric	Agrícola	Eléctrico	51	n.d	Motor de 51 kW para transmisión. Motor de 23 kW para servicios de máquina.	4,000 Kg - 4,500 Kg	Desarrollo	N/A	Faresin presenta el Big Range full electric en Bauma (noticiasmaquinaria.com)
21	Hitachi	Excavadora	ZX55U-6	Construcción	Eléctrico	33	Capacidad: 39 kWh	Funcionamiento con batería o cable.	5,000 Kg	Comercialización		La miniexcavadora a batería de 5 toneladas comenzará a aceptar pedidos en el mercado europeo - Hitachi Construction Machinery

ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
												(hitachicm.com)
22	Hitachi	Excavadora	*Prototipo 2 toneladas *Prototipo 13 toneladas	Construcción	Eléctrico	10 a 85	Capacidad: 18 kWh - 198 kWh	Presentado en Bauma Munich 2022.	2,000 Kg - 13,000 Kg	Desarrollo	N/A	Las miniexcavadoras y compactas alimentadas por batería se exhibirán en bauma 2022 - Hitachi Construction Machinery (hitachicm.com)
23	Hitachi	Trolley Dump Trucks	Trolley Dump Trucks	Minero	Híbrido	1490	N/A	DC 2400-2600 V. Utilizan energía eléctrica mientras suben colinas, la cual es alimentada por cables aéreos. En bajada o lugares sin cableado utilizan diésel.	180,000 Kg - 326,000 kg	Desarrollo	N/A	Enlace aquí
24	JCB	Mini excavadora	19C-1E	Construcción	Eléctrico	20	Capacidad: 19.8 kWh Carga total en 10,5 horas con 110 V o 5 horas con 240 V Carga rápida en 2.5 horas con un suministro de 415V	Autonomía para un día completo. Paquete de 4 baterías.	1,827 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	19C-1E Miniexcavadoras JCB.com
25	JCB	Dumper	E-TECH ITE	Construcción	Eléctrico	20	Capacidad: 10 kWh Carga total en 2 horas, 35 minutos a 230V Carga Rapida en 1 hora, 40 minutos a 415V	Autonomía para un día completo.	1,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
26	JCB	Excavadora	220X	Construcción	Hidrógeno	N/A	N/A	Inversión de 100 millones de libras para desarrollo de motores a hidrógeno. Impulsada por una celda de combustible de hidrógeno, ha sido sometida a rigurosas pruebas en el campo de pruebas de la cantera de JCB durante más de 12 meses.	20,000 Kg	Desarrollo	N/A	JCB lanza al mercado la primera Excavadora impulsada por hidrógeno de la industria - JCB
27	Jhon Deere	Retroexcavadora	E-power	Construcción	Eléctrico	75		Trabajo con red interconectada de electricidad.	N/A	Desarrollo	N/A	El prototipo de la retroexcavadora eléctrica de John Deere, a prueba en obras reales - Novedades - Híbridos y Eléctricos Coches

ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
												eléctricos, híbridos enchufables (híbridosyelectricos.com)
28	Jhon Deere	Tractor	SESAM	Agrícola	Eléctrico	100	Capacidad: 130 kWh	Funcionamiento con cable. Autonomía de 50 kilómetros en carretera y cuatro horas de trabajo en campo.	N/A	Desarrollo	N/A	https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/john-deere-presenta-tractor-electrico-autonomo-necesita-baterias/20181213185940023921.html
29	Keestrack	Trituradora	B7e	Minero	Híbrido	160	N/A	Funcionamiento con cable. Accionamiento eléctrico.	600 toneladas/horas	Comercialización	Europa, Asia y América	Enlace aquí
30	Kleeman	Trituradora	MR 130(i) pro	Minero	Híbrido	n.d	N/A	Funcionamiento con cable. Accionamiento eléctrico.	375 toneladas/hora	Comercialización	Europa, Asia, África y América	MR 130i EVO2 Molinos de impacto móviles Kleemann (wirtgen-group.com)
31	Komatsu	Excavadora	PC210E	Construcción	Eléctrico	123	n.d	Autonomía de 8 horas. Se lanzará en Europa en el año 2023.	21,000 Kg	Desarrollo	N/A	Enlace aquí
32	Manitou	Manipulador telescópico	*MRT 2260e *MRT 2660e	Construcción /Agrícola	Eléctrico	n.d	Capacidad: 65 kWh	Gama vision +. Lanzamiento en Bauma 2022.	6,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
33	Vögele	Miniextensora	*500e *502e	Construcción	Eléctrico	n.d	n.d	Lanzamiento en Bauma 2022.	Anchos 0.25 a 1.80 metros	Comercialización	Europa	Bauma 2022 Nuevas mini pavimentadoras de carretera de VÖGELE (wirtgen-group.com)
34	Volvo	Excavadora	ECR25	Construcción	Eléctrico	30	Capacidad: 20 kWh Carga total a bordo en 5 horas a 230V Carga total fuera de bordo en 50 minutos a 400V	Autonomía de 4 horas.	2,780 Kg	Comercialización	Distribuidores en Norte América	ECR25 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)




ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
35	Volvo	Excavadora	ECR18	Construcción	Eléctrico	18	Capacidad: 16 kWh Carga total en 10 horas a 110V Carga total en 5 horas a 240V	Autonomía de 3 a 5 horas.	1,765 Kg	Comercialización	Distribuidores en Norte América	Enlace aquí
36	Volvo	Cargador	L25	Construcción	Eléctrico	22	Capacidad: 40 kWh Carga total a bordo en 6 horas a 400V Carga total fuera de bordo en 2 horas a 400V	Autonomía de 8 horas.	4,900 Kg	Comercialización	Distribuidores en Norte América	L25 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)
37	Volvo	Cargador	L20	Construcción	Eléctrico	22	Capacidad: 33 kWh Carga total a bordo en 5 horas a 400V Carga total fuera de bordo en 2 horas a 400V	Autonomía de 6 horas.	4,550 Kg	Comercialización	Distribuidores en Norte América	L20 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)
38	Kiesel	Excavadora	ZE19-T	Construcción	Eléctrico	n.d	Carga total en tres horas con carga rápida Carga total en 12 horas con cargador a bordo	4 horas de autonomía. Carga rápida en 45 minutos.	N/A	Comercialización	n.d.	Enlace aquí
39	Suncar	Excavadora	TB216E	Construcción	Eléctrico	18,5	Carga total en 3 horas	Autonomía de cuatro horas. Funcionamiento con cable y batería. Conexión estándar de 400V/CEE 32 A.	2,000 Kg	Comercialización	n.d.	Takeuchi TB260E kaufen & mieten Huppenkothen GmbH
40	Liebherr	Torre de perforación	LB 16 unplugged	Minero	Híbrido	265	Carga total en menos de 7 horas	Autonomía de diez horas. Sin cables.	N/A	Comercialización	Europa, Asia, África y América	LB 16 unplugged Pilotadora de rotación Liebherr
41	Liebherr	Grua sobre cadenas	LR 1250.1	Construcción	Híbrido	255	Capacidad: 196 kWh Carga total en 4.5 horas	Autonomía de 4 horas. Funcionamiento con cable y batería.	N/A	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Enlace aquí
42	Liebherr	Dumper	T 236	Minero	Híbrido	895	n.d	Accionamiento eléctrico. Sistema de asistencia Trolley.	100,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	T 236 Liebherr
43	Liebherr	Excavadora	*LH 26 M *LH 26 C	Construcción	Eléctrico	125	n.d	Funcionamiento con cable.	Peso operativo: 26,200 Kg - 27,900 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	LH 26 M Industry Litronic Liebherr
44	Liebherr	Excavadora	LH 110 C	Construcción	Híbrido	300	n.d	Stage V Stage IIIA (compliant) Versiones: *Industry Litronic *High Rise Industry Litronic *Gantry Industry Litronic *Port Litronic	Peso operativo: 105,000 Kg-140,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, África y América	Acceso al enlace aquí




ID	Casa matriz	Clase	Línea	Sector	Tecnología	Potencia del motor (kW)	Capacidad de la batería	Otras características técnicas	Capacidad carga de material	Estado de Madurez	Zona Comercialización	Fuente
								*High Rise Port Litronic *Gantry Port Litronic				
45	Liebherr	Excavadora	LH 150	Construcción	Híbrido	400	n.d	Estándar de emisiones: Stage IV Stage IIIA Versiones: *Industry Litronic *High Rise Industry Litronic	Peso operativo: 130,000 Kg-140,000 Kg	Comercialización	Europa, Asia, Africa y América	Acceso al enlace aquí
46	Sandvick	Perforadora	DD422iE	Minero	Eléctrico	205	Capacidad: 100 kWh	Carga de batería durante la perforación. Carga de batería utilizando el sistema de frenos.	N/A	Comercialización	Europa, Asia, Africa y América	Sandvik DD422iE Equipo eléctrico de perforación y jumbo para minería — Sandvik Mining and Rock Technology
47	Sandvick	Perforadora	DL422iE	Minero	Eléctrico	205	Capacidad: 100 kWh	Funcionamiento continuo y sin personal, con automatización y teleremoto para perforar durante los cambios de turno y las pausas.	N/A	Comercialización	Europa, Asia, Africa y América	DL422iE Equipo de perforación de barreno largo — Sandvik Mining and Rock Technology
48	Focor	Cargador	*FKWJ-0.6E *FKWJ-0.75E *FKWJ-1E *FKWJ-2E *FKWJ-3E *FKWJ-6E	Minero	Eléctrico	30 - 180	n.d	Funcionamiento con cable de acuerdo con referencias fotográficas.	1,200 Kg - 12,000 Kg	Comercialización	América, Pakistan, Russia, Africa, Europa Este.	China Electric Scooptram Suppliers - Good Price Electric Scooptram for Sale - Focor (focormach.com)
49	Kobelco	Excavadora	17SR	Construcción	Eléctrico	n.d	n.d	n.d	1,700 Kg	Desarrollo	NA	Acceso al enlace aquí
50	Sumitomo	Excavadora	SH200HB-7	Construcción	Híbrido	119	n.d	Funcionamiento híbrido, almacenamiento de energía a través de condensador.	Peso operativo: 21,900 Kg	Comercialización	n.d	Híbrido SH200HB-7 Sumitomo Construction Machinery Corporation (sumitomokenki.co.jp)




N/A: no aplica; n.d.: no disponible.




Anexo 2. Banco de imágenes MMNC de cero emisiones.

Tabla A 2. Imágenes MMNC de cero emisiones.

ID	Imagen	Fuente
1		<p>https://suncar-website.fra1.digitaloceanspaces.com/media/filer_public/49/bb/49bb214f-b4bd-45af-ac46-e82912debd22/brochure-ze85-kteg.pdf</p>
2		<p>https://www.directindustria.es/prod/ammann/product-41134-2052883.html</p>
3		<p>Dumpers articulados y rígidos - Conoce nuestra gama AUSA Web Oficial</p>

ID	Imagen	Fuente
4	 A white and black Bobcat E19e mini excavator is shown from a side profile against a white background. The machine features a black cab, a white boom with yellow accents, and a black bucket. The tracks are black with yellow highlights.	<p>Miniexcavadora Bobcat E19e</p>
5	 A Bobcat E10electric mini excavator is shown in operation inside a building under renovation. A worker wearing a white hard hat and a high-visibility vest is seated in the cab, operating the machine. The excavator is positioned on a concrete floor, and its arm is extended towards a wall.	<p>Miniexcavadora Bobcat E10e</p>
6	 A CASE 580 EV backhoe loader is shown in an outdoor setting, likely a construction site. The machine is orange and black, with a large black bucket raised. The background shows a clear sky and some distant structures.	<p>CASE 580 EV - The Industry's First Fully Electric Backhoe Loader CASE Construction Equipment (casece.com)</p>




ID	Imagen	Fuente
10		<p>Caterpillar anuncia cuatro prototipos de máquinas eléctricas - Construcción Latinoamericana (construccionlatinoamericana.com)</p>
11		<p>C10162830 (scene7.com)</p>
12		<p>Cargue y cambie la forma en que mira los adoquines</p> <ul style="list-style-type: none">• Dynapac - Fayat Group




ID	Imagen	Fuente
13	 A yellow Epiroc ST7 battery loader, shown from a side profile. It has a large yellow bucket and is equipped with large, treaded tires. The machine is compact and designed for underground use.	Pala de Batería ST7 Pala subterránea Epiroc
14	 A yellow Epiroc EST1030 Scooptram, shown from a rear three-quarter view. It features a large yellow bucket and a complex rear structure with various mechanical components and sensors. It has large, treaded tires.	Scooptram EST1030 Pala subterránea Epiroc
15	 A yellow Epiroc EST2D Scooptram, shown from a front three-quarter view. It has a large yellow bucket and a robust frame. The machine is designed for underground environments and has large, treaded tires.	Scooptram EST2D Cargadora subterránea Epiroc

ID	Imagen	Fuente
16	 A yellow underground loader, the Scooptram EST3.5, shown from a front-three-quarter view. It has a large yellow bucket and is designed for underground use.	Scooptram EST3.5 Cargadora subterránea Epiroc
17	 A yellow battery bucket, the ST14, shown from a side view. It is a large, heavy-duty bucket with a yellow body and a black frame, designed for underground use.	Pala de Batería ST14 Pala subterránea Epiroc
18	 A yellow underground truck, the Minetruck MT2010 Battery, shown from a side view. It has a large yellow body, a black frame, and a large black tire. The text "MT2010 BATTERY" is visible on the side.	Minetruck MT2010 Battery Epiroc




ID	Imagen	Fuente
19		<p>Underground truck Minetruck MT42 Battery Epiroc</p>
20		<p>Faresin presenta el Big Range full electric en Bauma (noticiasmaquinaria.com)</p>
21		<p>La miniexcavadora a batería de 5 toneladas comenzará a aceptar pedidos en el mercado europeo - Hitachi Construction Machinery (hitachicm.com)</p>




ID	Imagen	Fuente
22		<p>Las miniexcavadoras y compactas alimentadas por batería se exhibirán en bauma 2022 - Hitachi Construction Machinery (hitachicm.com)</p>
23		<p>Electric Construction Machinery - Hitachi Construction Machinery (hitachicm.com)</p>
24		<p>19C-1E Miniexcavadoras JCB.com</p>




ID	Imagen	Fuente
25		<p>https://www.jcb.com/es-es/productos/d%C3%BAmperes/1te</p>
26		<p>JCB Lanza al mercado la primera Excavadora impulsada por hidrógeno de la industria - JCB</p>
27		<p>El prototipo de la retroexcavadora eléctrica de John Deere, a prueba en obras reales - Novedades - Híbridos y Eléctricos Coches enchufables (hibridosyelectricos.com)</p>




ID	Imagen	Fuente
28		<p>John Deere presenta un tractor eléctrico y autónomo que no necesita baterías - Actualidad - Híbridos y Eléctricos Coches eléctricos, híbridos enchufables (hibridosyelectricos.com)</p>
29		<p>Keestrack B7e frantoio a mascelle Keestrack</p>
30		<p>MR 130i EVO2 Molinos de impacto móviles Kleemann (wirtgen-group.com)</p>




ID	Imagen	Fuente
31	 A yellow Komatsu PC210E electric excavator is shown in a museum or exhibition setting. The machine is positioned on a raised platform. In the background, a blue banner with the text "On the way to electrification" is visible. The excavator's arm is extended, and its bucket is resting on the ground.	<p>¡Electrizante! La excavadora PC210E de Komatsu con motor Proterra - Carreteras Pan-Americana (carreteras-pa.com)</p>
32	 A red Manitou MRT 2260 360 e telescopic forklift is shown against a white background. The machine is a compact, four-wheeled vehicle with a telescopic mast and a bucket attachment. A blue logo featuring a stylized 'M' and a lightning bolt is overlaid on the image.	<p>Manitou MRT 2260 360 e, télescopiques rotatifs - Manitou</p>
33	 Two green Vögele mini pavers are shown side-by-side. The machines are compact, four-wheeled vehicles with a hopper at the front and a paving mechanism at the back. The Vögele logo is visible on the side of each machine.	<p>Bauma 2022 Nuevas mini pavimentadoras de carretera de VÖGELE (wirtgen-group.com)</p>



ID	Imagen	Fuente
34	 A black and yellow Volvo ECR25 Electric tracked excavator is shown from a three-quarter front view. It features a large hydraulic bucket and a rear-mounted blade. The Volvo logo is visible on the boom.	<p>ECR25 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)</p>
35	 A black and yellow Volvo ECR18 Electric tracked excavator is shown from a three-quarter front view. It has a compact design with a hydraulic bucket and a rear blade. The Volvo logo is on the boom.	<p>ECR18 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)</p>
36	 A black and yellow Volvo L25 Electric wheel loader is shown from a three-quarter front view. It has a large front-mounted bucket and large, treaded tires. The Volvo logo is on the front fender.	<p>L25 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)</p>

ID	Imagen	Fuente
37	 A yellow and black Volvo L20 Electric wheel loader is shown from a front-three-quarter view. It has a large black bucket and large, treaded tires. The Volvo logo is visible on the side of the machine.	<p>L20 Electric Electric Machines Overview Volvo Construction Equipment (volvoce.com)</p>
38	 A blue and orange Kenki ZE19-T tracked excavator is shown in an outdoor setting. The operator is wearing a high-visibility yellow jacket. The machine has a large black bucket and is mounted on a track system.	<p>ZE19-T Grupo de Tecnología Kenki (kteg-company.com)</p>
39	 A red and white Takeuchi TB260E tracked excavator is shown from a front-three-quarter view. It has a large black bucket and is mounted on a track system. The machine is shown against a plain white background.	<p>Takeuchi TB260E kaufen & mieten Huppenkothen GmbH</p>

ID		Imagen	Fuente
40			<p>LB 16 unplugged Pilotadora de rotación Liebherr</p>
41			<p>https://www.liebherr.com/es/col/productos/gr%C3%BAas-automotrices-y-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas/gr%C3%BAas-sobre-orugas-lr/details/lr12501unplugged.html</p>
42			<p>T 236 Liebherr</p>

ID	Imagen	Fuente
43		<p>LH 26 M Industry Litronic Liebherr</p>
44		<p> https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/89386.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/89390.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/89388.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/68702.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/68706.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/68710.html </p>
45		<p> https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/68521.html https://www.liebherr.com/es/col/productos/manipulaci%C3%B3n/m%C3%A1quinas-para-la-manipulaci%C3%B3n-de-materiales-de-accionamiento-el%C3%A9ctrico/details/68529.html </p>

ID	Imagen	Fuente
46	 A large orange and white Sandvik DD422i electric drilling and jumbo machine is shown in a dark, rocky underground mine environment. The machine is equipped with multiple long drill pipes and is positioned on a wet, reflective floor. A QR code is visible in the bottom left corner of the image.	<p>Sandvik DD422iE Equipo eléctrico de perforación y jumbo para minería — Sandvik Mining and Rock Technology</p>
47	 A large orange and white Sandvik DL422i long-hole drilling machine is shown in a mine setting. The machine is positioned on a concrete floor, and its complex drilling mechanism is clearly visible. The background shows the rough, grey walls of a tunnel.	<p>DL422i Equipo de perforación de barreno largo — Sandvik Mining and Rock Technology</p>
48	 A red electric underground loader is shown against a plain white background. The machine has a large, black-tipped bucket and is designed for use in underground environments. It features large, heavy-duty tires and a compact body.	<p>Proveedores de cargadores subterráneos eléctricos de China - Precio del cargador subterráneo eléctrico - Focor (focormach.com)</p>

ID	Imagen	Fuente
49		<p>KOBELCO lanza su primera mini excavadora eléctrica (noticiasmaquinaria.com)</p>
50		<p>https://www.sumitomokenki.co.jp/excavator/sh200hb-7/</p>

Anexo 3. Fichas técnicas MMNC cero emisiones.

(ver carpeta anexa)

Anexo 4. Revisión de casos de uso de MMNC e instrumentos.

(ver archivo anexo)

Referencias

- Amogys. (2022). *Amogy's Ammonia-Powered Tractor*.
- Anenberg, S., Miller, J., Henze, D., & Minjares, R. (2019). *A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015*. www.theicct.org
- Anglo American. (2022a). *Apuntamos al desarrollo del hidrógeno para un futuro sostenible*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/innovacion/energias-renovables/apuntamos-al-desarrollo-del-hidrogeno-para-un-futuro-sostenible>
- Anglo American. (2022b). *El Proyecto: Así se construye Quellaveco*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/quellaveco/el-proyecto>
- Anglo American. (2022c). *Gestión Ambiental*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/sustentabilidad/gestion-integrada-she/gestion-ambiental>
- Anglo American. (2022d). *La electromovilidad llegó a Quellaveco*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/innovacion/energias-renovables/la-electromovilidad-llego-a-quellaveco>
- Anglo American. (2022e). *Seguimos adelante: presentamos nuestra primera pala eléctrica*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/quellaveco/el-proyecto/seguimos-adelante-presentamos-nuestra-primer-pala-electrica>
- Balakrishnan, K., Dey, S., Gupta, T., Dhaliwal, R. S., Brauer, M., Cohen, A. J., Stanaway, J. D., Beig, G., Joshi, T. K., Aggarwal, A. N., Sabde, Y., Sadhu, H., Frostad, J., Causey, K., Godwin, W., Shukla, D. K., Kumar, G. A., Varghese, C. M., Muraleedharan, P., ... Dandona, L. (2019). The impact of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across the states of India: the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Planetary Health*, 3(1), e26–e39. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30261-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30261-4)
- Belladonna. (2022, July 13). *Database: Emission-free Construction Equipment (by manufacturer)*. <https://bellona.org/database-emission-free-construction-equipment-by-manufacturer>
- Bernard, L. (2022, February). Principales ciudades del mundo impulsan equipos de construcción eléctricos. *Construcción Latinoamericana*.
- Bhatt, A., & Shao, Z. (2022, November 22). *India's electric tractors are ready but idling*. The International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/indias-electric-tractors-nov22/>
- Boliden. (2022). *The world's most efficient open-pit copper mine*. The world's most efficient open-pit copper mine
- C40. (2021). *Clean Construction Coalition*. <https://www.c40.org/news/clean-construction-coalition-halve-emissions-2030/>
- CALAC+. (2022). *Avances y desafíos de la transformación de la maquinaria a tecnologías de cero emisiones*. https://www.youtube.com/watch?v=_NF4sKm1Kol&t=3779s
- Calstart. (2022a). *Calstart - Mission*. <https://calstart.org/mission/>

- Calstart. (2022b). *The Beachhead Strategy: A Theory of Change for Medium- and Heavy-Duty Commercial Transportation*. October.
- Caterpillar. (2022). *795F AC Mining Truck*. <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C723159>
- Caterpillar. (2022). *Caterpillar. Cat® MineStar™ Solutions*. <https://www.cat.com/minestar>
- CCCS, & MADS. (2022). *Hoja de Ruta Edificaciones Neto Cero Carbono*.
- Codelco. (2019, April 24). *Codelco estrena equipos mineros híbridos únicos en el mundo*.
- Codelco. (2022a). *Codelco estrenó el primer cargador subterráneo 100% eléctrico de Sudamérica*. <https://www.codelco.com/codelco-estreno-el-primer-cargador-subterraneo-100-electrico-de-sudamerica>
- Codelco. (2022b, August 18). *Mineros y mineras de Codelco se transportarán en los primeros buses eléctricos hechos en Chile*. https://www.codelco.com/mineros-y-mineras-de-codelco-se-transportaran-en-los-primeros-buses/prontus_codelco/2022-08-18/091249.html
- Construcción Latinoamericana. (2022). *Principales ciudades del mundo impulsan equipos de construcción eléctricos*. www.construccionlatinoamericana.com
- Delgado, O., & Pettigrew, S. (2022, April 12). *Nueva legislación en Chile muestra su liderazgo climático*. <https://theicct.org/chile-latam-lvs-leg-apr22/>
- DieselNet. (2022). *Emission Standards India: Nonroad Diesel Engines*. <https://dieselnet.com/standards/in/nonroad.php#stds4>
- DNV GL. (2019). *Perspectives on Zero Emission Construction*. Climate Agency, City of Oslo.
- Farres, H. (2022). *Amogy prueba con éxito el primer tractor con combustible amoníaco y cero emisiones*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/natural/20220925/8542586/amogy-prueba-con-exito-el-primer-tractor-con-combustible-amoniac-y-cero-emisiones-pmv.html>
- Ferreyros. (2022a). *Ferreyros y Quellaveco a la vanguardia de la tecnología en la minería peruana*. <https://www.ferreyros.com.pe/noticia/ferreyros-y-quellaveco-a-la-vanguardia-de-la-tecnologia-en-la-mineria-peruana/>
- Ferreyros. (2022b, August 20). *Ferreyros lanza camión eléctrico cat de 320 toneladas*. <https://www.ferreyros.com.pe/articulo/ferreyros-lanza-camion-electrico-cat-de-320-toneladas/>
- Ferreyros. (2022c, November 4). *Ferreyros pone en operación camiones eléctricos CAT de 400 toneladas*. <https://www.ferreyros.com.pe/noticia/ferreyros-pone-en-operacion-camiones-electricos-cat-de-400-toneladas/>
- Florentini. (2020). *Implementan el primer proyecto de camiones mineros autónomos del Perú*. Kronos 365. <https://kronos365.com/implementan-el-primer-proyecto-de-camiones-mineros-autonomos-del-peru/>

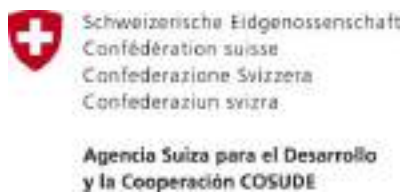
- Gemeente Amsterdam. (2021, June 22). *Policy: Clean air*.
<https://www.amsterdam.nl/en/policy/sustainability/circular-economy/>
- Gobierno de Chile. (2020). *Política Nacional Minera 2050 Una minería sostenible para Chile*.
<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/20200709-Pol%C3%ADtica-Nacional-Minera-2050.pdf>
- Gobierno de Chile. (2021). *Estrategia Nacional de Electromovilidad 2021*.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf
- KlimaOslo. (2020). *Oslo kommune Nivå 2 Nivå 3 Oslo kommune Climate Change Adaptation Strategy for the City of Oslo*. <http://44mpa.pl/wp-content/uploads/2017/02/Climate-Change-Adaptation-Strategy-for-the-City-of-Oslo-2014-2030.pdf>
- KlimaOslo. (2021a). *Oslo Climate Budget*.
<https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/en-gb/pdfs/stm202020210013000engpdfs.pdf>
- KlimaOslo. (2021b). *Oslo kommune Climate and Energy Strategy for Oslo*. <https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2018/06/Climate-and-Energy-Strategy-2016-English.pdf>
- Liebherr. (2022). *Liduro Power Port*. <https://www.liebherr.com/en/gbr/products/components/control-technology-electronics/power-electronics/energy-storage-systems/liduro-power-port.html>
- London City Hall. (2022, April 5). *London's "Low Emission Zone" for Non-Road Mobile Machinery*.
<https://www.london.gov.uk/programmes-and-strategies/environment-and-climate-change/pollution-and-air-quality/nrmm>
- MCoppa. (2021). *Minería peruana suma tecnologías autónomas*. Minería Pan Americana. <https://www.mineria-pa.com/reportajes/mineria-peruana-suma-tecnologias-autonomas/>
- Nasta. (2019). *Zero emission construction machinery*.
<https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/zero-emission-construction-machinery/>
- Nasta. (2020). *Groundbreaking development into zero emission construction machinery turn Norwegian building sites into world leading laboratory*. <https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/zero-emission-construction-machinery/>
- Nasta. (2022a). *Nasta electrifies heavy construction machinery with ABB motors and drives*.
<https://www.energyefficiencymovement.com/en/nasta-electrifies-heavy-construction-machinery-with-abb-motors-and-drives/>
- Nasta. (2022b). *Zero emission construction machinery*.
[https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/zero-emission-construction-machinery/#:~:text=Groundbreaking development into zero emission,developed new emission-free excavators.](https://www.nasta.no/anleggsmaskiner/spesialmaskiner/elektriske-anleggsmaskiner/zero-emission-construction-machinery/#:~:text=Groundbreaking%20development%20into%20zero%20emission,developed%20new%20emission-free%20excavators.)

- Parlamento Europeo en Barcelona. (2022). *Hacia la reducción del 55% de emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, con Antoni Comín*. <https://www.europarl.europa.eu/spain/barcelona/es/oficina-en-barcelona/reducci%C3%B3n-55-por-ciento-emisiones-gases-efecto-invernadero-para-2030-con-antoni-comin>
- Revista Energiminas. (2019). *Minería*. <https://energiminas.com/tendremos-la-primera-perforadora-100-electrica-hecha-en-el-peru-ceo-de-resemin/>
- Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá - SDM. (2022). *Zonas Urbanas por un Mejor Aire: estrategia para reducir concentraciones atmosféricas en áreas específicas de Bogotá*. https://www.movilidadbogota.gov.co/web/noticia/zonas_urbanas_por_un_mejor_aire_estrategia_para_reducir_concentraciones_atmosfericas_en
- Shao, Z. (2016). *An emissions inventory for agricultural tractors and construction equipment in India*. <http://www.iasri.res.in/agridata/15data/>.
- Shao, Z. (2022). *Low-emission zones and zero-emission construction equipment in China: An untapped policy opportunity*.
- Shao, Z., & Anup, S. (2022). *Incentives for electrifying agricultural tractors in India*. www.theicct.org
- Sokolsky, S. (2022). *Seminario CALAC+: Avances y desafíos de la transformación de la maquinaria a tecnologías de cero emisiones*. Seminario CALAC+. <https://programacalac.com/publicaciones/avances-y-desafios-de-la-transformacion-de-la-maquinaria-a-tecnologias-cero-emisiones/>
- Sonalika. (2022). *Sonalika Tiger Electric*. <https://www.sonalika.com/tractor/tiger-electric#Variant>
- Streamio. (2022). *El trolley en Bolíden Principales ciudades del mundo impulsan equipos de construcción eléctricos*. https://streamio.com/api/v1/videos/5d91d3c96f8d8dfdc4000002/public_show?link=true&player_id=59ed3d56f8d8d20b5000001
- The Explorer. (2022). *Zero-emission construction machinery*. <https://www.theexplorer.no/solutions/zero-emission-construction-machinery/>
- Tractor and Mechanization Association (TMA). (2023). *Industry statistics 2022*. <https://www.tmaindia.in/consolidated-monthly-reports-2022.php>
- UNFCCC. (2020). *Norway's long-term low-emission strategy for 2050*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS1_Norway_Oct2020.pdf
- Valdéz, M. (2022). *Seminario CALAC+: Avances y desafíos de la transformación de la maquinaria a tecnologías de cero emisiones*. Seminario CALAC+. <https://programacalac.com/publicaciones/avances-y-desafios-de-la-transformacion-de-la-maquinaria-a-tecnologias-cero-emisiones/>
- Wackerneuson. (2022). *Máquinas para la construcción eléctricas: nuestras soluciones zero emission*. <https://www.wackerneuson.es/>



Es un Programa de:

Ejecutado por:



calac@swisscontact.org.pe
www.programacalac.com
Facebook: @CALACplus
Twitter: @Calacplus

Calle José Gálvez N° 692 - Piso 7, Miraflores
Lima 15073, Perú,
Teléfonos: +51 (0)1 500 5075
www.swisscontact.org