

# Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para maquinaria fuera de ruta.

Elaborado para el Ministerio del Medio Ambiente por Geasur, con el objetivo de estudiar las emisiones que generan las maquinarias fuera de ruta. Para ello se elaboró un inventario de emisiones con una estimación de maquinaria de construcción existente en la Región Metropolitana.



Website: [www.geasur.cl](http://www.geasur.cl)

Permitida la reproducción parcial o total de los contenidos de esta documento con mención de la fuente.



# Elaboración de diagnóstico e inventario de emisión para maquinaria fuera de ruta.

Noviembre 2013 | Para: Ministerio de Medio Ambiente

Desarrollado por:



Geasur, Tecnología y Medioambiente  
[www.geasur.cl](http://www.geasur.cl)

---

**Elaborado por:**



**Geasur, Tecnología y Medioambiente**  
[www.geasur.cl](http://www.geasur.cl)

**Aliosha Reinoso**

**Jefe de proyecto**

**Lucy Sadler**

**Experta internacional**

**Luz Bustillos**

**Abogada**

**Luis Sánchez**

**Ingeniero civil en transportes**

**Carlos Marín**

**Constructor civil**

**Francisca López**

**Ingeniera de proyecto**

**Emmanuel Mesías**

**Ingeniero de proyecto**

---

# Introducción

El presente documento corresponde al resumen ejecutivo del estudio “Elaboración de diagnóstico e inventario de emisiones”, en el cual se realiza un análisis del estado actual de la maquinaria fuera de ruta a nivel nacional (Maquinaria nueva) y un inventario de emisiones para la maquinaria existente en el sector de la construcción en la Región Metropolitana.

Para llevar a cabo este estudio se realizaron las siguientes actividades:

- revisión bibliográfica sobre maquinaria fuera de ruta, a nivel nacional e internacional,
- caracterización de la maquinaria fuera de ruta a nivel internacional,
- recopilación de estadísticas de importaciones y estadísticas sectoriales de actividad,
- desarrollo de encuestas a usuarios y distribuidores de maquinaria,
- visitas a obras en construcción,
- modelación de las emisiones para el rubro de la construcción en la RM,
- validación del inventario de emisiones a través de estadísticas nacionales e internacionales,
- análisis regulatorio sobre maquinaria fuera de ruta y propuestas normativas,
- investigación sobre el esquema de construcción limpia en Europa.

## LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

De la información obtenida en los antecedentes internacionales se revisaron dos metodologías para realizar inventario de emisiones: EPA y Corinair. De esta información se obtuvo también la tipología y los rangos de potencia característicos de la maquinaria fuera de ruta existente en cada rubro de la economía.

Se revisaron también las principales legislaciones internacionales (EPA y EURO), las que se encuentran bastante homologadas entre sí, tanto en lo que respecta a rangos de potencia normados, límites máximos de emisión y protocolos de medición. Con lo anterior se hace posible exigir indistintamente cualquiera de las dos legislaciones, aplicando similar nivel de exigencia.

Para enmarcar los alcances y resultados del estudio tuvo que definirse la maquinaria fuera de ruta, para la cual se utilizó la definición de la normativa Europea, como sigue:

“Cualquier máquina móvil o equipo industrial portátil o vehículo con o sin carrocería, no destinados al transporte de pasajeros o mercancías por carretera, aptos para desplazarse sobre el suelo, con o sin carretera y que funciona en base a motores de combustión interna, de encendido por compresión, con una potencia neta instalada, igual o superior a 19 kW pero inferior a 560 kW.  
Se excluyen los motores destinados a la propulsión de automotores, locomotoras u otros elementos y equipos ferroviarios que se desplacen sobre rieles, barcos, aeronaves y vehículos de recreación.”

## ESTIMACIÓN DE LA FLOTA DE MAQUINARIA FUERA DE RUTA

Para estimar la flota de la maquinaria fuera de ruta se realizó una recopilación de estadísticas nacionales (Instituto Nacional de Estadísticas, Aduanas, Resoluciones de Calificación Ambiental Cámara Chilena de la Construcción y plantas de revisión técnica), siendo las estadísticas de importaciones de equipos entre el 2000 y 2012, proveniente de Aduanas, la principal fuente de información de referencia.

La estimación final de la flota de maquinaria fuera de ruta a nivel nacional al año 2012, es la siguiente:

Maquinaria	Rubros	Cantidad Nacional 2012
Tractor	Agrícola	26.830
Cosechadora	Agrícola	2.334
Plataforma Telescópica	Agrícola	2.016
Desmalezador	Agrícola	1.550
Sembradora	Agrícola	1.452
Maquina Vendimiadora	Agrícola	249
Recolector Agrícola	Agrícola	238
Sacudidor	Agrícola	80
Trilladora	Agrícola	34
Deshojadora	Agrícola	31
Zanjadora	Agrícola	24
Retroexcavadora	Construcción	8.758
Cargador Frontal	Construcción	5.078
Excavadora	Construcción	4.924
Minicargador	Construcción	4.608
Rodillo	Construcción	2.849
Perforador	Construcción	2.418
Plataforma Telescópica	Construcción	2.160
Camión Tolva	Construcción	1.306
Bulldozer	Construcción	1.242
Grúa Horquilla	Construcción	1.236
Motoniveladora	Construcción	1.219
Manipulador	Construcción	1.082
Miniexcavadora	Construcción	416
Asfaltadora	Construcción	236
Grúa Telescópica	Construcción	215
Tiendetubo	Construcción	144
Maq. para Hacer Túneles	Construcción	114

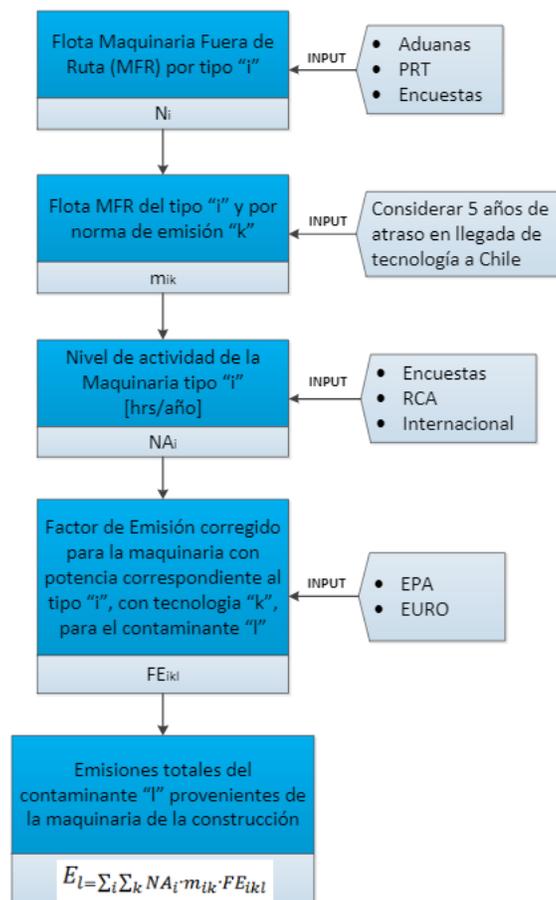
Maquinaria	Rubros	Cantidad Nacional 2012
Dumper	Construcción	71
Zanjadora	Construcción	28
Tractor	Forestal	641
Cargador De Troncos	Forestal	470
Arrastrador De Tronco	Forestal	122
Grúa Telescópica	Forestal	60
Rodillo	Forestal	2
Grúa Horquilla	Industrial	6.686
Plataforma Telescópica	Industrial	803
Cargador Frontal	Industrial	735
Manipulador	Industrial	372
Rodillo	Industrial	55
Grúa Telescópica	Industrial	38
Minicargador	Minería	748
Perforador	Minería	2.407
Camión Tolva	Minería	1.979
Retroexcavadora	Minería	1.860
Excavadora	Minería	1.364
Cargador Frontal	Minería	1.099
Grúa Horquilla	Minería	444
Bulldozer	Minería	349
Motoniveladora	Minería	333
Maq. Para Hacer Túneles	Minería	304
Dumper	Minería	291
Rodillo	Minería	15
Zanjadora	Minería	7
<b>Total</b>		<b>94.123</b>

Estimación de parque maquinaria fuera de ruta a nivel nacional, 2012

## MODELO DE EMISIONES MAQUINARIA CONSTRUCCIÓN RM

Para modelar las emisiones de la flota de maquinaria fuera de ruta, se analizaron dos metodologías de cálculo: CORINAIR y EPA.

Ambos modelos obedecen a un enfoque Bottom-Up, que comienza con niveles de actividad y factores de emisión según tecnología y rango de potencia por cada maquinaria y los integra a nivel de la flota. Sin embargo, considerando el tipo de información disponible, el inventario de emisiones se desarrolló con el modelo europeo. Para los factores de emisión se debieron calcular factores de ajuste por operación transiente de los motores y factores de deterioro. A continuación se presenta un diagrama que resume el modelo Bottom-Up propuesto:



Propuesta modelo de emisiones Bottom-Up para maquinaria fuera de ruta, Construcción-RM.

Como se observa en el diagrama, los inputs del modelo se obtienen desde estadísticas nacionales, encuestas realizadas por el consultor y antecedentes internacionales.

Para determinar la flota de la maquinaria de la construcción existente en la Región Metropolitana, el nivel de actividad y la potencia media, se realizaron encuestas a las constructoras; encuestas a los representantes de los fabricantes y distribuidores; visitas a terreno en construcción y revisión las Resoluciones de Calificación Ambiental en el Servicio de Evaluación Ambiental.

Los datos recopilados fueron comparados con la información internacional, obteniéndose escenarios o rangos en los que oscilaba la potencia y el nivel de actividad, los resultados son los siguientes:

Tipo Maquinaria	Corinair	Corinair + Terreno	Corinair + Distribuidores
Retroexcavadora	1200	1600	1200
Rodillo Compactador	600	600	600
Excavadora	1200	1200	1888
Cargador	1200	1200	2442
Minicargador	700	2209	700
Perforador	700	700	700
Motoniveladora	700	700	700
Grúa Horquilla	700	700	700
Grúa telescópica	700	700	700
Bulldozer	1100	1100	1100
Miniexcavadora	1200	1200	1200
Asfaltadora	700	700	700
Manipulador telescópico	1.000	1.000	1.000
Plataforma telescópica	925	925	925
Tiendetubo	700	700	700
Zanjadora	593	593	593
Máquina para hacer túneles	700	700	700

**Nivel de actividad maquinaria fuera de ruta, construcción.**

Como se observa el nivel de actividad tiene como dato mínimo lo reportado internacionalmente, luego se realizan combinaciones de escenarios, escogiendo el valor máximo de nivel de actividad en cada caso.

A continuación se presentan los niveles de potencia obtenidos en las distintas fuentes de información, como un valor mínimo, promedio y máximo:

Tipo Maquinaria	Potencia mínima	Potencia Promedio	Potencia Máxima
Retroexcavadora	64	83	101
Rodillo Compactador	30	75	99
Excavadora	76	106	135
Cargador	102	129	175
Mini cargador	30	42	59
Perforador	113	113	113
Motoniveladora	100	131	147
Grúa Horquilla	67	75	83
Grúa telescópica	220	220	220
Bulldozer	123	214	326
Mini excavadora	21	21	28
Asfaltadora	78	96	129
Manipulador telescópico	35	61	75
Plataforma telescópica	47	49	50
Tiendetubo	213	213	213
Zanjadora	100	100	100
Máquina para hacer túneles	83	83	83

**Potencia mínima, promedio y máxima de maquinaria fuera de ruta, construcción.**

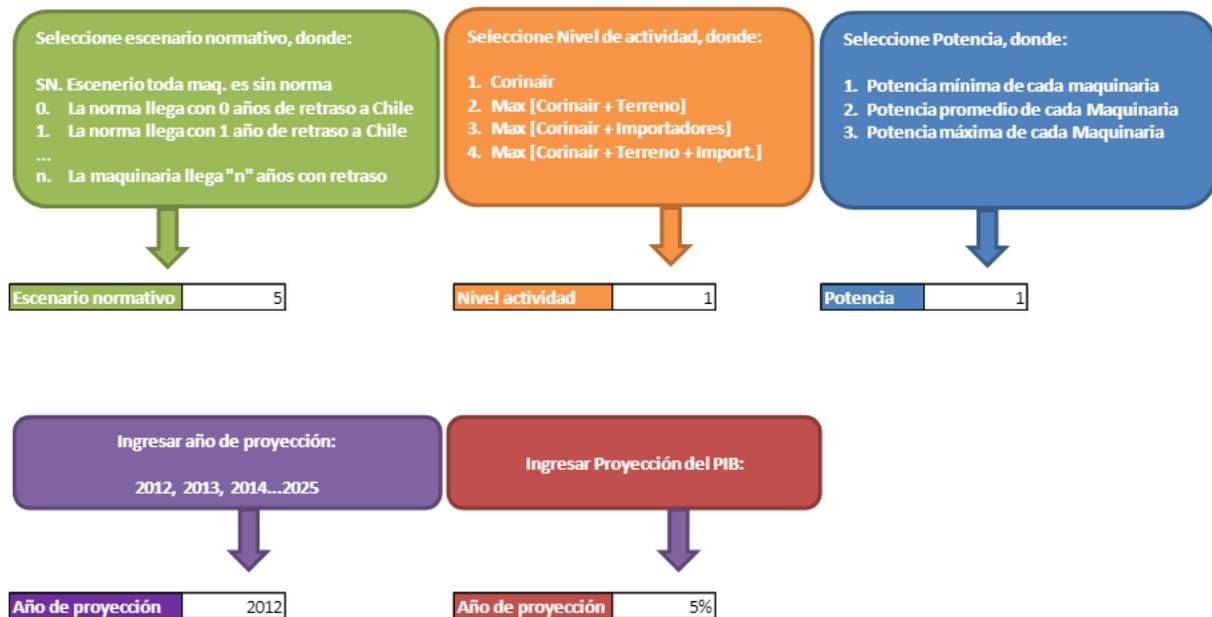
En cuanto a la estimación de la flota de la maquinaria fuera de ruta de la construcción para la Región Metropolitana esta se calcula partir de las distintas fuentes de información, quedando como sigue:

<b>Maquinaria</b>	<b>Cantidad 2012</b>
Retroexcavadora	4.466
Excavadora	4.466
Cargador Frontal	2.590
Minicargador	2.350
Rodillo	1.453
Perforadora	1.233
Plataforma Telescópica	1.101
Bulldozer	634
Grúa Horquilla	630
Motoniveladora	622
Manipulador	552
Miniexcavadora	212
Asfaltadora	120
Grúa Telescópica	110
Tiendetubo	73
Maquina Para Hacer Túneles	58
Zanjadora	14
<b>Total Construcción RM 2013</b>	<b>20.686</b>

Estimación maquinaria fuera de ruta,  
Construcción-RM, 2012.

## INVENTARIO DE EMISIONES MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EN LA RM

Para realizar el cálculo de las emisiones de la maquinaria fuera de ruta del sector construcción, este consultor elaboró un modelo de cálculo en Excel, que permite evaluar distintos escenarios de simulación considerando valores de potencia, de nivel de actividad y de cumplimiento de normas de emisión para la maquinaria existente. Esto último se hizo considerando escenarios hipotéticos ya que no fue posible, por falta de información, debida a la ausencia de regulación para este sector, determinar cuál era el nivel de cumplimiento de norma de emisión de la flota existente.



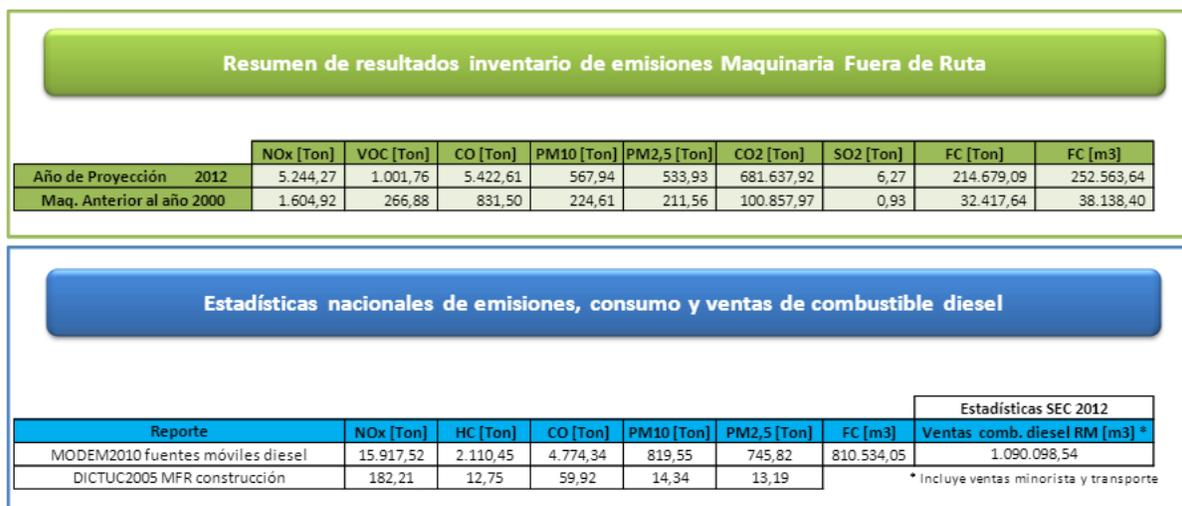
### Modelo de cálculo de emisiones de la maquinaria fuera de ruta, Construcción-RM.

El año base del cálculo es 2012, considerando que la información disponible para las recopilación de todas las estadísticas disponibles considera el cierre del año 2012.

Asimismo, el modelo permite realizar proyecciones de las emisiones de este sector, para distintos cortes temporales entre el 2013 al 2025, ajustando el nivel de actividad sobre la base del crecimiento promedio del PIB durante el periodo y seleccionando distintos escenarios normativos. Además el modelo entrega también como valores para la comparación de los resultados, los valores de emisiones y consumo de combustible para fuentes móviles calculados por MODEM para el año 2010 y las ventas de combustible para empresas de transporte y distribución minorista, los que debieran coincidir con el total del

consumo de fuentes móviles más el de fuera de ruta para la construcción, toda vez que se ha descontado el consumo de grandes clientes.

A continuación se presenta una imagen que muestra los resultados del modelo:



**Resumen de resultados de emisiones de maquinaria fuera de ruta, Construcción-RM.**

Considerando las variables de entrada del modelo es posible generar múltiples escenarios para la estimación de línea base 2012. En la tabla que sigue se presentan 6 escenarios de cálculo. Los escenarios 1 a 4 modifican el Nivel de Actividad considerando el rango mínimo de potencia y 5 años de retraso en la llegada de los motores con cumplimiento de la legislación internacional a Chile, denominado escenario tecnológico optimista (el escenario tecnológico pesimista supone que no hay ningún sistema de control de emisiones en la maquinaria nacional). Al comparar para estos escenarios el consumo de combustible implicado más el consumo calculado por MODEM para fuentes móviles, con el consumo real (columna TOTAL/REAL de la Tabla), se observa que los escenarios de menor actividad (1 y 2), son los que se ajustan mejor al consumo real, por lo que se escoge el escenario de menor nivel de actividad y el mínimo rango de potencia para la proyección final (elección conservadora respecto de las emisiones).

Escenario	Potencia	Años Retraso	N. Activ.	NOx [Ton]	VOC [Ton]	CO [Ton]	PM10 [Ton]	PM2,5 [Ton]	CO2 [Ton]	SO2 [Ton]	FC MODELO [m3]	FC MODEM [m3]	FC TOTAL [m3]	FC REAL [m3]	TOTAL/REAL
1	1	5	1	5244,27	1001,76	5422,61	567,94	533,93	681637,92	6,27	252563,64	810534,05	1063097,69	1090098,54	0,98
2	1	5	2	6190,53	1205,76	6410,99	704,58	662,47	780157,61	7,17	289132,50	810534,05	1099666,55	1090099,54	1,01
3	1	5	3	7185,20	1336,19	7256,92	753,84	708,33	946774,85	8,70	350742,07	810534,05	1161276,12	1090100,54	1,07
4	1	5	4	8131,46	1540,19	8245,30	890,48	836,87	1045294,55	9,61	387310,94	810534,05	1197844,99	1090101,54	1,10
5	1	S/N	1	10532,79	1753,28	5487,68	1474,49	1388,80	679245,59	6,24	252563,64	810534,05	1063097,69	1090102,54	0,98
6	2	5	1	6818,57	1226,83	6550,03	655,02	615,34	905575,96	8,32	335402,68	810534,05	1145936,73	1090103,54	1,05

**Escenarios para la estimación de línea base de emisiones de maquinaria fuera de ruta, Construcción-RM.**

En cuanto al escenario tecnológico se ha escogido para la estimación final el escenario optimista, toda vez que 5 años de retraso en la incorporación de la tecnología al parque ha sido la demora característica para el caso de los vehículos pesados de ruta y que si bien no se cuenta con información precisa, los importadores indican que ya se han venido incorporando al mercado tecnologías de control, tales como turbo-alimentador, inyección electrónica y otros. Este escenario de simulación final propuesto se destaca con amarillo en la tabla anterior.

Para la estimación de la flota se utiliza la información de Aduanas del periodo 2000 al 2012. No obstante la información entregada por PRT según año modelo de la maquinaria de construcción indica que existe un 15% de maquinaria anterior al año 2000, que Aduanas no considera. Este 15% corresponde a aproximadamente a 3102 equipos. Para efectos de cálculos toda esta maquinaria se considerada sin tecnología, lo que bajo las condiciones de nivel de actividad y rangos de potencia simulados, permite un cálculo de emisiones y consumo de combustible como se muestra en la Tabla que sigue:

NOx [Ton]	VOC [Ton]	CO [Ton]	PM10 [Ton]	PM2,5 [Ton]	CO2 [Ton]	SO2 [Ton]	FC [m3]
1.604,92	266,88	831,50	224,61	211,56	100.857,97	0,93	32.417,64

**Estimación de emisiones de la flota de maquinaria fuera de ruta Construcción-RM no incluida en Aduanas.**

Finalmente si se considera o no en el cálculo del inventario esta maquinaria no catastrada en las importaciones, se llega a un valor final estimado que puede situarse entre el valor estimado sin la maquinaria anterior al 2000 (valor mínimo) y el valor que incluya la estimación de maquinaria faltante anterior al 2000 (valor máximo), como se muestra a continuación:

	NOx [Ton]	VOC [Ton]	CO [Ton]	PM10 [Ton]	PM2,5 [Ton]	CO2 [Ton]	SO2 [Ton]	FC [m3]
Mínimo	5.244	1.002	5.423	568	534	681.638	6	252.564
Máximo	6.849	1.269	6.254	793	745	782.496	7	290.702

Agregando estos resultados de consumo más el consumo proyectado por MODEM para 2010 (810.534 m<sup>3</sup>) para fuentes móviles, y comparando con el consumo de combustible diésel total de la Región Metropolitana, que alcanza a 1.090.099 m<sup>3</sup>, deja esta estimación con valores totales de consumo de combustible en -2,4% a +1,1%, por debajo o por sobre el consumo real, dependiendo si se trata del valor mínimo o máximo de la estimación, respectivamente.

Estas emisiones, en PM10 representan entre un 69% y un 97% de las emisiones de motores diésel de ruta de la Región Metropolitana, según modelo MODEM, escenario 2010, y representan entre un 14% y un 20% del inventario de emisiones de la RM<sup>1</sup>. Si comparamos estas cifras con Londres<sup>2</sup>, de 7,4 millones de habitantes, donde las emisiones de maquinaria fuera de ruta de la construcción, para el año 2010, alcanzaron las 601 [ton/año], representando el 15% de PM10, se observa que ambos valores son cercanos al cálculo para la RM.

Por otro lado, en cuanto a la estimación de la flota de máquinas para la construcción, podemos citar el caso de Beijín, que con 3,3 veces más habitantes que la RM (20 millones de habitantes), tiene un total de 100.000 máquinas para la construcción (5 veces más que la flota RM). Considerando la maquinaria anterior a 2000, la proporción se aproxima a 4 veces. Con esto se puede afirmar que la cifra estimada para la RM en este informe puede resultar aún conservadora.

A continuación se entregan las proyecciones esperadas hasta año 2025, sin cambio en el escenario normativo:

<sup>1</sup> Considerando que no existe un inventario de emisiones actualizado se ha considerado para este cálculo el Inventario DICTUC 2005 (proyección 2010), para fuentes fijas, y modelo SECTRA MODEM 2010 para fuentes móviles.

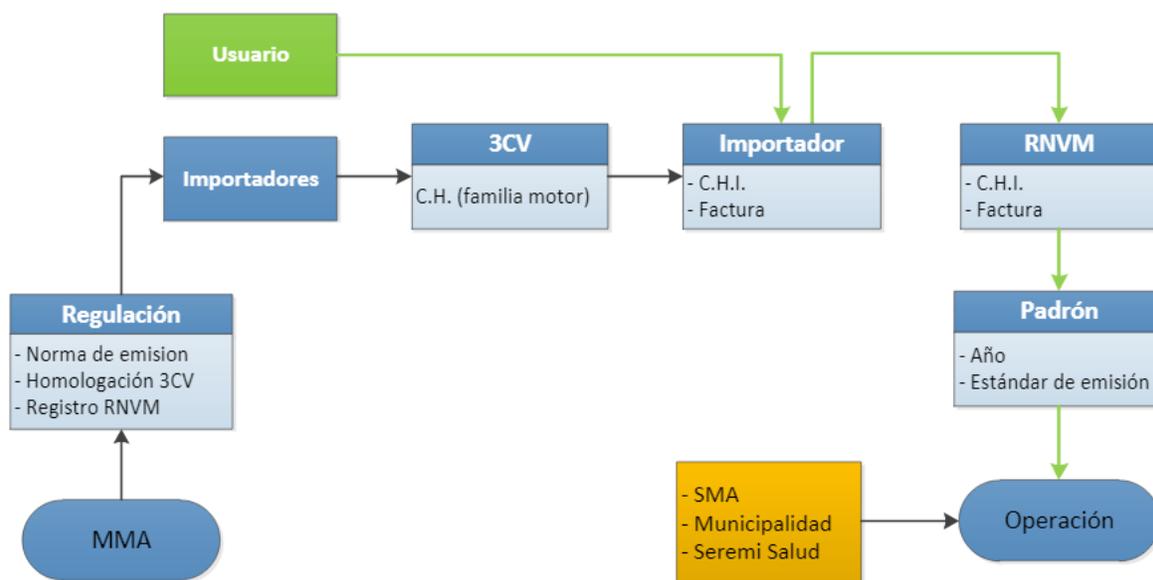
<sup>2</sup> Datos citados de Anexo 15 del informe.

Año de Proyección	NOx [Ton]	VOC [Ton]	CO [Ton]	PM10 [Ton]	PM2,5 [Ton]	CO2 [Ton]	SO2 [Ton]	FC [Ton]
2012	6.849,2	1.268,6	6.254,1	792,6	745,5	782.495,9	7,2	247.096,7
2013	6.545,4	1.224,9	6.518,1	770,9	724,9	816.876,6	7,51	257.830,6
2014	4.706,3	920,9	5.963,1	535,2	502,8	752.090,4	6,9	236.683,7
2015	4.493,7	878,7	6.254,4	518,6	487,1	789.976,3	7,3	248.517,9
2016	4.326,2	793,9	6.562,8	426,4	400,6	829.887,0	7,6	260.943,8
2017	4.192,4	722,2	6.886,8	344,1	323,4	871.737,7	8,0	273.991,0
2018	4.074,8	674,5	7.229,8	283,6	266,6	915.592,9	8,4	287.690,5
2019	3.550,9	650,2	7.590,3	242,6	228,1	961.558,4	8,8	302.075,0
2020	3.179,8	638,7	7.968,8	213,1	200,5	1.009.777,3	9,3	317.178,8
2021	2.948,7	641,0	8.366,7	194,8	183,3	1.060.361,2	9,7	333.037,7
2022	2.821,1	653,1	8.785,1	186,9	176,0	1.113.443,3	10,2	349.689,6
2023	2.762,9	671,6	9.224,4	183,9	173,2	1.169.160,9	10,7	367.174,1
2024	2.765,7	696,6	9.685,7	184,4	173,8	1.227.646,4	11,3	385.532,8
2025	2.797,2	723,9	10.170,0	186,9	176,1	1.289.052,9	11,8	404.809,4

**Proyección de emisiones de maquinaria fuera de ruta, Construcción-RM, 2025.**

## ESQUEMA LEGAL

A continuación se presenta una propuesta de esquema legal de implementación para la regulación y control de la Maquinaria Fuera de Ruta.



**Esquema regulatorio de inscripción de maquinaria fuera de ruta.**

El diagrama que se presenta más arriba, propone un sistema para la inscripción de la maquinaria fuera de ruta en el país como sigue:

1. El Ministerio de Medioambiente elaborará las regulaciones con los estándares de emisión exigidos.
2. El fabricante, distribuidor o importador de maquinaria fuera de ruta deberá adquirir maquinaria que cuente con un motor que cumpla con los estándares de emisión exigidos. Ello se debe reflejar en la documentación relacionada a la maquinaria acompañada por el fabricante.
3. El fabricante, distribuidor o importador deberá acudir al 3CV con el objeto que éste certifique que el modelo de motor de la maquinaria fuera de ruta cumple con los estándares de emisión exigidos para ser ingresadas y ocupadas en nuestro país.
4. El 3CV entregará un certificado y rotulará en el motor de la maquinaria que ésta cumple con los estándares exigidos.

5. Obtenido el certificado de parte del 3CV, el fabricante, distribuidor o importador deberá entregar al comprador un certificado con indicaciones similares a las contenidas en el rótulo y certificados entregados por el 3CV, según sea el caso.
6. El Certificado deberá ser exhibido al momento de solicitarse la primera inscripción en el “Registro de Maquinarias Fuera de Ruta”, del Registro Nacional de Vehículos Motorizados, del Servicio de Registro Civil e Identificación, debiendo otorgarse por el Registro Civil una placa especial que identifique a la maquinaria según su registro, pero que en definitiva permita identificar que ingresó cumpliendo los requisitos exigidos en términos medio ambientales.
7. Vendida las unidades, en particular la maquinaria de la construcción, éstas deberán ser objeto de la revisión técnica, a nuestro entender cada 2 años, incluida la prueba de opacidad. Para ello deberá realizarse un cambio al actual DS N° 156/1990, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que establece un periodo de 4 años.
8. Posterior a la venta, además de la revisión técnica, la maquinaria fuera de ruta, principalmente de la construcción, deberá estar sometida a un plan de fiscalización, el cual debe provenir de la Superintendencia del Medio Ambiente, no obstante la fiscalización proveniente de otros servicios como la SEREMI de Salud o las Municipalidades, en razón de sus atribuciones en materia de salud ocupacional y/o autorización de obras de construcción.

## ESQUEMAS DE CONSTRUCCIÓN LIMPIA EN EUROPA<sup>3</sup>

El objetivo de este punto es describir distintos esquemas que se han implementado en Europa para mitigar las emisiones provenientes de la maquinaria de construcción o en general de los sitios de construcción. Sobre esta base se hacen recomendaciones para Santiago.

Estos esquemas se pueden agrupar en cuatro tipos:

- Requerimiento de filtros de partículas (DPF) para toda la maquinaria de la construcción (Ejemplo Suiza).
- Requerimiento de DPF en ciertas áreas (Ej: Austria y Suecia).
- Esquemas completamente limpios de construcción implementados a través de planes de construcción que cubren tanto a la maquinaria como otras emisiones de partículas y polvo, emisiones de ruido y aspectos de seguridad (Ej: Londres).
- Adquisiciones limpias o verdes por parte de la autoridad, donde los servicios públicos encargados de contratar obras, colocan requerimientos específicos.

La importancia que ha adquirido el control de las emisiones de la maquinaria de la construcción tiene que ver con los siguientes puntos:

- La maquinaria de la construcción opera con motores diésel, que históricamente no han contado con regulaciones para el control de emisiones, por lo que sus emisiones son mucho más sucias que la de otros motores diésel en ruta (camiones, buses, vehículos particulares).
- Las emisiones diésel son una prioridad en salud y cambio climático, toda vez que han sido declaradas cancerígenas por la WHO y que poseen un potencial de calentamiento de 1.600 veces el del CO<sub>2</sub>.
- Son motores que operan en zonas urbanas densamente pobladas, próximos a la población.
- Cuando se ha calculado el impacto de este sector en las emisiones y en la calidad del aire, éste llega a ser mucho más importante que lo esperado. El Inventario de Emisiones Atmosféricas de Londres estima su participación en un 15% en PM<sub>10</sub> y 12% en NO<sub>x</sub>, impactando en la excedencias de cerca del 24% de los sitios de monitoreo de la calidad del aire.

---

<sup>3</sup> Para el desarrollo de este capítulo se trabajó en conjunto con Lucy Sadler, de Lucy Sadler Consultant, experta en políticas de control de contaminaciones atmosféricas en Europa.

## Conclusiones

Las principales legislaciones internacionales (EPA y EURO) se encuentran bastante homologadas entre sí, tanto en lo que respecta a rangos de potencia normados, límites de emisión y ciclos de medición. Con lo anterior se hace posible exigir indistintamente cualquiera de las dos legislaciones con similar nivel de exigencia.

En cuanto a la definición de maquinaria fuera de ruta, para una legislación chilena, se recomienda que considere la maquinaria móvil fuera de ruta, conforme la definición europea, pero excluyendo los motores bajo 19 kW (encendidos por chispa) y los motores destinados a la propulsión de automotores, locomotoras u otros elementos y equipos ferroviarios y aquella maquinaria que no es terrestre. En cuanto a los motores estacionarios, la legislación europea permite su inclusión, no obstante existe en Chile regulaciones que se están tramitando separadamente para este tipo de motores, lo que justifica su exclusión de la definición propuesta.

En relación a otras legislaciones relevantes se da el caso de China, que se ajusta principalmente a la normativa europea, con exigencia Stage II desde 2009. Para Brasil, los límites definidos son equivalentes a Stage III/Tier 3, con entrada en vigencia desde 2015 hasta 2017, dependiendo de la potencia del motor, para maquinaria de construcción.

El estudio recopiló toda la información disponible en términos de estadísticas de aduana, revisiones técnicas, permisos de circulación, entrevistas a distribuidores y usuarios, visitas a terreno, para configurar el tamaño del parque de maquinaria fuera de ruta, conforme la definición establecida y más específicamente, para la maquinaria de construcción de la Región Metropolitana. Así, los resultados de este trabajo arrojaron un total de 94.123 unidades total País, y de 20.686 para la construcción en la RM. Además se obtuvieron, a partir de la información recopilada, potencia media característica, nivel de actividad anual y vida media, para la maquinaria de la construcción de la RM para el cálculo de las emisiones.

Para dicho cálculo se utilizó el modelo europeo (Corinair), el cual fue desarrollado mediante un modelo de cálculo que permitió evaluar múltiples escenarios para valores de potencia, nivel de actividad y escenarios tecnológicos de la maquinaria. Finalmente se consideraron los rangos que mejor ajustaron con el consumo de combustible en la RM, conforme las estadísticas de la SEC, y se estableció un escenario normativo más probable conforme el desarrollo histórico de la tecnología en motores de vehículos pesados (5 años de retraso en la llegada al país de la normativa internacional). Obteniendo que las emisiones anuales de maquinaria de la construcción de la RM oscila en el rango de:

	NOx [Ton]	VOC [Ton]	CO [Ton]	PM10 [Ton]	PM2,5 [Ton]	CO2 [Ton]	SO2 [Ton]	FC [m3]
Mínimo	5244	1002	5423	568	534	681638	6	252564
Máximo	6849	1269	6254	793	745	782496	7	290702

La validación de estos resultados con el consumo de combustible diésel total de la Región Metropolitana, que alcanza a 1.090.099 m<sup>3</sup> de combustible, y sumando el consumo proyectado por MODEM para 2010 (810.534 m<sup>3</sup>) para fuentes móviles, deja esta estimación con valores totales de consumo de combustible de -2,4% a +1,1%, por debajo o por sobre el consumo real, dependiendo si se trata del valor mínimo o máximo de la estimación, respectivamente.

Estas emisiones de PM10 representan entre un 69% y un 97% de las emisiones de motores diésel de ruta de la Región Metropolitana, según modelo MODEM, escenario 2010, y representan entre un 14% y un 20% del inventario de emisiones de la RM<sup>4</sup>. Si comparamos estas cifras con Londres<sup>5</sup>, de 7,4 millones de habitantes, vemos que en Londres, las emisiones de maquinaria fuera de ruta de la construcción, para el año 2010, alcanzó las 601 [ton/año], representando el 15% de PM10, ambos valores cercanos al cálculo para la RM. Por otro lado, en cuanto al número de máquinas para la construcción, podemos citar el caso de Beijín, que con 3,3 veces más habitantes que la RM (20 millones de habitantes), tiene un total de 100.000 máquinas para la construcción (5 veces más que RM), considerando la maquinaria anterior a 2000, la proporción se aproxima a 4 veces. Con lo cual se puede afirmar que la cifra estimada para la RM en este informe puede resultar aún conservadora.

En cuanto al esquema legal de implementación de la norma, el flujo propuesto permite la inscripción de la maquinaria fuera de ruta en el país y su fiscalización a través del registro civil, con participación de normativas decretadas por el MMA y fiscalizadas por la Superintendencia del Medio Ambiente.

Por último, como parte de un esquema o programa de construcción limpia, se considera necesario incorporar medidas como alguna de las que operan en Europa, a saber:

<sup>4</sup> Considerando que no existe un inventario actualizado se ha considerado para este cálculo Inventario DICTUC 2005, para fuentes fijas, MODEM 2010 para fuentes móviles.

<sup>5</sup> Datos citados de Anexo 15 del informe.

- Requerimiento de filtros de partículas (DPF) para toda la maquinaria de la construcción (Ejemplo Suiza).
- Requerimiento de DPF en ciertas áreas (Ej: Austria y Suecia).
- Esquemas completamente limpios de construcción implementados a través de planes de construcción que cubren tanto a la maquinaria como otras emisiones de partículas y polvo, emisiones de ruido y aspectos de seguridad (Ej: Londres).
- Adquisiciones limpias o verdes por parte de la autoridad, donde los servicios públicos encargados de contratar obras, colocan requerimientos específicos.

