UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

2017

EFICIENCIA DE RESTRICCIONES VEHICULARES EN LA CONTAMINACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO 2.5.

HERRERA ARRIAGADA, LUIS MATÍAS

http://hdl.handle.net/11673/24438

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE

EFICIENCIA DE RESTRICCIONES VEHICULARES EN LA CONTAMINACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO 2.5

LUIS MATÍAS HERRERA ARRIAGADA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA	:	SR. JAVIER SCAVIA DAL POZZO
PROFESOR CORREFERENTE	:	SRTA. JAVIERA SILVA ARROYO

OCTUBRE 2017

RESUMEN EJECUTIVO

Hoy en Chile existen distintas medidas que buscan contrarrestar los altos niveles de material particulado 2.5, además de activar otras medidas en caso de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental. Sin embargo, estas no han sido suficientes para no llegar a estos episodios críticos y mantener los niveles adecuados para la salud de las personas.

Durante esta investigación, se percató que no existe un registro adecuado que permita llevar un seguimiento frecuente de emisiones, como tampoco se cuenta con la cantidad de puntos de medición para poder controlar las emisiones a nivel país, por lo que se dificulta la tarea de implementar medidas eficaces, ya que aumenta el margen de error. Dada esta carencia existente en las mediciones, no existe claridad absoluta en cuál es el principal agente contaminador en esta materia, ya que expertos plantean que la leña sería la gran responsable de los niveles de contaminación ambiental presente en la Región Metropolitana, mientras otros plantean que las emisiones producto de los vehículos son los principales agentes contaminantes. Como es de esperar, tampoco hay claridad con respecto a la eficiencia de las restricciones vehiculares, ya que se discute que es una medida copiada de otros países que no posee un efecto relevante en el propósito para el cual es creada.

Tras la revisión de literatura y experiencias internacionales, destacaron medidas asociadas a la mejora de los equipos de medición, pasar a vehículos menos contaminantes, disminuir los niveles legales de emisiones de material particulado, implementar zonas de baja emisión, incluso cambiar el pavimento con el fin de levantar menor cantidad de polvo.
Teniendo en consideración los puntos señalados anteriormente, se plantearon dos propuestas para disminuir las emisiones de material particulado en la Región Metropolitana:

- **Incentivo a vehículos eléctricos:** Fomentar el uso de estos vehículos mediante un incentivo económico que permite disminuir el costo de adquisición en aproximadamente un 19 % correspondiente al IVA y un 4,5 % anual correspondiente al costo de la patente, lo que implica una disminución de un 23,5 % en un principio, y un 4,5 % para el resto de los años. Con esto se busca modificar la composición del parque automotriz, y en el largo plazo, que la mayoría de los vehículos de la Región Metropolitana sean eléctricos. Para esta medida, se estimaron los costos en un 0,28 % del PIB, teniendo como referencia el año 2014, y logrando una disminución de por lo menos un 5,5 % en la concentración de material particulado 2.5.

- **Instalación de filtros para estufas a leña:** Permitir el uso responsable de leña mediante la instalación de un filtro que permite disminuir la emisión de estufas en por lo menos un 80 %, además de reducir el consumo de leña en un 30 %, lo que implica un ahorro en este material. Esta medida tiene un costo variable aproximado de 672.000.000 CLP, ya que se propone que el Estado financie un 40 % del costo de instalación de las comunas más pobres de la Región Metropolitana, además de contratar personal para la correcta fiscalización del uso de filtro mencionado. Finalmente, se espera disminuir de un 39 % a un 7,8 % las emisiones de MP2.5 en la RM.

ABSTRACT

Today in Chile there are several measures that seek to counteract the high levels of particulate matter 2.5, in addition to triggering other measures in case of alert, pre-emergency and environmental emergency. However, these have not been enough not to reach these critical episodes and maintain adequate levels for the health of people.

During this research, it was noticed that there is no adequate register that allows frequent monitoring of emissions, nor is there a number of measurement points to control emissions at the country level, making it difficult to implement measures, since it increases the margin of error. Given this lack of measurements, there is no absolute clarity on what is the main pollutant in this area, since experts say that firewood would be responsible for the levels of environmental pollution present in the Metropolitan Region, while others argue that emissions from vehicles are the main pollutants. As can be expected, there is also no clarity regarding the efficiency of vehicle restrictions, since it is argued that it is a measure copied from other countries that does not have a relevant effect on the purpose for which it is created.

After reviewing the literature and international experiences, they highlighted measures associated with the improvement of measurement equipment, moving to less polluting vehicles, lowering legal levels of emissions of particulate matter, implementing low emission areas, including changing the pavement to the end of raising less dust.
Taking into account the points indicated above, two proposals were proposed to reduce emissions of particulate matter in the Metropolitan Region:

- **Incentive to electric vehicles:** Encourage the use of these vehicles by means of an economic incentive that allows to reduce the cost of acquisition by approximately 19 % corresponding to IVA and 4.5 % per year corresponding to the cost of the patent, which implies a a decrease of 23.5 % in the beginning, and 4.5 % for the rest of the years. With this, it is sought to modify the composition of the automotive fleet, and in the long term, that most of the vehicles of the Metropolitan Region are electric. For this measure, costs were estimated at 0.28 % of GDP, taking as reference the year 2014, and achieving a decrease of at least 5.5 % in the concentration of particulate matter 2.5.

- **Installing filters for wood-burning stoves:** Allow responsible use of firewood by installing a filter that reduces the emission of stoves by at least 80 %, in addition to reducing fuelwood consumption by 30 %, which means savings in this material. This measure has a variable cost of approximately 672.000.000 CLP, since it is proposed that the State finances 40 % of the cost of installing the poorest communes of the Metropolitan Region, in addition to hiring personnel for the correct control of the use of filter mentioned. Finally, it is expected to decrease from 39 % to 7.8 % MP2.5 emissions in the RM.

Índice de Contenidos

1. Introducción **1**
1.1. Objetivos . . . 2
1.1.1. Objetivos Generales . . . 2
1.1.2. Objetivos Específicos . . . 2

2. Diagnóstico de la situación actual **3**
2.1. ¿Qué es el MP 2.5? . . . 3
2.2. Antecedentes del Problema . . . 4
2.3. Situación Actual . . . 6
2.3.1. Medidas para episidios críticos . . . 8
2.3.2. Medición . . . 10
2.4. Discusión Actual . . . 11
2.4.1. Nuevo plan de descontaminación del aire para la Región Metropolitana . . . 13

3. Políticas Medioambientales Exitosas **17**
3.1. Situación Externa . . . 17
3.2. Políticas Exitosas . . . 19
3.2.1. Beijing, China . . . 19
3.2.2. Costa Sur, EEUU . . . 21
3.2.3. Copenhagen, Dinamarca . . . 22
3.2.4. Región metropolitana de São Paulo, Brasil . . . 24
3.2.5. Kawasaki, Japón . . . 26

4. Revisión de Literatura **29**
4.1. Medición . . . 29
4.2. Aportes . . . 30
4.3. Medidas . . . 33

5. Propuesta **35**
5.1. Instalación de filtros para estufas a leña . . . 36
5.1.1. Costo de propuesta . . . 36
5.1.2. Impacto de propuesta . . . 37
5.1.3. Fases de implementación . . . 37
5.1.4. Problema a solucionar . . . 38
5.2. Incentivo a vehículos eléctricos . . . 38
5.2.1. Costo de propuesta . . . 39
5.2.2. Impacto de propuesta . . . 39
5.2.3. Fases de implementación . . . 40
5.2.4. Problema a solucionar . . . 40

6. Conclusiones **41**
6.1. Limitaciones y recomendaciones . . . 43

Bibliografía **45**

A. Anexos **49**

Índice de Tablas

2.1. Niveles de Alerta Ambiental 8
2.2. Vehículos con restricción permanente 9
2.3. Vehículos con restricción variable 9

Índice de Figuras

2.1. Concentraciones anuales de MP2.5 en Santiago. 4
2.2. Episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental en la RM. 5
2.3. Promedio anual MP2.5 comunas en Chile. 6
2.4. Promedio diario MP2.5 comunas en Chile. 7
2.5. Representación del proceso de medición de calidad del aire 10
2.6. Fuentes de emisiones de MP2.5 en RM anuales. 11
2.7. Fuentes de emisiones de MP2.5 en RM durante el invierno 12

3.1. Comparación 10 países entre 2003 y 2013 18
3.2. Principales zonas de tráfico de la zona urbana de Beijing, China. 19
3.3. Concentraciones semanales de MP2.5 en Beijing. 20
3.4. Niveles anuales promedio de MP2.5 y MP10 en la costa sur de EEUU. 21
3.5. Composición de agentes contaminantes en Copenhagen. 22
3.6. Contaminación por tipo de vehículo que transita por H.C. Andersen's Boulevard. 23
3.7. Evolución de contaminación en Copenhagen entre 2007 y 2012. 23
3.8. Estaciones de medición en la región metropolitana de São Paulo 24
3.9. Concentración de agentes contaminantes en tonelada por año en la región metropolitana de São Paulo. 25
3.10. Concentración anual de SO2 en Kawasaki desde 1965 hasta 2010. 26

4.1. Evaluación de cada variable meteorológica en la diferencia entre EBAM y BAM. 30
4.2. Ciudades analizadas y sus respectivas concentraciones anuales. 31
4.3. Ciudades y periodos analizados en el noroeste de Estados Unidos. 32
4.4. Porción de ciudades por continente agrupadas por concentraciones de MP2.5 33

5.1. Cuadro comparativo de emisión por tipo de calefactor. 36
5.2. Vehículos livianos y medianos vendidos en 2014 por rango de precios. 39

A.1. Concentración per cápita en distitos paises entre 2000 y 2012. 49
A.2. Promedio de concentraciones de agentes contaminantes antes y después de las políticas aplicadas. 50
A.3. Tendencia de concentración de cada estación entre 1996 y 2009. 51
A.4. Regresión de China entre número de habitantes y concentración de MP2.5 52
A.5. Regresión de India entre número de habitantes y concentración de MP2.5 52
A.6. Regresión de África entre número de habitantes y concentración de MP2.5 52
A.7. Regresión de Norte América entre número de habitantes y concentración de MP2.5 53
A.8. Porción de paises en distintos grupos de concetraciones de MP2.5. 53
A.9. Ubicación y periodo de análisis de EBAMs en California, EEUU. 54
A.10. Relación entre calentamiento global y agentes contaminantes. 54
A.11. Ciudades y periodos analizados en el noroeste de Estados Unidos. 55
A.12. Aporte promedio entre diciembre y enero por parte del humo de madera. 55
A.13. Metodos de colección de datos y normativa de las megaciudades analizadas. 56

A.14. Número de dias con concetraciones entre ciertos rangos. 57
A.15. Políticas implementadas en Japón y Kawasaki durante 1951 y 1998. 58
A.16. Mapa de composición y emisión de MP2.5 por ciudad. 59
A.17. Tabla resumen de cálculos realizados en el estudio. 59
A.18. Evolución anual de MP2.5, y días sobre normal de la OMS, en Santiago entre 2000 y 2012. . 60
A.19. Ubicación de los distintos hogares analizados en Santiago. 61
A.20. Políticas implementadas en distintas zonas de Holanda, y sus fechas respectivas. 61
A.21. Aporte de distintas fuentes al MP10. 62
A.22. Cuadro resumen de políticas efectivas contra el MP2.5. 62
A.23. Primer tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana. 63
A.24. Segundo tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana. 63
A.25. Tercer tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana. 64
A.26. Aportes tributario del sector automotor. 64
A.27. Desglose de aportes tributarios del sector automotor. 64
A.28. Valor permiso de circulación. 65
A.29. Desglose de aportes en emisiones de MP2.5. 65

1 | Introducción

Gracias a los distintos avances de la tecnología, hoy se cuenta con numerosos estudios que analizan y corroboran los daños que genera la contaminación ambiental en la salud de las personas, llegando incluso a cuantificar aumentos en muertes prematuras, enfermedades cardiovasculares, infartos al miocardio, ataques al corazón y muertes por problemas respiratorios. Dentro de los agentes que afectan a la salud de las personas, destaca el material particulado (MP), el cual se clasifica en 3 formas, donde está el material particulado grueso, material particulado fino y material particulado ultrafino, los cuales se clasifican según el diámetro de las partículas que componen cada categoría. Este documento se enfoca en el material particulado fino o material particulado 2.5, dado que es el agente más contaminante y dañino para el medioambiente y salud de las personas.

Considerando los actuales niveles de contaminación que existen en la Región Metropolitana, y el conocimiento del daño que provocan a la salud, es necesario aplicar políticas eficientes con respecto a la disminución de las concentraciones de este material. Siempre teniendo en consideración que este material se relaciona principalmente con la emisión de las industrias, calefacción domiciliaria y emisiones por vehículos. Dado esto, cualquier política que intente disminuir las concentraciones de este material, afecta directamente a la tecnología utilizada en las industrias o la cantidad a producir, como también puede afectar directamente en la calidad de vida de las personas, mediante las restricciones vehiculares y/o elección de método de calefacción. Por lo que las medidas deben ser sostenibles, con el fin de ir mejorando la calidad del aire año tras año.

Este es un tema controversial, dado que hay dudas con respecto al origen de estas concentraciones, ya que distintos expertos y académicos argumentan que la leña es el principal responsable, y que medidas que restrinjan el uso de vehículos mejorarían considerablemente la calidad del aire. Por otra parte, se argumenta que los culpables son los vehículos, dado el combustible y tecnología utilizada en estos.

Dada esta situación, se busca realizar un análisis de la eficiencia de las actuales políticas ambientales, específicamente, de las políticas de restricción vehicular. Esto con el fin de realizar una serie de propuestas de políticas eficientes en la disminución del material particulado 2.5, evaluadas en términos del impacto en la concentración del material en cuestión y del costo asociado, esperando lograr una disminución en las concentraciones de material particulado.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Generales

- Generar una propuesta que permita disminuir las concentraciones de material particulado 2.5 en la Región Metropolitana.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del país en contaminación de MP2.5, y políticas relacionadas con este agente.
- Identificar políticas extranjeras exitosas en la disminución de MP2.5.
- Realizar una recomendación válida para el contexto político, geográfico y social del país.

2 | Diagnóstico de la situación actual

2.1. ¿Qué es el MP 2.5?

Hoy en día, la industrialización ha sido un factor muy relevante a la hora de analizar la contaminación medio ambiental. Esto debido a los niveles de producción, uso de vehículos, uso de calefacción, etc. Los que no solo influyen en la salud de las personas, si no que también afectan a materiales, ecosistemas acuáticos, y la flora.
Los principales agentes contaminantes en el aire, son el material particulado, ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y Plomo. Pero dentro de estos, el más dañino para la salud es el material particulado. Este se agrupa en base a la medida del diámetro de sus componentes, por lo que existen 2 grupos. Primero, se encuentra el material particulado fino, el cual incluye a los agentes que poseen un diámetro menor a 2,5 micrones [1], y segundo, se encuentra el material particulado grueso, el que posee un diámetro entre 2,5 y 10 micrones.
Este tipo de material particulado está relacionado con la calidad de vida de las personas, ya que, afecta directamente en la salud de las personas, gracias a las políticas asociadas, también se restringe el uso de ciertos vehículos durante algunos periodos según los niveles de contaminación existentes, el uso de mecanismos de calefacción, etc.

Con respecto a la salud, el MP2.5 es el agente más invasivo para la salud de las personas, ya que dado su tamaño, estas partículas son capaces de ingresar a los pulmones mediante las vías respiratorias, llegando a ubicarse en los bronquiolos y alveolos(Matus, 2011), lo que genera consecuencias tales como neumonía, infecciones respiratorias agudas, otitis media aguda, asma y broncoespasmo. Según un estudio realizado por el departamento de salud ambiental de la escuela de Harvard en 112 ciudades de EEUU(Zanobetti y Schwartz, 2009), se observaron aumentos de un 0,85 % en enfermedades cardiovasculares, 1.18 % en infartos al miocardio, 1.78 % en ataques al corazón y un 1.68 % en muertes por problemas respiratorios, al aumentar en promedio 10 [$\frac{\mu g}{m^3}$] la concentración de MP2.5 durante 2 días. Adicional a esto, la OMS, en una nota descriptiva, entrega las siguientes cifras y datos con respecto a la calidad del aire.

- Según estimaciones realizadas en el 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras.
- Un 88 % de esas defunciones prematuras se producen en países de ingresos bajos y medianos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sudoriental de la OMS.
- Las políticas y las inversiones de apoyo a medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, generación de electricidad y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire en las ciudades.

[1] Micrón: Millonésima parte de un metro.

2.2. Antecedentes del Problema

Este tema se ha tratado desde hace más de 40 años con la creación de distintas comisiones encargadas de velar que los niveles de contaminación no perjudiquen la salud de las personas. Esta evolución, en temas políticos, se muestra a continuación(MMA, 2014a).

- 1970, creación de la Comisión contra la Contaminación Ambiental.
- 1984, creación de la Comisión Nacional de la Ecología.
- 1992, por primera vez en el país se decretan zonas saturadas y latentes.
- 1994, se publica en el Diario Oficial la creación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).
- 2010, creación del Ministerio del Medio Ambiente.
- 2013, se publica el Primer Reporte del Medio Ambiente en el país.
- 2014, existencia de más de 25 estaciones de monitoreo del medio ambiente en ciudades y comunas del país.

Sin duda, esta evolución política, ha sido una reacción a los niveles de contaminación y avances tecnológicos, que han permitido tener mayor conocimiento de las consecuencias en la salud de las personas tras la exposición a estos agentes.
En el siguiente gráfico se muestra la evolución de las concentraciones anuales de MP2.5 desde el 1989 hasta el 2010, en conjunto con las medidas destacadas de esos periodos.

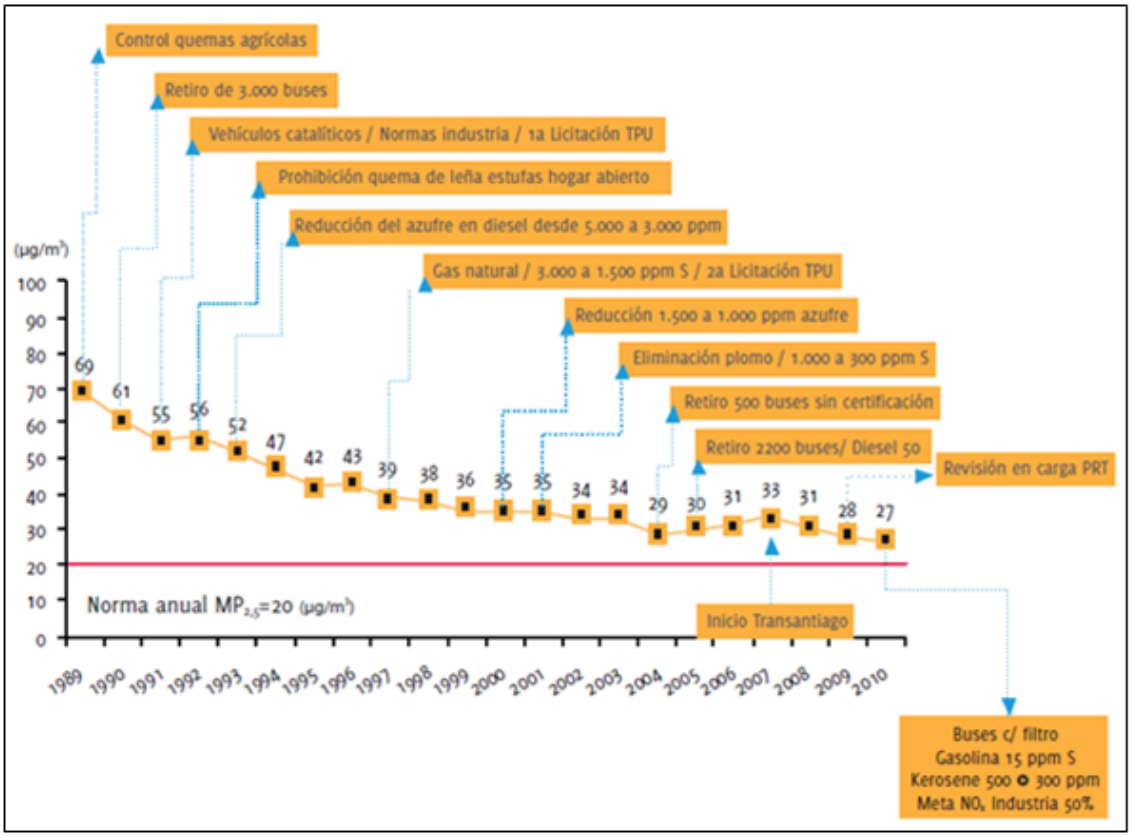


Figura 2.1: Concentraciones anuales de MP2.5 en Santiago.
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 2001 (Ministerio del medio Ambiente de Chile, 2011).

Además, en el siguiente gráfico se puede observar cómo ha evolucionado la cantidad de episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental en la región Mtropolitana entre el 2000 y 2015.

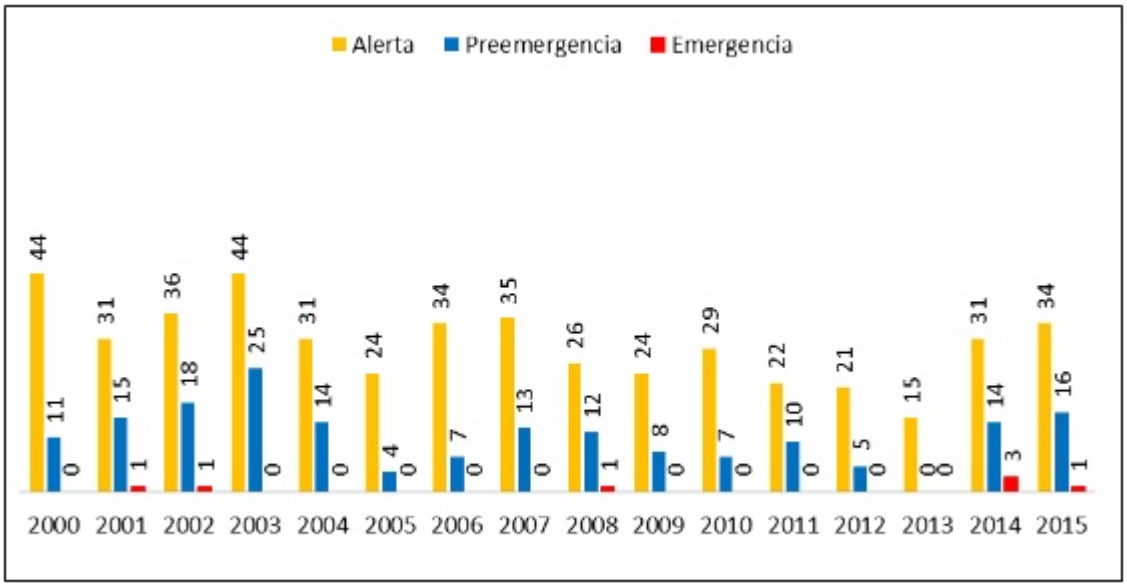


Figura 2.2: Episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental en la RM.
Fuente: Informe Final para la Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica por MP10 (Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, 2015).

Hay que destacar que analizando el 2015 con respecto al 2014, se observa un aumento en las alertas y preemergencias ambientales, y una disminución en las emergencias ambientales, pero a pesar de los números de episodios, hay que complementar esta información con la concentración de material particulado 2.5.

2.3. Situación Actual

A pesar de lo nocivo que es este material, y de los numerosos estudios que corroboran los efectos de estos agentes contaminantes en la salud de las personas, hay ciertas comunas de Chile que sobrepasan la normativa actual, llegando a niveles que doblan la norma, como lo hace anualmente Rancagua, Temuco y Museo Ferroviario. Además, en términos de promedios diarios, las comunas anteriores, junto con Chillán, Valdivia y Osorno, llegan a doblar la normativa actual diaria. Es más, son numerosas las veces que hay episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental.

Hay que destacar que según estadísticas del Ministerio del Medio Ambiente, los niveles de contaminación del sur de Chile son el doble de la Región Metropolitana(MMA, 2014b).

A continuación se observan dos gráficos que destacan algunas comunas de Chile y su nivel de concentración de material particulado 2.5, con una referencia que indica la norma diaria y anual de emisión. Hay que destacar que se encuentran datos desde 2008 al 2012.

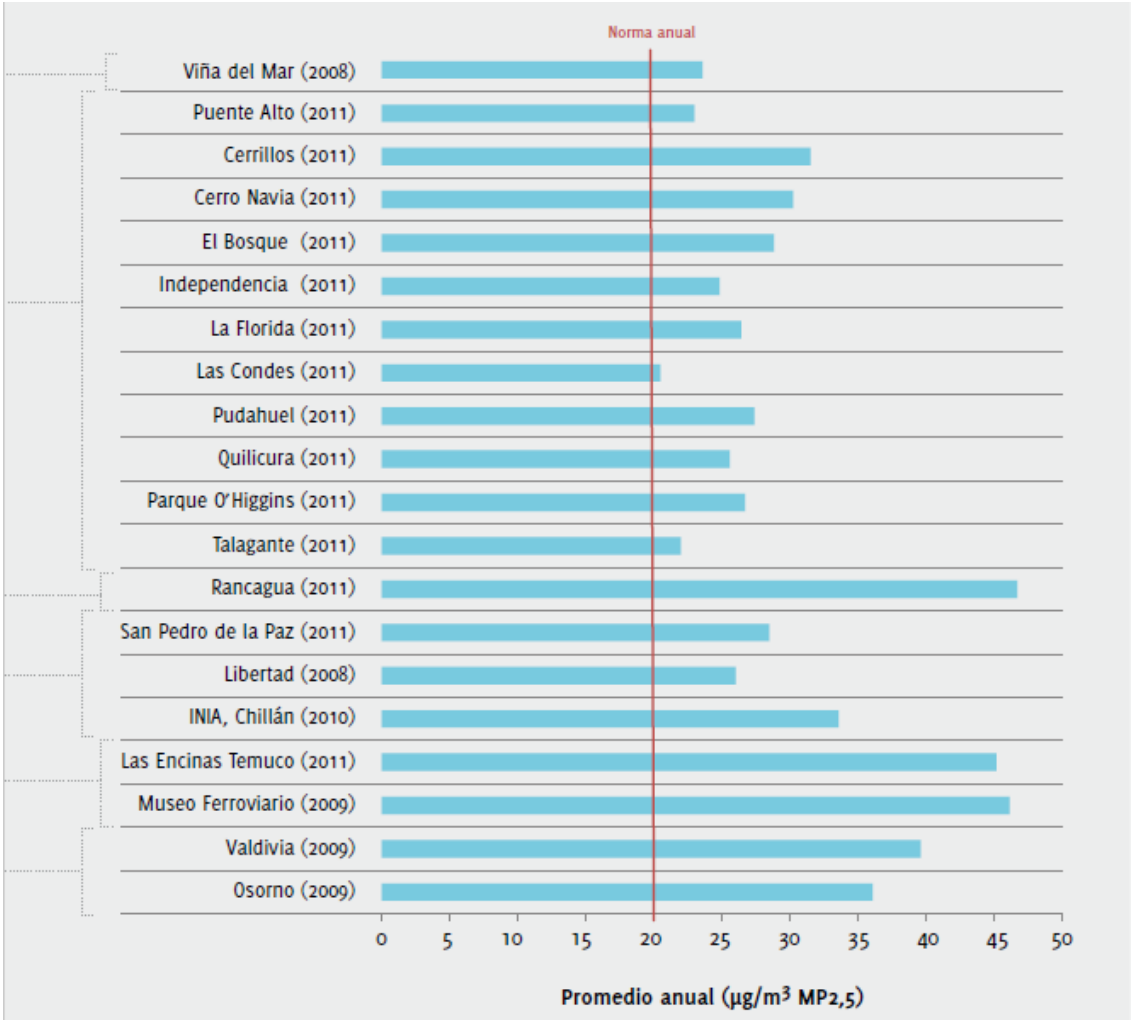


Figura 2.3: Promedio anual MP2.5 comunas en Chile.
Fuente: Primer Reporte del Estado del Medio Ambiente,(Ministerio del Medio Ambiente, 2013)

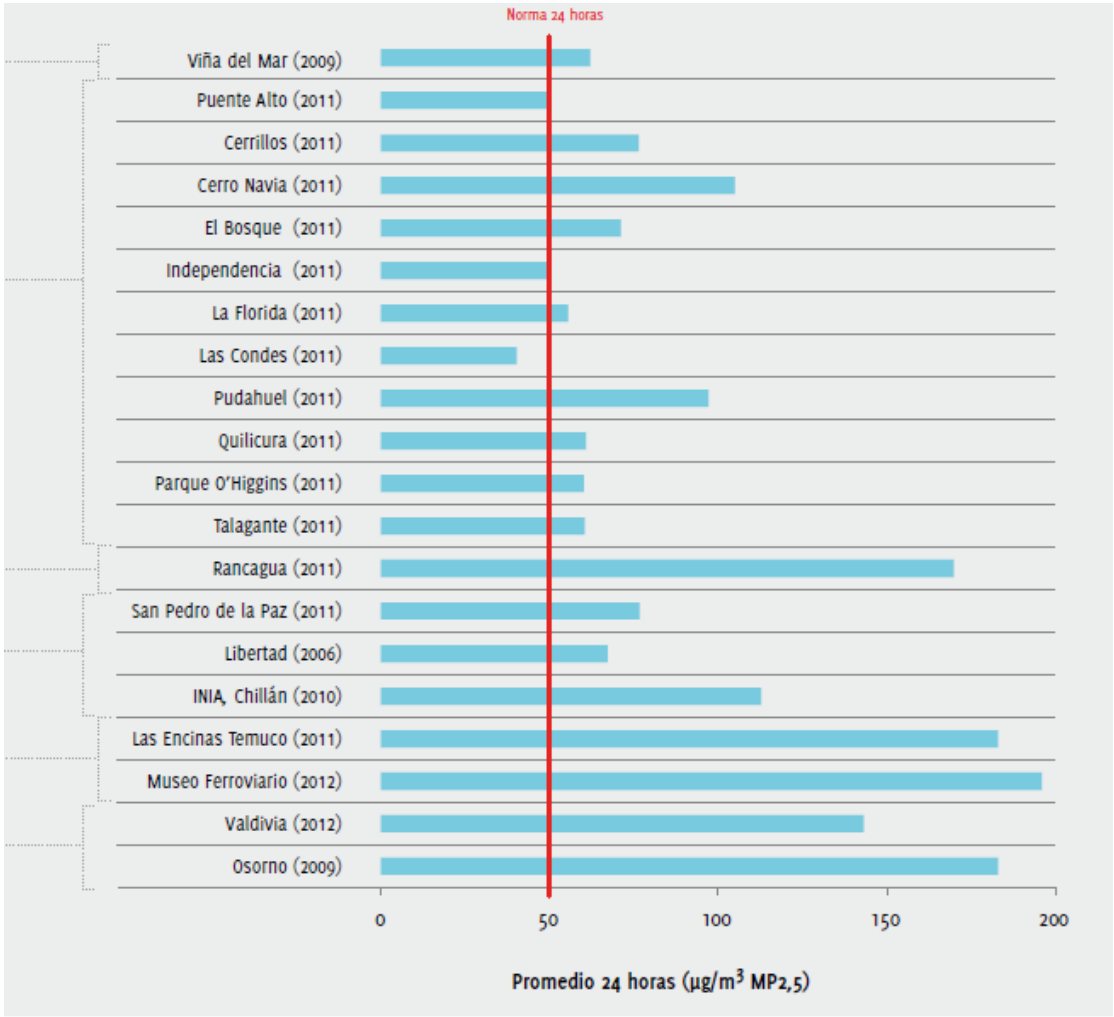


Figura 2.4: Promedio diario MP2.5 comunas en Chile.
Fuente: Primer Reporte del Estado del Medio Ambiente,(Ministerio del Medio Ambiente, 2013).

Lo mencionado anteriormente hace que las políticas relacionadas con la disminución de la contaminación ambiental, en especial, del MP2.5, sean de gran relevancia en la vida de las personas. Es por esto, que actualmente se norma la concentración de este material de la siguiente manera(Diario Oficial de la República de Chile, 2016).

1. Desde el 2012, cambiaron los límites de concentración de MP2.5, pasando a ser de 20 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ anuales, y de 50 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ diarios.
2. La norma se considerará sobrepasada cuando se cumpla alguna de estas condiciones.
   a) Cuando el percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año, sea mayor a 50 $[\frac{\mu g}{m^3}]$, en cualquier estación monitora calificada como EMRP[2].
   b) Cuando el promedio tri-anual de las concentraciones sea mayor a 20 $[\frac{\mu g}{m^3}]$, en cualquier estación monitora calificada como EMRP.

[2]EMRP: Estación de monitoreo de MP2.5 con representatividad poblacional, localizada en un área urbana y que cumple con los requisitos técnicos para ser calificada como tal por la Autoridad Competente.

3. Se definieron los siguientes niveles de alerta relacionados con ciertos rangos de concentración de MP2.5.

Tabla 2.1: Niveles de Alerta Ambiental

Nivel	Concentración Diaria de MP2.5 [$\frac{\mu g}{m^3}$]
Alerta	80 - 109
Preemergencia	110 - 169
Emergencia	170 o superior

Fuente: Diario Oficial de la República de Chile (Diario Oficial de la República de Chile, 2011).

2.3.1. Medidas para episidios críticos

En base a los distintos tipos de episodios críticos, el Ministerio del Medio Ambiente entrega las siguientes medidas para prevenir efectos negativos en la salud (Ministerio del Medio Ambiente, 2015).

Medidas de Alerta

- Suspensión clases de educación física (recomendación).
- Restricción vehicular sin sello 4 dígitos (2 dígitos fines de semana).
- Prohibición total uso de calefactores a leña en toda la región metropolitana.

Medidas de Preemergencia

- Suspensión clases de educación Física (recomendación).
- Prohibición total uso de calefactores a leña en toda la región metropolitana.
- Restricción vehicular sin sello 6 dígitos (lunes a domingo).
- Restricción vehicular con sello verde 2 dígitos (lunes a domingo).
- Vías exclusivas Transantiago.
- Paralización fuentes industriales (las más contaminantes).
- Ejes Ambientales (lunes a viernes).

Medidas de Emergencia

- Suspensión clases de educación Física (recomendación).
- Prohibición total uso de calefactores a leña en toda la región metropolitana.
- Restricción vehicular sin sello 8 dígitos (lunes a domingo).
- Restricción vehicular con sello verde 4 dígitos (lunes a domingo).
- Vías exclusivas Transantiago.
- Paralización fuentes industriales (las más contaminantes).
- Ejes Ambientales (lunes a viernes).

En estos niveles se entregan ciertas recomendaciones y entran en juego las leyes de restricción vehicular. Por ejemplo, en caso de alerta, preemergencia y emergencia ambiental, se recomienda optar por el transporte público, no realizar actividad física, se prohíbe encender chimeneas y calefactores, entre otras recomendaciones existentes(Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

Además de esto, en las ciudades con mayores índices de contaminación del material en cuestión, se están ejecutando distintos planes de descontaminación. Estos se basan en los siguientes ejes(Diario Oficial de la República de Chile, 2016).

1. Reacondicionar térmicamente los hogares, con el fin de disminuir la demanda energética de este.
2. Sustitución de los actuales sistemas de calefacción, con el fin de cambiar por sistemas más eficientes y con menos emisiones contaminantes.

Notar que existe un sistema que se activa solo cuando hay preemergencia o emergencia ambiental, el sistema de restricción vehicular. Este se divide en restricciones permanentes y variables.
Anteriormente las restricciones vehiculares eran variables, es decir, no existían restricciones permanentes para algún grupo de vehículos. Pero desde este primero de abril, comenzó a regir la restricción vehicular permanente[3] para vehículos sin sello verde en la provincia de Santiago, comunas de San Bernardo y Puente Alto. Esta funciona de la siguiente manera, durante cada día hábil de la semana, un grupo determinado de autos sin sello verde y que su patente termine en cierto digito, no podrá circular en los lugares mencionados. Esto se representa mejor mediante la siguiente tabla.

Tabla 2.2: Vehículos con restricción permanente

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
3-4-5-6	7-8-9-0	1-2-3-4	5-6-7-8	9-0-1-2

Fuente: Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT, 2016).

Por ejemplo, el día miércoles, no podrán circular por los lugares mencionados los vehículos sin sello verde, cuyas patentes terminen en 1, 2, 3 o 4.

Con respecto a la restricción variable, esta consiste en restringir en base al último dígito de la patente de los vehículos con sello verde, según el número de episodios de emergencia o preemergencia ambiental.

Tabla 2.3: Vehículos con restricción variable

Episodio	Primer	Segundo	Tercer	Cuarto	Quinto
Último Dígito de Patente	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9

Fuente: Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT, 2016).

Esta tabla se interpreta igual que la anterior, es decir, en el primer episodio, no podrán circular los vehículos con sello verde que sus patentes terminen en los dígitos 0 y 1.
A pesar de la restricción vehicular, también hay distintas recomendaciones para disminuir estos niveles de contaminación, como lo son, el fomentar el uso del transporte público y que estos sean menos contaminantes, reducción de velocidad en las carreteras, sobre todo en cinturones periféricos, favorecer el uso de la bicicleta, fomentar la adquisición de vehículos eléctricos, etc(Sostenibilidad, 2014).

[3]Restricción vehicular permanente: Restricción que se aplica a vehículos sin sello verde, entre el 1 de abril hasta el 31 de agosto.

2.3.2. Medición

Con respecto a la medición del material particulado, esta sigue un proceso en la que una unidad colectora (cabezal), que es capaz de colectar una muestra separada según el tamaño de las partículas en 10 y 2,5 micrones. Esta muestra, ingresa con una velocidad de flujo constante del orden de 16.7 litros por minutos, lo que representa el volumen promedio de aire respirado por el ser humano. Esto queda representado de mejor manera en la siguiente figura.

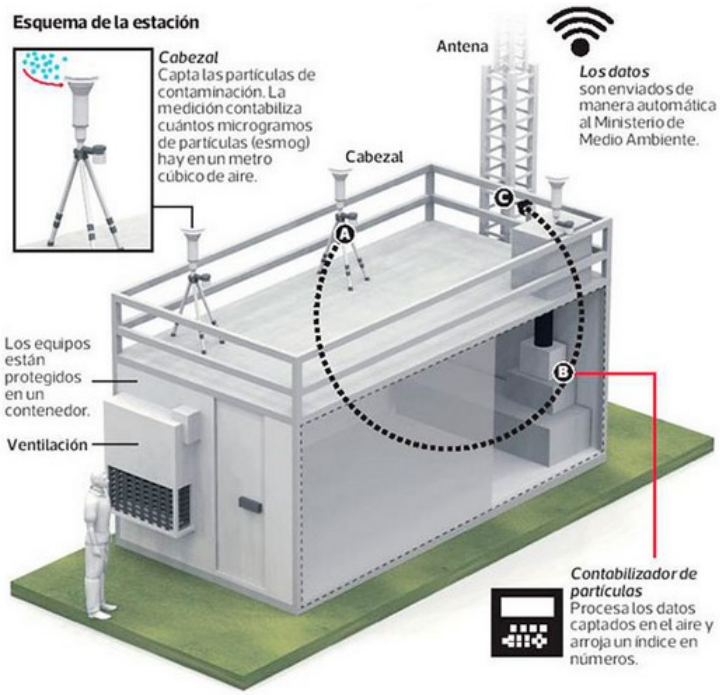


Figura 2.5: Representación del proceso de medición de calidad del aire
Fuente: La Tercera, (La Tercera, 2014).

Actualmente existe una estación de medición móvil, la cual busca complementar la red de estaciones fijas en Chile. Esta unidad permitirá realizar un seguimiento y tendencia de los contaminantes, en especial para el material particulado fino (MP2,5); estudiar los perfiles de estos contaminantes y determinar sus fuentes de emisión; realizar estudios de contaminación local y de contaminantes de cambio climático, así como interrelacionar la información que entregue con la que proveen las estaciones de monitoreo fijas (Ministerio del Medio Ambiente, 2016b).
Dentro de los distintos equipos que posee esta unidad móvil, destaca el monitor continuo MP2,5, el cual registra en forma continua el MP2,5 por atenuación Beta, equivalente al método referencia gravimétrico, equipo actualmente utilizado en nuestras redes de monitoreo. Este método consiste en el muestreo de aire durante 24 horas a un caudal fijo que se hace atravesar un filtro donde se retiene el material particulado. Luego, calculando el peso del filtro post y previo al muestreo, y al dividirlo por el volumen total del muestreo, se obtiene la concentración del material particulado en cuestión (Gobierno de Aragón, 2016).

Con respecto a los instrumentos encargados de medir el material particulado 2.5 en Chile, deben cumplir con alguna de las siguientes normativas (Diario Oficial de la República de Chile, 2011).

- Pertenecer a la lista de Métodos Denominados de Referencia y Equivalentes (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016), publicada por la USEPA[4].

[4]USEPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.

- Contar con certificación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea, que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones (European Committe for Standarization, 2016).
- Contar con certificación que dé cumplimiento a los estándares exigidos en el país de origen , entregada por algún ente acreditado por el gobierno de ese país.

2.4. Discusión Actual

Actualmente hay diversas opiniones sobre la efectividad de las restricciones vehiculares con respecto a la contaminación ambiental, en especial, del MP2.5. Esto se debe principalmente a las diferentes posturas que hay sobre el aporte en términos de contaminación del parque automotriz y de la calefacción utilizada en Chile.
Por ejemplo, estudios realizados por el Instituto Libertad(Libertad, 2014) realizan un cuadro comparativo entre cifras entregadas por el Censo 2012 y la Comisión Nacional del Medio Ambiente(CONAMA), versus cifras obtenidas por la Universidad Andrés Bello y la Universidad de Santiago. En este análisis, se evidencian diferencias con respecto al aporte que tiene la leña en la emisión de MP2.5, donde según la UNAB, aporta un 49 % en la Región Metropolitana, y según la CONAMA, solo aporta un 17 %.
También, según estudios realizados por académicos de la Universidad Andrés Bello(UNAB, 2013), la leña aporta el 45 % de las emisiones de material particulado, además de haber aportado en el año 2012, un 70 % del MP2.5. En este mismo estudio, se destaca que las fuentes móviles aportaron un 13 %.

A esto hay que sumar las distintas opiniones de la prensa, por ejemplo, El Dínamo(El Dínamo, 2015) menciona que un 7 % de las estufas de Santiago emiten lo mismo que todos los autos, todos los buses, todos los camiones y toda la industria de nuestra capital.
Por parte de Tele 13, en el año 2014, realizó un desglose de los aportes en las emisiones de MP2.5 en la Región Metropolitana, el que incluye la calefacción por uso de leña, otros mecanismos de calefacción, transporte, industrias y sector agrícola. Esto se muestra en el siguiente gráfico de forma anual.

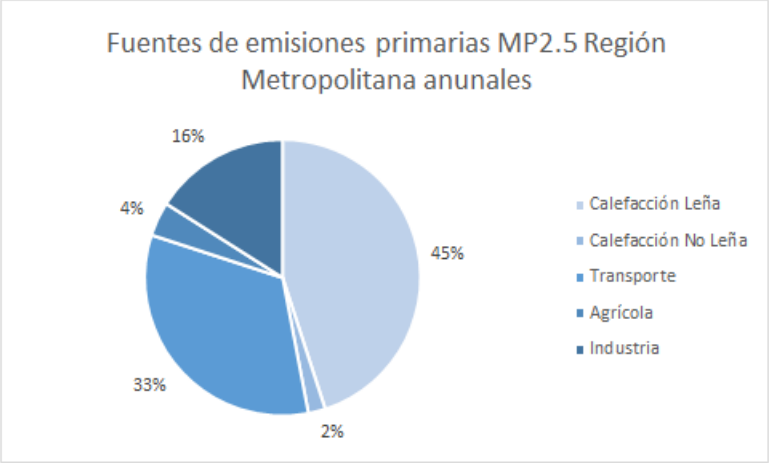


Figura 2.6: Fuentes de emisiones de MP2.5 en RM anuales.
Fuente: (Tele13, 2014).

El siguiente gráfico, ilustra lo mismo que el anterior, pero analizando solo el periodo del invierno, donde aumentan las emisiones producto del uso de leña de un 45 % anual, a un 70 % en el invierno.

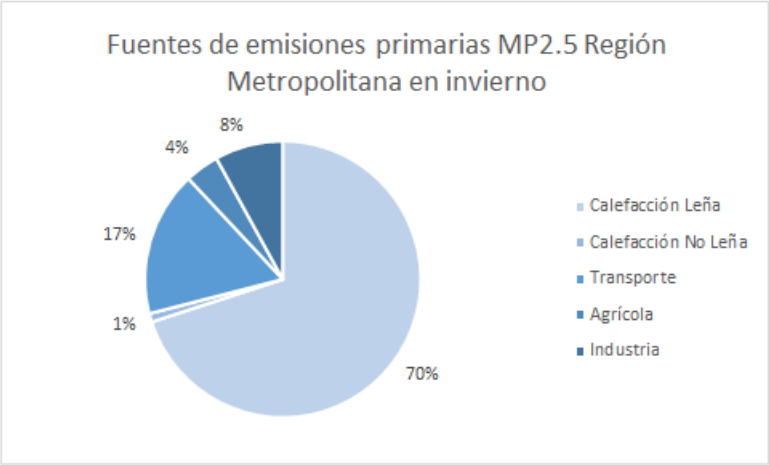


Figura 2.7: Fuentes de emisiones de MP2.5 en RM durante el invierno
Fuente: (Tele13, 2014)

Con respecto a las políticas relacionadas con este tema, también hay diversas opiniones, ya que las medidas restrictivas han sido consideradas como discriminatorias y que tendrían un bajo impacto en la descontaminación de la Región Metropolitana. Por ejemplo, el académico del departamento de física de la USACH, Dr. Patricio Pérez, cuestiona la efectividad de ciertas restricciones vehiculares, argumentando que dado el tamaño del parque automotriz, los vehículos que dejarían de circular no permitirían una baja significativa en las emisiones de mayo y agosto, estimando que esta sería menor a un 5 % de las emisiones totales en ese periodo del año(UdeSantiago al día, 2016). Además de esta crítica a la medida, agrega que la considera discriminatoria, dado que va a haber una tendencia a renovar los autos, y esto va a ser factible para las personas con mayores ingresos.
Finalmente hace referencia a la comparación entre las emisiones de los vehículos particulares y los camiones, donde estos últimos, emitían el doble que los vehículos particulares en Santiago.

El académico de la universidad Diego Portales, Louis de Grange, sostiene que, existe mucha deshonestidad intelectual en esta discusión, y que la verdadera razón de implementar las restricciones vehiculares es el Transantiago. Dado que los indicadores del Transantiago se han deteriorado permanentemente en los últimos cinco años, los tiempos de viaje, la fuga de pasajeros, el aumento en los costos. Los buses del Transantiago pierden 3 por ciento de pasajeros todos los años y los costos aumentaron 15 por ciento en el último año, esta es una medida desesperada para pretender obligar a la gente a dejar de usar su auto, y subirse al Transantiago(Cooperativa, 2015).
También, en otra ocasión, sostuvo que esta medida de restricción vehicular puede ayudar en el corto plazo, pero dudosamente lo haría en el mediano y largo plazo. El considera la medida cuestionable, dado que lo que hace es castigar a la ciudadanía sin ofrecerle una alternativa, considerando que la solución para este problema radica en la mejora del transporte público como una alternativa real al uso del automóvil(EMOL, 2016).

Por otra parte, el investigador de Libertad y Desarrollo, Rodrigo Troncoso, sostiene que los vehículos livianos bencineros (catalíticos y no catalíticos) son poco relevantes en la emisión de material particulado fino. Si el efecto que se busca es reducir el MP2.5, entonces la restricción vehicular es una mala idea (EMOL, 2016). También apuntó a que la medida de las restricciones vehiculares, es una solución más bien Latinoamericana, y no una medida de país desarrollado en general, y que el impacto de esta, solo será de aumentar el parque automotriz, como sucedió en México, Brasil y Colombia.
Finalmente, destacó que si realmente lo que se busca con estas medidas es disminuir la contaminación, entonces tendría más sentido orientarse a restringir a los vehículos que contaminan más, en vez de restringir a los autos que terminan en 2 y 3, por ejemplo.

Andrés Hernando y Slaven Razmilic, investigadores del CEP[5], realizaron declaraciones(Razmilic y Hernando, 2016), donde destacan los siguientes puntos.

- La inclusión de dos dígitos de restricción para vehículos con sello verde y más de cinco años de antigüedad expandiría casi seis veces la limitación actual.

- Si lo que preocupa es la contaminación ambiental, lo primero a revisar son las emisiones y luego el número de fuentes.

- Los vehículos diésel ingresados al país post 2011 son entre dos y tres veces más contaminantes que los vehículos bencineros más antiguos en circulación. Sin embargo, a estos vehículos más contaminantes se les permitirá circular sin limitaciones.

Con esto, concluyen que la discusión debería entonces centrarse más en torno a cuáles son las tecnologías más contaminantes y a cómo debería desincentivarse su uso e incentivarse su reemplazo.

2.4.1. Nuevo plan de descontaminación del aire para la Región Metropolitana

Posterior a todas estas críticas a las medidas propuestas por el gobierno, el día Martes 4 de octubre de 2016, el Ministerio del Medio Ambiente da a conocer las medidas del nuevo plan de descontaminación del aire para la Región Metropolitana (Ministerio del Medio Ambiente, 2016a). Aquí destacan que las medidas adoptadas para controlar el MP10 fueron efectivas, pero que ya cumplieron su ciclo. Por lo que es momento de enfocarse en el MP2.5.
Dentro del nuevo plan de descontaminación, destaca lo siguiente.

Principales Medidas

- Exigencia de la norma Euro VI a la flota del Transantiago.
- Establece zona de baja emisión para camiones, que prohíbe el ingreso de estos vehículos con una antigüedad mayor a 12 años al anillo interior de Américo Vespucio.
- Nuevos límites de emisión para vehículos medianos y livianos con pruebas en plantas de revisión técnica más exigentes.
- Diseño de incentivos económicos para vehículos de baja y cero emisiones.
- Norma de entrada para disminuir emisiones de maquinaria fuera de ruta o de construcción.
- Exigencia tecnológica de mitigación de emisiones de proyectos licitados por el Estado.
- Establece normas más exigentes para el sector industrial en la emisión de material particulado.
- Exige una reducción de un 30 % de las emisiones de MP2.5 para grandes establecimientos comerciales.

Prohibición de Leña

- Prohibición total del uso de la leña en la provincia de Santiago y las comunas de San Bernardo y Puente Alto.
- Prohibición del uso de calefactores a pellets solo en episodios de preemergencia y emergencia.
- Evaluación anual de entrega de subsidios especiales para el acondicionamiento térmico de viviendas.

[5] CEP: Centro de Estudios Públicos.

Gestión de Episodios Críticos

- Cambio de fecha del período de gestión de episodios críticos, desde el 1 de mayo al 31 de agosto. Durante este periodo se aplican las siguientes medidas.
  - Restricción de ingreso de vehículos sin sello verde al anillo Américo Vespucio durante los días de semana.
  - Restricción vehicular de dos dígitos a los vehículos con sello verde inscritos antes del 1 de septiembre del año 2011, la que se aplicara solo los días a la semana.
  - Restricción vehicular de dos dígitos a motocicletas inscritas antes del 1 de septiembre del 2010, la que se aplicara solo los días a la semana.
- Implementación de restricción vehicular de 4 dígitos a vehículos sin sello verde.
- Prohibición de quemas agrícolas en toda la región.

En este nuevo plan de descontaminación, también modifica las recomendaciones y medidas para los distintos tipos de episodios ambientales.

Alerta

- Prohibición del uso de leña para calefacción a leña en toda la Región Metropolitana, excepto pellets de madera.
- Restricciones vehiculares permanentes.
- Prohibición de quemas agrícolas.
- Modificación de clases de educación física y actividades deportivas en colegios.

Preemergencia

- Aumento de número de dígitos de restricción a vehículos sin sello verde.
- Prohibición de encendido de estufas a pellets en toda la región.
- La paralización de industrias que no cumplan los límites de emisión establecidos en el plan.

Emergencia

- Incrementaría la restricción vehicular a automóviles, motocicletas y camiones con sello verde a 4 dígitos y se podrá aplicar los fines de semana.
- Incrementará la restricción vehicular a 8 dígitos a los vehículos sin sello verde.
- Prohibición del uso de calefactores a leña y pellet en toda la región.
- Paralización las industrias que no cumplan los límites de emisión establecidos en el plan.

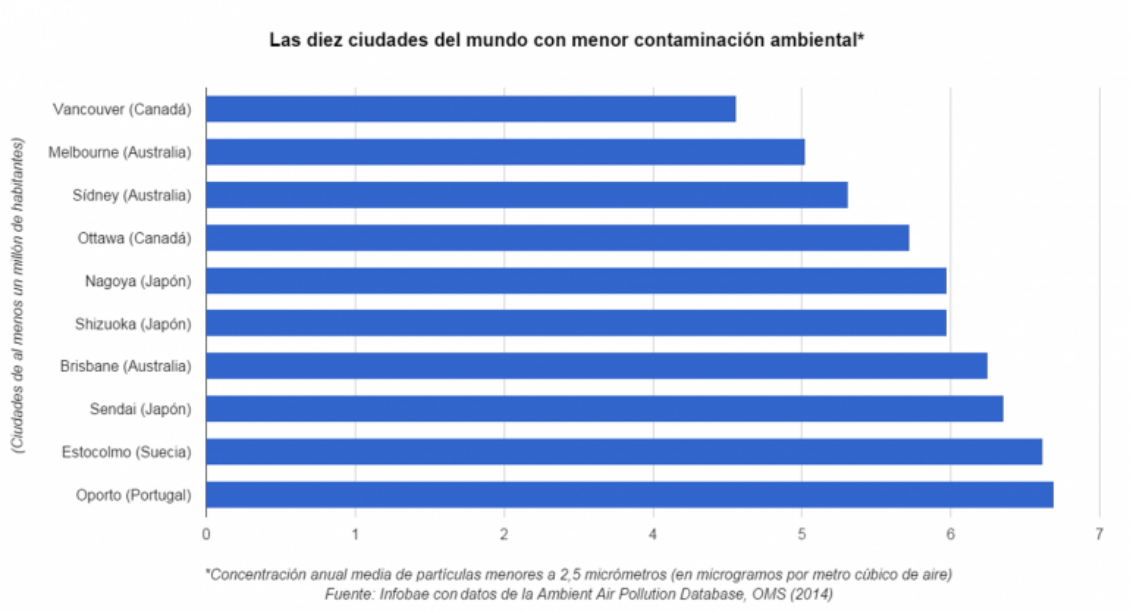
Tras publicarse estas medidas, Slaven Razmilic, destaca que en el corto plazo tendrá impacto en la congestión, pero su impacto en emisiones contaminantes, será acotado (Tele13, 2016). También, planteó que los criterios para excluir un vehículo no fueron elegidos de manera correcta, ya que a su juicio, es discutible que la línea se ponga en un año de adquisición y no en la tecnología ni el combustible del automóvil. Por ejemplo, un auto bencinero de 2011 contamina menos que un diésel de 2012 y sin embargo el primero tendrá restricción y el segundo no. Menciona que la exclusión debería ser por emisiones y estas dependen de tecnología.

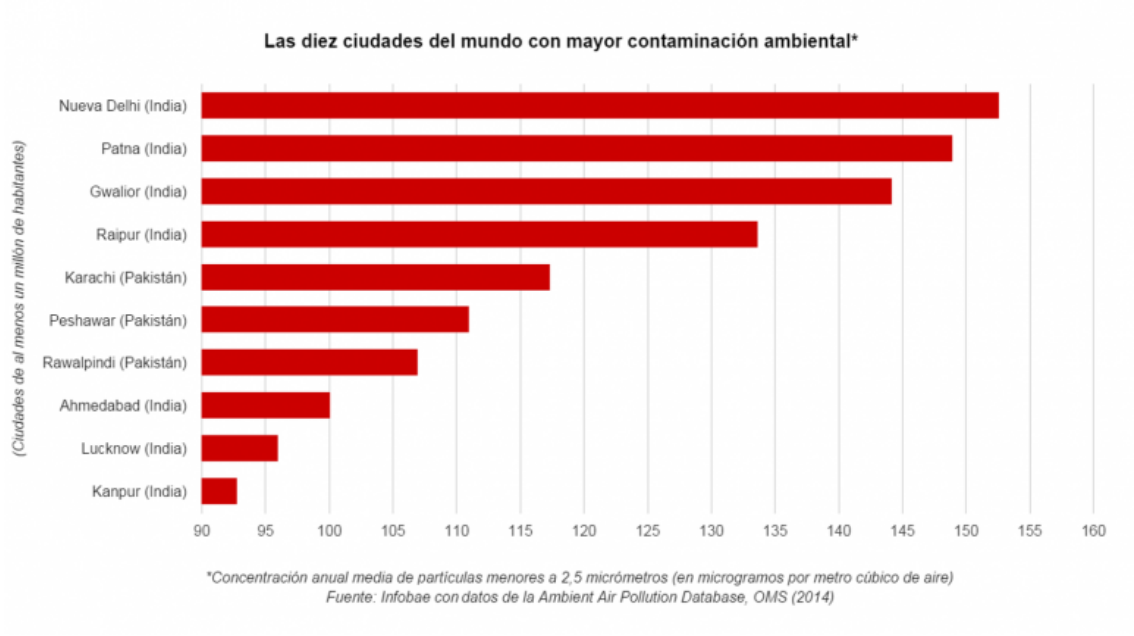
Además, recalca que otro elemento fundamental es la coordinación de de la restricción que propone el MMA con la que en paralelo promueve el Ministerio de Transporte en el congreso, que establece restricción permanente por congestión, pero con la posibilidad de comprar pases diarios, y que de implementarse en conjunto, es imperativo que exista total y absoluta coordinación entre las autoridades, de lo contrario existe un riesgo evidente de generar elevados grados de confusión.

3 | Políticas Medioambientales Exitosas

3.1. Situación Externa

Como se ha visto, este tipo de problemas medio ambientales afectan a distintas localidades, pero no necesariamente son los afectados quienes generan estas situaciones, ya que las grandes emisiones de material particulado van de la mano con la cantidad de personas de una determinada región, el nivel de industrialización y la situación geográfica. Por lo que es de esperar que si no se aplican las medidas preventivas correspondientes en grandes ciudades, se den este tipo de problemas.
Un ejemplo concreto son las medidas tomadas por el gobierno de Francia tras tener un promedio de 38 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ en París, lo cual excede los 20 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ que es considerado como un límite seguro por la OMS. Estas medidas se basan principalmente en la disminución las emisiones por parte de las fuentes móviles, mediante la limitación del tráfico por la ciudad, oferta del transporte público y alquiler de bicicletas de forma gratuita, y finalmente, uso de vehículos municipales lo mínimo necesario. Logrando disminuir los niveles de MP2.5(Sostenibilidad, 2014). En un estudio realizado por la OMS en el año 2014, se dieron a conocer las ciudades con mayores y menores índices de contaminación de MP2.5 en el mundo, destacando por lo positivo países como Australia, Japón y Canadá, ya que las emisiones son considerablemente menores a los 20$[\frac{\mu g}{m^3}]$ exigidos. (América, 2015).





Como se puede observar, India poseía 8 de las 10 ciudades con mayores índices de contaminación en el mundo, lo cual es esperable dado el desarrollo industrial que sufre el país, y la gran cantidad de personas que posee. Implicando mayor contaminación de fuentes fijas y móviles.
En el 2013, la OCDE realizó un estudio en donde reveló los 10 países que más MP2.5 emitieron en los años 2003 y 2013, destacando Estados Unidos y Canadá.

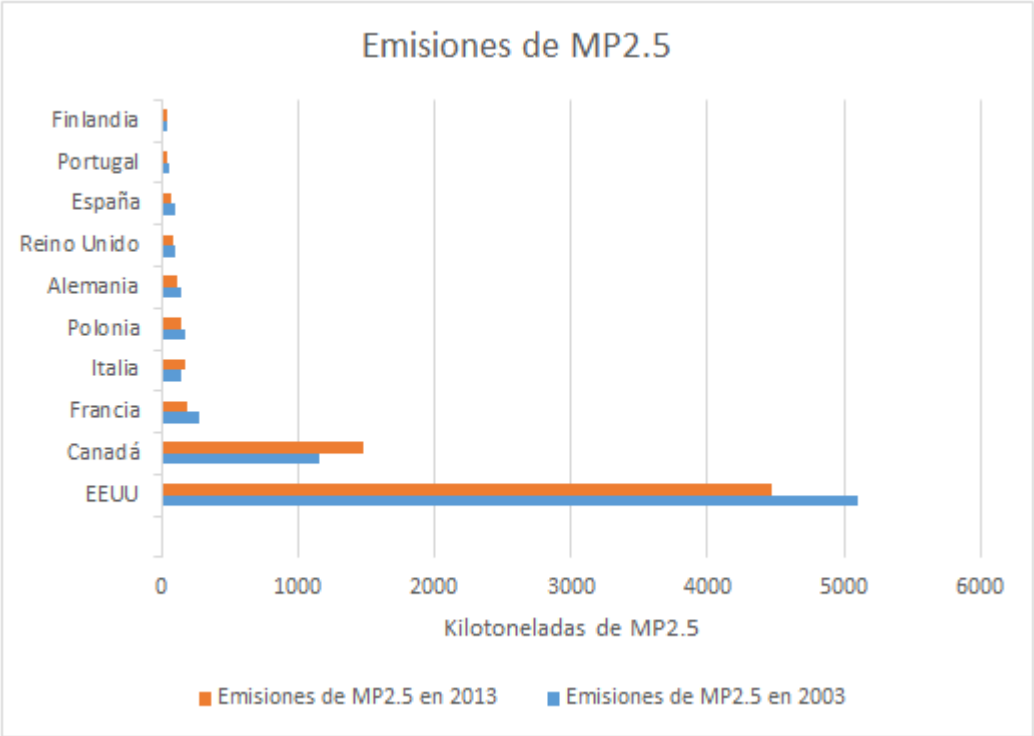


Figura 3.1: Comparación 10 países entre 2003 y 2013
Fuente: (Environment and Climate Change Canada, 2012)

Con respecto a estos países, es de esperar que Estados Unidos se encuentre entre estos 10, dado el nivel de industrialización que tiene. Por otra parte, se observa que Canadá es el único país entre estos 10 que tiene un crecimiento en la emisión de MP2.5 entre los años en cuestión.

3.2. Políticas Exitosas

Cabe destacar que, las consecuencias en la salud de las personas que tiene la exposición a altas concentraciones de este material, han generado una mayor conciencia legislativa con respecto a este tema. Esto repercute en la implementación de políticas con distintos enfoques, sean estos orientados a los vehículos, leña, producción de energía, fomento del uso de bicicletas, entre otras.
Para efectos de análisis de políticas exitosas, estas serán consideradas como tales, si se evidencia una disminución en las concentraciones de una región determinada, ya que el solo hecho de que sea baja, no implica una buena gestión por parte de las autoridades. Y también, será considerado exitosa, si las concentraciones per cápita disminuyen en una determinada región a lo largo del tiempo, ya que al fin de cuentas, se busca que las personas no se vean afectadas por este agente. Con respecto a este segundo punto, en los anexos se pueden observar las concentraciones per cápita de algunos países (A.1).

3.2.1. Beijing, China

Por ejemplo, en el año 2014, se realizó un estudio sobre la eficiencia de las medidas del gobierno en las concentraciones de MP2.5. Este se basó en Beijing, China, analizando desde el 2007 hasta el 2010(Chen et al., 2014).
En ese entonces, las concentraciones semanales de MP2.5 estaban en un rango de 22.5 [$\frac{\mu g}{m^3}$] y 226 [$\frac{\mu g}{m^3}$], con un promedio de 86.1 [$\frac{\mu g}{m^3}$]. Por otra parte, las concentraciones anuales desde el 2008 hasta el 2010, fueron de 88.7, 80.5 y 80.9 [$\frac{\mu g}{m^3}$], respectivamente. Lo cual es alto en comparación a la recomendación de 10 [$\frac{\mu g}{m^3}$] de la OMS, de ese entonces.
En este estudio destacan 2 análisis, siendo el primero el mapa de Beijing según el tráfico, y segundo, el estudio de las concentraciones semanales desde fines del 2007, hasta mediados del 2010.

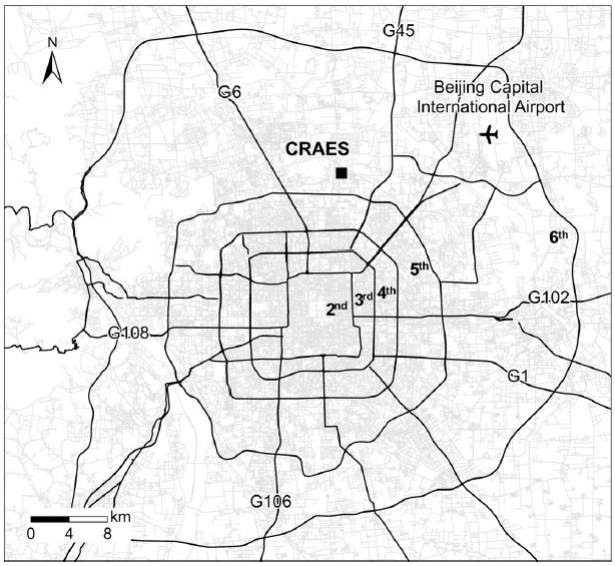


Figura 3.2: Principales zonas de tráfico de la zona urbana de Beijing, China.
Fuente: OpenStreetMap.

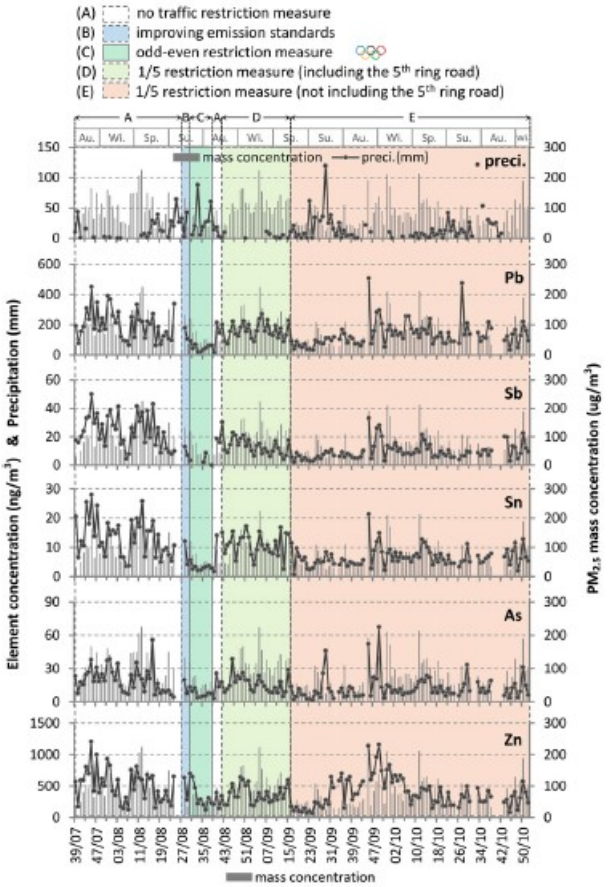


Figura 3.3: Concentraciones semanales de MP2.5 en Beijing.
Fuente: Chinese Research Academy of Environmental Sciences.

Relacionado a lo mencionado anteriormente, se aplicaron las siguientes políticas relacionadas con las restricciones vehiculares en la capital China.

1. Mejores límites de emisión: Esta medida se centraba en sacar de circulación a los vehículos que no cumplieran con los estándares de la norma Europea Euro I.

2. Restricción par-impar: Esta restricción permite el uso de vehículos privados en días pares o impares de la semana según el último dígito de la patente.

3. Restricción 1/5: Esta se basa en prohibir el uso de vehículos dependiendo del último dígito de su patente, 1 de los 5 días hábiles de la semana.

Tras la implementación de mejores límites de emisión, el 1 de julio de 2008, las concentraciones comenzaron a disminuir, y también se logró una disminución en la concentración de algunos materiales dañinos .
Luego de implementar la restricción par-impar durante los Juegos Olímpicos en 2008, se realizó una breve pausa desde el 20 de septiembre hasta el 10 de octubre, donde no hubo ningún tipo de restricción vehicular. Estas 3 semanas sin restricciones, se tradujeron en un aumento en un 16 % en la concentración de MP2.5.
Tras esto, desde el 10 de Octubre de 2008, hasta el 10 de Abril de 2009, se aplicó la restricción 1/5, incluyendo el quinto anillo, y comparando las concentraciones de los mismos periodos en 2007 y 2008, se observó una disminución de un 2 % en la concentración de MP2.5.
Por otra parte, desde el 10 de abril de 2009, hasta el 2010, se modificó el alcance de esta restricción, pasando a no incluir el quinto anillo. Esto genero un aumento de un 1 % en la concentración de MP2.5.

Lo que llevó a un cambio desde el 2005 hasta el 2010, donde los promedios de concentraciones eran de aproximadamente 100 [$\frac{\mu g}{m^3}$], y luego aproximadamente de 80[$\frac{\mu g}{m^3}$], respectivamente. Tras esto, en el año 2012, se publicó una nueva norma de la calidad del aire por el Ministerio de Protección Ambiental de China, la que estableció como límite anual, una concentración de 35 [$\frac{\mu g}{m^3}$], y un límite diario de 75 [$\frac{\mu g}{m^3}$].
Finalmente, el estudio concluye que en general, la contaminación de estos elementos tóxicos varía según las políticas que restringen el tráfico de vehículos, y que medidas más estrictas conlleva a menos contaminación ambiental.

3.2.2. Costa Sur, EEUU

En Estados Unidos, la agencia encargada de controlar los niveles de polución en la costa sur del país, se llama South Coast Air Quality Management District(SCAQDM). Esta agencia, se hace cargo de distintos lugares de EEUU, entre ellos, Orange County, la zona urbana de Los Angeles, Riveside y San Bernardino County, los cuales, en 2012, se destacaron por tener los peores niveles de contaminación de la región.
Esta agencia se encargó de disminuir los niveles anuales promedio de concentración de MP2.5 y de MP10, como se muestra en la siguiente gráfico.

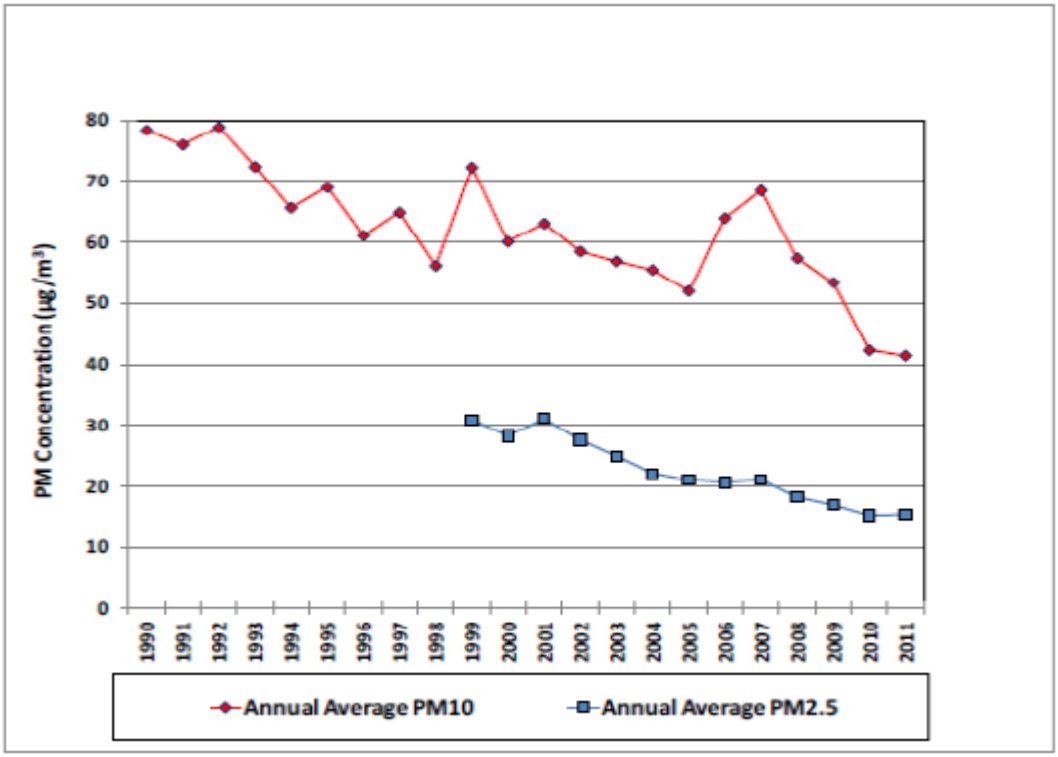


Figura 3.4: Niveles anuales promedio de MP2.5 y MP10 en la costa sur de EEUU.
Fuente: (Li, 2014)

En el gráfico presente, se observa una tendencia a la baja tanto en la concentración de MP10, como en la de MP2.5, pero es con respecto a esta última, que se observa una pausa en esta disminución entre los años 2005 y 2007. Tras esto, la SCAQDM aplicó varias medidas con respecto a los distintos agentes contaminantes que perjudicaban esta región, como lo es el MP2.5, MP10, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, entre otros. Dentro de estas medidas, se mencionan a continuación las que tienen directa relación con el material particulado 2.5(Burke et al., 2007).

1. Modernización de instalaciones.

2. Reducción de emisiones por compostaje de desechos orgánicos.
3. Programas pilotos de refinería de petróleo.
4. Reducción de emisiones de nuevos o remodelación de proyectos.
5. Programas localizados en lugares con altos niveles de MP2.5.
6. Reducción de emisiones provenientes de madera.
7. Programas centrados en vehículos de carga liviana.
8. Programas centrados en vehículos de carga mediana.

El efecto de las políticas mencionadas es claro. Al observar el gráfico ilustrado anteriormente, se observa que tras la aplicación de estas medidas en 2007, se logra volver a la tendencia a la baja con la que venían las concentraciones de material particulado.

3.2.3. Copenhagen, Dinamarca

Según estudios realizados por The Danish Ecological Counsil, a pesar de regirse bajo las normas de la Unión Europea, estiman que aproximadamente 3000 daneses mueren prematuramente cada año, y decenas de miles se enferman gravemente producto de la contaminación ambiental, en especial del material particulado fino (MP2.5), y contrastando estas cifras, menos de 200 personas mueren por accidentes de tránsito.
Con respecto a la contaminación de Copenhagen, esta se divide principalmente en fuentes de fuera de la ciudad, dentro de la ciudad y la contaminación por el tráfico en H.C. Andersen's Boulevard, lo que se muestra en la siguiente figura.

	PM_{10}		$PM_{2.5}$		$PM_{0.1}$		NO_2	
	µg/m³	%	µg/m³	%	number/cm³	%	µg/m³	%
Pollution from sources outside the city	16	52	10	66.5	2500	18,5	9	16.5
Pollution from sources within the city	1	3	1	6.5	2500	18,5	8	14.5
Background pollution from all sources	17	55	11	73.5	5000	37	17	31
Pollution from road traffic on H.C. Andersen' Boulevard	14	45	4	26.5	8500	63	38	69
Resulting concentration on H.C. Andersen' Boulevard	**31**	**100**	**15**	**100**	**13,500**	**100**	**55**	**100**

Figura 3.5: Composición de agentes contaminantes en Copenhagen.
Fuente: CLEAN AIR COPENHAGEN – Air quality challenges and solutions (The Danish Ecological Counsil, 2014).

En esta figura se observa que un 26,5 % proviene del tráfico en H.C. Andersen's Boulevard. Tras esto, se realizó un desglose de la contaminación por tipo de vehículo que transita por el H.C. Andersen's Boulevard.

	Division (%)	Fuel
Passenger cars	76.4	70 % Gasoline / 30 % Diesel
Taxis	7.5	Diesel
Vans	11.4	9 % Gasoline / 91 % Diesel
Trucks (< 32 tons)	2.6	Diesel
Trucks (> 32 tons)	0.35	Diesel
Buses	1.7	Diesel
Total	**100**	---

Figura 3.6: Contaminación por tipo de vehículo que transita por H.C. Andersen's Boulevard.
Fuente: CLEAN AIR COPENHAGEN – Air quality challenges and solutions (The Danish Ecological Counsil, 2014).

En esta figura, destacan las vans con un 11,4 % y los vehículos particulares con un 76,4 %. Luego, tras profundizar este análisis, se obtuvo que las vans aportan con un 6 % en el material particulado 2.5 de la concentración de MP2.5 en H.C. Andersen's Boulevard.
Dentro del periodo analizado, desde el verano de 2008 hasta verano de 2010, se evidencia una disminución en las concentraciones en H.C. Andersen's Boulevard, debido a distintas medidas.

- Cambio de pavimento en H.C. Andersen's Boulevard, lo que generó menores cantidades de emisiones por polvo de asfalto.
- Implementación de zonas de baja emisión.

Esto se traduce en la siguiente tabla de resumen.

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	Effect of low emission zone
PM_{10}	H.C. Andersen' Boulv.	38	39	30	29	36	32	0.5-1
($\mu g/m^3$)	Background	24	21	21	20	24	18	0
$PM_{2.5}$	H.C. Andersen' Boulv.	23	22	18	18	20	15	0.5-1
($\mu g/m^3$)	Baggrund	---	13	11	14	17	11	0
$PM_{0.1}$	H.C. Andersen' Boulv.	21,000	25,000	15,000	17,000	14,000	14,000	3-5000 a)
(number/cm^3)	Baggrund	6000	5000	6000	7000	6500	5500	0-500 a)
NO_2	H.C. Andersen' Boulv.	52	55	50	56	54	55	1-2
($\mu g/m^3$)	Baggrund	19	20	18	17	18	17	1

Figura 3.7: Evolución de contaminación en Copenhagen entre 2007 y 2012.
Fuente: CLEAN AIR COPENHAGEN – Air quality challenges and solutions (The Danish Ecological Counsil, 2014).

Hay que destacar que en Dinamarca se recomienda que las zonas de baja emisión cumplan lo ssiguientes requerimientos:

- Uso de filtros de partículas cerrados para todos los vehículos con mecanismos de inyección directa.
- Uso del sistema selectivo de reducción catalítica[6] para vehículos pesados.
- Cumplimiento de norma Euro 6 para el transporte público.

[6]SRC: Este sistema consiste en un convertidor catalítico, el cual se basa en un sensor de óxidos de nitrógeno que libera las cantidades necesarias de amoníaco, para transformar estos agentes en nitrógeno inofensivo y vapor de agua.

- Prohibición de vehículos livianos que no cumplan por lo menos la norma Euro 3.
- Norma para la emisión de vehículos motorizados de 2 ruedas.

Con esto se observa que el efecto de las políticas adoptadas por las autoridades danesas lograron disminuir las concentraciones de material particulado en general, mediante la creación de zonas de baja emisión y el cambio de pavimento en el lugar analizado.

3.2.4. Región metropolitana de São Paulo, Brasil

Este estudio se basa en el análisis de las concentraciones de agentes contaminantes durante 14 años, desde 1996 hasta 2009, en la región metropolitana de São Paulo, donde más de 19 millones de personas viven actualmente en la región, y la flota vehicular de esta, la cual es la principal fuente de contaminantes atmosféricos, excede los 7 millones. De acuerdo al informe oficial de emisiones en 2012, las fuentes móviles fueron responsables del 97 % del total de emisiones de monóxido de carbono, 77 % de hidrocarburos, 80 % de óxidos de nitrógeno, 37 % de óxidos de azufre, y 40 % del material particulado grueso.
En 1986 se creó el PROCONVE[7], el cual implementó políticas de control de emisiones, en las que normó un límite de emisión de contaminantes. En la primera fase, esta política generó una reducción de aproximadamente un 70 % de los agentes contaminantes (Carvalho et al., 2015) .
Hay que destacar que las motos no estaban incluidas en el PROCONVE, por lo que se generó el PROMOT[8], el cual se encargó de establecer normas de emisión para motocicletas. Con respecto a los datos utilizados, estos fueron obtenidos de la CETESB[9], la que se encargó de medir en 22 estaciones los agentes contaminantes de la siguiente manera.

Station name	Monitored pollutants	Station number
Cambuci	PM_{10}	1
Centro	CO, PM_{10}	2
Cerqueira César	CO, NO_x, SO_2, PM_{10}	3
Congonhas	CO, NO_x, SO_2, PM_{10}	4
Diadema	O_3, PM_{10}	5
Guarulhos	SO_2, PM_{10}	6
Ibirapuera	CO, NO_x, O_3, SO_2, PM_{10}	7
Lapa	CO, NO_x, PM_{10}	8
Mauá	NO_x, O_3, PM_{10}	9
Mooca	O_3, PM_{10}	10
Nossa Senhora do Ó	O_3, PM_{10}	11
Osasco	CO, NO_x, PM_{10}	12
Parque Dom Pedro II	CO, NO_x, O_3, PM_{10}, NMHC	13
Pinheiros	CO, NO_x, O_3, SO_2, PM_{10}	14
Santana	O_3, PM_{10}	15
Santo Amaro	CO, PM_{10}	16
Santo André (Capuava)	PM_{10}	17
Santo André (Centro)	CO, O_3, PM_{10}	18
São Bernardo do Campo	PM_{10}	19
São Caetano do Sul	CO, NO_x, O_3, SO_2, PM_{10}, NMHC	20
São Miguel Paulista	O_3, PM_{10}	21
Taboão da Serra	PM_{10}	22

Figura 3.8: Estaciones de medición en la región metropolitana de São Paulo
Fuente: (Carvalho et al., 2015).

[7]PROCONVE: Programa de control de emisión de contaminantes de vehículos.
[8]PROMOT: Programa de control de polución por motocicletas y vehículos similares.
[9]CETESB: Compañía ambiental del estado de São Paulo

Gracias a estas estaciones, y las mediciones realizadas, se logró obtener las tendencias a la baja de cada uno de los contaminantes en forma de promedio por estación, lo que se representa en la figura adjunta en anexos (A.3) , donde se observa una baja en todos los agentes contaminantes, siendo la mayor baja correspondiente al material particulado grueso, la cual obtuvo en promedio anual una baja de 1.97 [$\frac{\mu g}{m^3}$], entre 1996 y 2009. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de los contaminantes en toneladas por año.

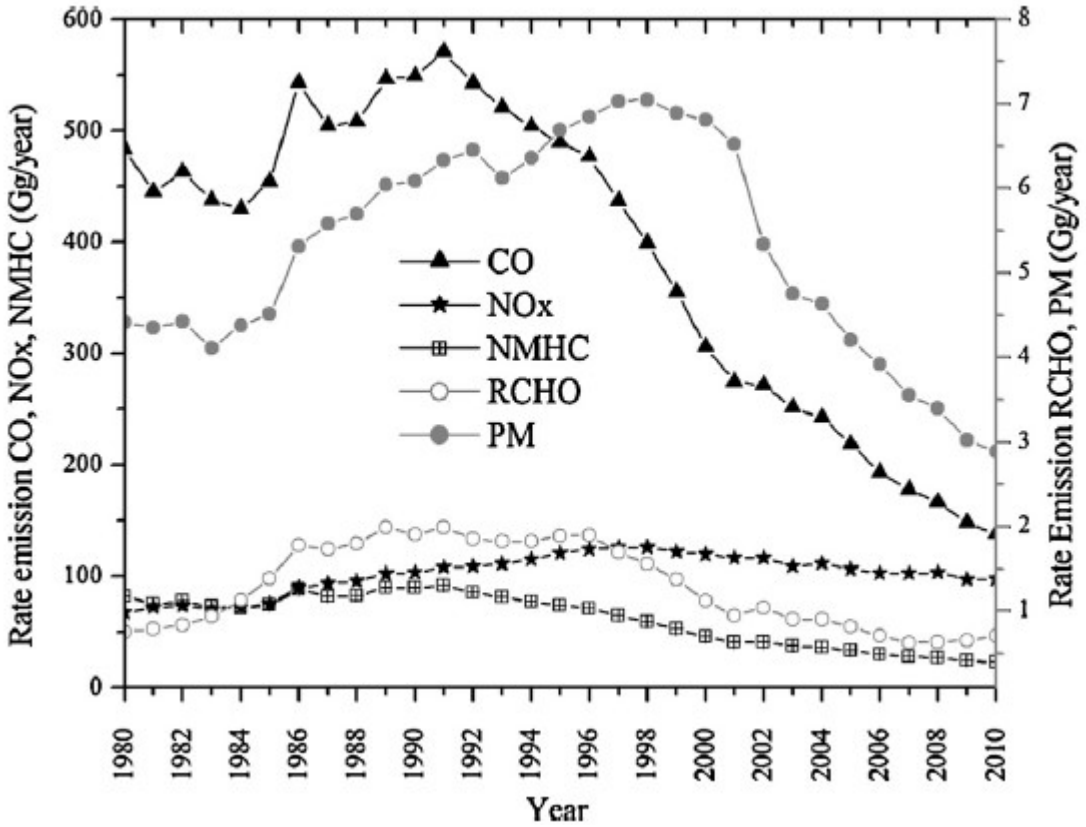


Figura 3.9: Concentración de agentes contaminantes en tonelada por año en la región metropolitana de São Paulo. Fuente: (Carvalho et al., 2015).

Aquí se evidencia una tendencia a la disminución por parte del material particulado, lo que ilustra de mejor manera la tabla presentada con anterioridad (3.8), y además, se observa una disminución continua de este agente desde el año 1998 en adelante, lo que indica el efecto de las medidas adoptadas por el PROMOT y CONVE, los que durante este periodo implementaron las fases 3, 4, y 5 del PROCONVE (Ministério do Meio Ambiente, 1998), las cuales se centraban en.

- Reducción de límites de emisiones de material particulado para vehículos pesados de 0.4 , 0.15 y 0.1 [$\frac{g}{km}$] respectivamente para cada fase.
- Reducción de límites de emisiones de material particulado para vehículos livianos, siendo de 0.128 [$\frac{g}{km}$] para vehículos que pesen menor a 1.700 [Kg], y 0.16 [$\frac{g}{km}$]para vehículos que cuyo peso sea mayor al mencionado.
- Desarrollo de motores con nuevas tecnologías relacionadas con la combustión, presión de la bomba de inyección de combustible, y la inyección misma de este.

Con estos antecedentes, se concluyó que la disminución en las concentraciones de todos los agentes contaminantes, destacando al material particulado, entre 1996 y 2009, se deben principalmente a las medidas

adoptadas por PROCONVE, los que redujeron aproximadamente un 90 % y 80 % las emisiones de vehículos livianos y pesados respectivamente.

3.2.5. Kawasaki, Japón

Al igual que muchos países del continente asiático, la contaminación ambiental se ha vuelto un tema altamente relevante, debido a los efectos que tiene en el medio ambiente y en la salud de las personas.
A continuación, se presenta el caso de Kawasaki, Japón, ciudad que logró disminuir sus niveles de contaminación gracias a las medidas adoptadas por el país, y la ciudad (Kanada et al., 2013). Hay que destacar que Japón, sufrió una serie de problemas de contaminación ambiental durante el desarrollo que experimentó el país a lo largo de los años 1950 y 1960. Sin embargo, desde ese entonces, este país ha podido reducir considerablemente la contaminación mediante la implementación de normas elevadas en tecnología y sistemas de políticas ambientales.
Tras realizar una serie de estudios, descubrieron 4 factores importantes para disminuir el dióxido de azufre:

- Fin al tratamiento de desulfuración.
- Pretratamiento y sustitución con alternativas de bajo azufre.
- Cambo estructural en la industria.
- Eficiencia en los procesos productivos.

Hay que destacar que las principales razones para estudiar a esta ciudad, según Kanada et al. (2013), son las siguientes:

- Es uno de los mayores centros industriales de Japón.
- Se ubica entre Tokio y Yokohama, y está experimentando un cambio estructural drástico de una ciudad industrial a una ciudad urbana.
- Es bien conocido por haber iniciado activamente políticas de control de contaminación atmosférica y por lograr con éxito las metas ambientales.

Con respecto a la situación de esta ciudad, se analizaron los datos de dióxido de azufre desde el 1965 hasta el 2010, lo que se representa en la siguiente figura, donde se evidencia una disminución entre los años 1967 y 1975 aproximadamente.

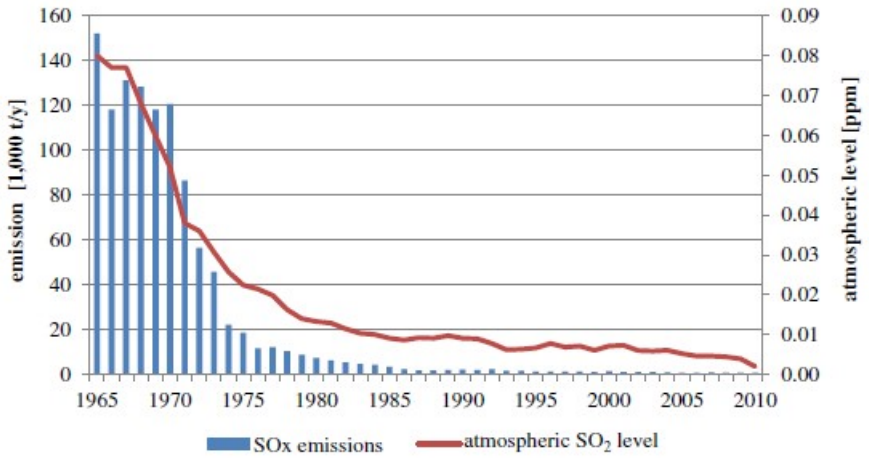


Figura 3.10: Concentración anual de SO2 en Kawasaki desde 1965 hasta 2010.
Fuente: (Kanada et al., 2013)

Esta figura, se debe complementar con las políticas y eventos relevantes al tema de contaminación ambiental entre este periodo (A.15), donde se destacan las siguientes políticas tanto nacionales como locales entre 1965 y 1975 que determinaron y/o lograron esta disminución en la contaminación ambiental de Kawasaki.

- 1962: A nivel nacional se definieron áreas de emisión de hollín y áreas de fumadores.
- 1968: A nivel nacional se implementó una ley para la prevención de la contaminación ambiental.
- 1968: En Kawasaki, se instalaran equipos de medición de la calidad del aire
- 1970: En Kawasaki, se logró un acuerdo con respecto a las emisiones de 39 fábricas.
- 1970: A nivel nacional se realizó la primera "dieta"de polución, donde se aprobaron más de 11 leyes asociadas a las emisiones de agentes contaminantes.
- 1972: A nivel local, se realizó la ordenanza de prevención de la polución, donde se introduce el control total de emisión.
- 1977: En Kawasaki, se logró un acuerdo de control de polución (NKK).

4 | Revisión de Literatura

Hay que destacar que Chile, se encuentra en un proceso de crecimiento y desarrollo tanto en lo económico como en lo cultural, lo que involucra la discusión de temas sociales, y con esto, leyes relacionadas con estos temas. Esto sigue un mismo objetivo, el cual es mejorar la calidad de vida de las personas, ya sea en términos de discriminación, igualdad de género, sistemas de pensiones, sistemas de salud, calidad del aire, entre otros. Este último no ha tenido el mismo impacto que temas como los sistemas de pensiones o de salud, pero sigue siendo importante, dado que se relaciona directamente con la salud de las personas, y dependiendo de las distintas medidas para contrarrestar estos efectos, como las restricciones vehiculares, se puede ver alterado el día a día de los chilenos.
Hay que destacar que el material particulado 2.5 afecta a todas las personas, ya que el diámetro de estas partículas permite que accedan incluso al torrente sanguíneo, condicionando de forma negativa la salud de las personas. Es más, la contaminación ambiental, es responsable de 3.4 millones de muertes prematuras en el mundo, y 480.000 en Europa.(Maione et al., 2016).
Dentro de los diversos estudios relacionados con la materia, Zanobetti y Schwartz (2009) estudió mediante una serie de tiempo de distintas ciudades en Estados Unidos, el efecto del MP2.5 y MP10 en el incremento de muertes por enfermedades cardiovasculares, infartos al miocardio, ataques al corazón y muertes por problemas respiratorios entre los años 1999 y 2005. Tras trabajar esta serie de tiempo con la componente estacional, dado que las concentraciones de MP2.5 dependen de la estación, logró determinar que al aumentar en 10 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ promedio en 2 días, existen aumentos de un 0.85 % en enfermedades cardiovasculares, 1.18 % en infartos al miocardio, 1.78 % en accidentes cerebrovascular, 1.68 % en muertes por problemas respiratorios y 0.98 % en el total de la mortalidad.
Con estos resultados, la investigación concluyó que existe un incremento los riesgos de mortalidad y sus causas específicas asociadas al MP2.5, y que el MP10 está asociado a un mayor número de muertes.
Dados estos antecedentes, es que se revisaron diversos temas relacionados con la medición de las concentraciones de material particulado 2.5, quienes aportan en estas concentraciones, y medidas para disminuir los niveles de MP2.5.

4.1. Medición

Dentro de la calidad de medición, no solo influye la cantidad y ubicación de los equipos, sino que también afectan las condiciones de uso, especialmente las meteorológicas, ya que influyen directamente en los resultados de la medición. Es por esto que Schweizer et al. (2016) realizó un estudio con el fin de cuantificar las diferencias entre las mediciones realizadas por BAM[10] y EBAM[11], en condiciones típicas de California, EEUU, en el 2006, 2009 y 2011, para así lograr identificar las limitaciones del uso de cada medidor. Hay que destacar que el BAM, designado por la EPA[12], posee una resolución de ± 0.1 $[\frac{mg}{m^3}]$, y un rango de medición entre 0 y 1000 $[\frac{\mu g}{m^3}]$, mientras que el EBAM, no perteneciente a la FEM (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016), posee un rango de medición entre -5 y 65.530 $[\frac{\mu g}{m^3}]$, y una resolución de 1.0 $[\frac{\mu g}{m^3}]$.

[10]BAM: Monitor de atenuaciones beta.
[11]EBAM: Monitor ambiental de atenuaciones beta.
[12]EPA: United States Environmental Protection Agency

Las variables modeladas en este estudio fueron las siguientes, diferencia entre las concentraciones medidas por BAM y EBAM de forma horaria, PM_{diff}, la cual depende de la humedad relativa, RHx, humedad relativa ambiental, RHi, velocidad del viento en metros por segundo WS, dirección del viento, WD, y finalmente la temperatura ambiental medida en grados Celsius, t. Esto se representa en la siguiente ecuación.

$$PM_{diff} = t + RHx + RHi + WS + WD \tag{4.1}$$

Con respecto a la ubicación y fechas de medición de cada uno de los instrumentos en cuestión, esto se puede observar en la figura adjunta en anexos (A.9), donde hay que destacar que se realizaron mediciones simultaneas en los lugares mencionados, donde ya existían medidores BAM.
Tras el análisis de los datos ubicados en anexos (A.17), se obtuvieron los siguientes resultados de las variables anteriormente mencionadas.

Variable	R^2	p-value
Temperature (°C)	0.0011	0.001
RH	0.0037	$p < 0.001$
Internal RH	0.0192	$p < 0.001$
Wind speed	0.0229	$p < 0.001$
Wind direction	0.0015	0.013
Internal RH $\geq$ 40%	0.1247	$p < 0.001$
Temperature $\geq$ 20	0.0003	0.215

Figura 4.1: Evaluación de cada variable meteorológica en la diferencia entre EBAM y BAM.
Fuente: (Schweizer et al., 2016).

Gracias a los resultados y relevancia estadística obtenido anteriormente, se concluyó que los equipos de monitoreo móviles como EBAMs, son una fuente muy útil de datos para la investigación y protección de la salud pública durante periodos cortos, pero que también son susceptibles a la sobre-estimación de las concentraciones de MP2.5 cuando la humedad relativa ambiental es alta. Esto genera que aumenten las diferencias entre las mediciones de EBAMs y BAMs, específicamente cuando la humedad relativa interna es sobre el 40 %. Finalmente, se concluye que las comparaciones de co-ubicación de este estudio sugieren que las mediciones por hora de EBAM, no son lo suficientemente precisas como para justificar la comparación con un sitio BAM certificado por la EPA.

4.2. Aportes

Para poder analizar y comprender a cabalidad los factores influyentes en materia de contaminación, se debe tener en cuenta cuales son las principales fuentes de emisión, para luego tomar acciones con respecto a estas. Estas fuentes o factores que aportan en las concentraciones de MP2.5 suelen concentrarse en contaminación por vehículos y contaminación domiciliaria. Con el fin de identificar estas fuentes, e identificar la existencia de alguna relación entre condición socioeconómica y las concentraciones de MP2.5, Barraza et al. (2014) realizó un estudio de las concentraciones de MP2.5 a lo largo del tiempo en el sector sudeste, noreste, centro, y noroeste de Santiago de Chile (A.19). En este, se analizaron las mediciones de distintos hogares de Santiago con el fin de poder comparar los datos internos a los hogares, con datos de un medidor externo a estos hogares ubicado en la zona urbana de Santiago. Con respecto a la zona estudiada, destacan que las concentraciones de MP2.5 datan desde 1989, y que se evidencia una disminución de estas, pero que aun así, son mayores a las recomendaciones entregadas por la Organización Mundial de la Salud. En esta parte del estudio, se realizan gráficos de concentraciones por zonas geográficas de Santiago (A.18), donde destaca la zona noreste, ya que tiene la menor cantidad de episodios sobre la norma de la OMS, y además, los menores promedios anuales.

Gracias a los datos analizados anteriormente, se concluyó que en primavera, según la prueba de Kruskal-Wallis, existe una relación entre las concentraciones de MP2.5 y el nivel socioeconómico. Adicional a esto, se detectaron 6 fuentes claves de contaminación al interior de los domicilios, 3 de estas externas, siendo, vehículos motorizados, polvo de calles y sulfatos secundarios, y las 3 internas fueron, polvo al interior del hogar, limpieza y cocina, y humo de cigarro.
Dentro de los distintos factores que pueden influir en la concentración de MP2.5, destacan las emisiones provenientes de **vehículos** y **leña**. Cheng et al. (2016) estudió las concentraciones anuales de MP2.5 en distintas mega ciudades [13], durante el año 2013 con el fin de poder comparar concentraciones anuales y métodos de colección de datos por parte de estas ciudades.
Las mega ciudades analizadas, se encuentran principalmente en Europa, Asia y Norteamérica, y los datos de cada ciudad fueron obtenidos de dos formas, reportes anuales de los países o sitios web que transmiten estos datos, para posteriormente obtener la media y desviación estándar. Esto más el método de colección de datos, y la normativa diaria y anual (A.13), permiten obtener la siguiente figura resumen.

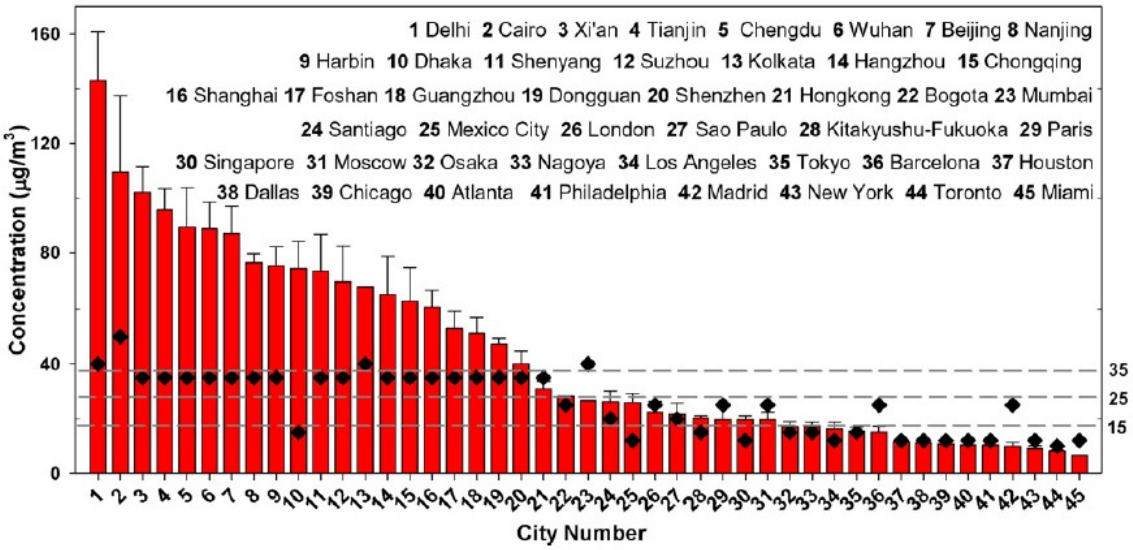


Figura 4.2: Ciudades analizadas y sus respectivas concentraciones anuales.
Fuente: (Cheng et al., 2016)

En esta figura se evidencia la concentración anual promedio de cada mega ciudad, el 15, 25, y 35, representa los límites anuales en cuestión, el final de cada barra representa una desviación estándar, y el diamante negro representa la norma anual para cada mega ciudad.
Adicional a las inferencias a obtener de la figura, se destaca que las principales fuentes de emisión en meses fríos son la quema de **madera** (60 %), y **vehículos** bencineros y diésel. Por parte de Ciudad de México, aproximadamente el 49 % del MP2.5 proviene del tráfico **vehicular**, y entre un 5 % y 30 % de quema de **madera**. Esto gracias a revisión de literatura por parte de quien realizó el estudio, y a la figura adjunta en anexos (A.14) que ilustra la cantidad de días con ciertos niveles de concentración de MP2.5.
Un estudio realizado en EEUU evalúa los aportes de la combustión de madera en invierno en múltiples lugares del noroeste de Estados Unidos (Kotchenruther, 2016). Estos lugares, y periodos de análisis, se encuentran en la figura adjunta en anexos (A.11), donde se observa que son 19 ciudades en distintos estados.
Con respecto a los datos utilizados, estos fueron obtenidos gracias a CSN[14], entidad encargada de monitorear diariamente el MP2.5. Datos que posteriormente son enviados a análisis de laboratorios, donde se determina la composición de este, incluyendo carbón elemental y orgánico.
Gracias a la modelación mediante PMF[15] de la EPA, el cual entrega resultados de las emisiones de fuen-

[13] Mega ciudad: ciudad con más de 5 millones de habitantes.
[14] CSN: The Chemical Speciation Network, entidad fundada por la EPA.
[15] PMF: Modelo positivo de matriz de factorización para análisis de datos ambientales.

tes, minimizando la diferencia entre los datos observados y pronosticados, se obtuvieron los siguientes resultados.

Source or composition identifier	Identified source or composition	Number of sites where appears	Number of sites where a single factor	Number of sites where in a mixed factor
1	Aged Wood Smoke and Secondary Organic Carbon	19	11	8
2	Motor Vehicles	18	11	7
3	Primary Wood Smoke	17	12	5
4	Ammonium Nitrate	16	10	6
5	Ammonium Sulfate	16	6	10
6	Fugitive Dust	16	10	6
7	Sea Salt	7	6	1
8	Sulfate Rich	6	1	5
9	Iron Rich	4	2	2
10	Aged Sea Salt	4	3	1
11	Undetermined	4	0	4
12	Elemental Carbon and Sulfate Rich	3	0	3
13	Residual Fuel Oil Combustion	3	2	1
14	Nitrate Rich	2	0	2
15	Cement Kiln	1	1	0

Figura 4.3: Ciudades y periodos analizados en el noroeste de Estados Unidos.
Fuente: (Kotchenruther, 2016)

Primero que todo hay que destacar que en las 19 ciudades analizadas, se presenta el humo de madera antigua y carbón orgánico.

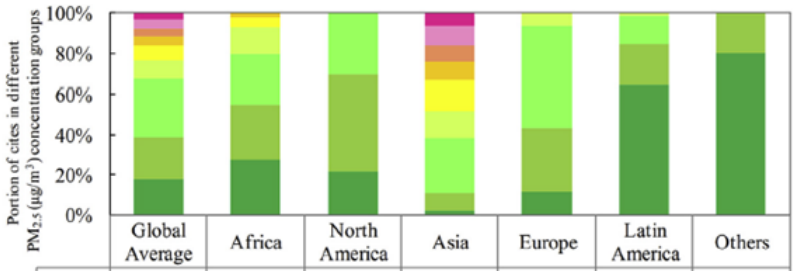
Luego, dado que en los meses de invierno la cantidad de incendios normalmente es nula, se asume que las emisiones generadas por quema de madera se deben principalmente al consumo residencial. Es por esto, que al analizar la figura de promedios de concentraciones del invierno(A.12) se observa que solo hay 2 ciudades en las que se aportó menos de un 20 % del MP2.5, y por otra parte, hay 5 ciudades en las que se aportó más de un 50 % del MP2.5. Hay que destacar que los mayores porcentajes de aporte de MP2.5, fueron ciudades más pequeñas, que tienen un menor número esperado de fuentes de primaria.

Sin duda existen otros factores relacionados en aumentos y/o bajas en las concentraciones de MP2.5, como podría ser la cantidad de habitantes de una región. Es por esto que Han et al. (2016) realizó un estudio para determinar si efectivamente existe relación entre la cantidad de personas que habitan una región, con el nivel de concentraciones de material particulado en la misma. Esto lo realizó mediante el análisis de las concentraciones de MP2.5 en 381 ciudades, distribuidas de la siguiente manera, Asia con 162, Europa con 76, América Latina con 55, Norte América con 55, África con 29, y el resto 4.

En este análisis estadístico se agruparon las ciudades en 7 grupos, utilizando como criterio el número de habitantes, siendo estos grupos, 0.75-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-10, y mayores a 10 millones de habitantes. Por otra parte, los datos utilizados se obtuvieron mediante una combinación entre MODIS[16] y MISR[17], destacando que los datos mundiales de concentración de MP 2.5 tiene una resolución espacial de 10 km, en promedio anual entre 2001 y 2006 (van Donkelaar et al., 2010) .

Tras el análisis de datos, se obtiene la siguiente figura resumen.

[16]MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
[17]MISR: Multi-angle Imaging SpectroRadiometer



	Global Average	Africa	North America	Asia	Europe	Latin America	Others
>90	3.1%	0	0	6.4%	0	0	0
75-90	4.5%	0	0	9.4%	0	0	0
60-75	4.1%	0	0	8.5%	0	0	0
45-60	4.3%	2.3%	0	8.5%	0	0	0
35-45	8.0%	4.5%	0	15.8%	0	0	0
25-35	8.6%	13.6%	0	12.8%	6.4%	1.4%	0
15-25	28.8%	25.0%	30.4%	27.4%	50.0%	13.7%	0
10-15	20.8%	27.3%	48.2%	9.4%	32.1%	20.5%	20.0%
0-10	18.0%	27.3%	21.4%	1.7%	11.5%	64.4%	80.0%

Figura 4.4: Porción de ciudades por continente agrupadas por concentraciones de MP2.5
Fuente: (Han et al., 2016)

Con esto se observa que las ciudades que tiene concentraciones mayores a 35-45[$\frac{\mu g}{m^3}$] son del continente africano y asiático, y además, en base a la figura que agrupa por tipo de país (A.8), se obtiene que al modelar la población de ciudades en función de las concentraciones de material particulado fino, India (A.5) y África (A.6) presentan una función tipo U, China presenta una función tipo U inversa (A.4), y en EEUU (A.7) no se encontraron variaciones significativas.
Con esto se concluye que la relación entre concentración de MP2.5 y habitantes, varía según el continente de la ciudad. Además, se observa que la concentración de MP2.5 en grandes ciudades de América Latina, EEUU y Europa, mostraron variaciones no significativas al variar la cantidad de habitantes.

4.3. Medidas

Con respecto a las medidas revisadas, estas se centran principalmente en las emisiones vehiculares, desde restricciones en determinadas zonas, hasta el uso de filtros con el fin de disminuir la emisión por vehículo. Cabe destacar que una medida efectiva será considerada como tal, si y solo si, logra una disminución en las concentraciones medidas.
En esta línea, se observa un estudio que buscó investigar la contaminación producida a nivel de calles antes y después de la implementación de políticas de tráfico vehicular, incluyendo la implementación de zonas de baja emisión para vehículos pesados en 5 ciudades Holandesas (Boogaard et al., 2012).
Con respecto a la metodología, las mediciones fueron realizadas simultáneamente en 18 lugares en Holanda antes (2008) y después (2010) de la implementación de las políticas. Los dispositivos de medición estaban ubicados en 8 calles principales y 5 zonas urbanas sin zonas de baja emisión, con el fin de poder realizar la comparación. Luego se agregaron 5 medidores en zonas suburbanas.
Las políticas de tráfico aplicadas en las ciudades en el periodo de análisis, se centraron en definir zonas de baja emisión, extender las actuales zonas de baja emisión, y lograr acuerdos con empresas de transporte para que no transitaran por ciertas zonas. El detalle de las medidas aplicadas por zona se encuentra en los anexos (A.20).
Para realizar las comparaciones entre periodos, los resultados fueron ajustados por variación temporal, determinando la diferencia entre los promedios de los periodos analizados. Estos promedios ajustados fueron calculados para distintos agentes contaminantes, los cuales se representan en la tabla adjunta en anexos (A.2), con los que posteriormente se realizaron las pruebas de T y de Wilcoxon para probar estadísticamente la diferencia entre estos periodos. En esta tabla mencionada, se observa una disminución de todas las

concentraciones de agentes contaminantes, donde PM10 y PM2.5 fueron estadísticamente significativas. Además, se encontraron reducciones sustanciales en las concentraciones de MP2.5, las que fueron significativamente mayores(5,4[$\frac{\mu g}{m^3}$] : 31 %) en calles urbanas, que en zonas suburbanas (2,7[$\frac{\mu g}{m^3}$] : 20 %). La disminución de MP2.5 en las calles fue significativamente mayor que la disminución de zonas urbanas (3,9[$\frac{\mu g}{m^3}$] : 27 %($valorp$: 0,08))
Dada la disminución de concentraciones de calles urbanas y zonas urbanas con respecto a zonas suburbanas, que no se encontró un efecto por parte de las zonas de baja emisión, y que las bajas en las concentraciones de MP2.5 eran similares a las disminuciones de zonas urbanas, se concluyó en el estudio que es poco probable que estas disminuciones se deban a un efecto generado por la implementación de la zonas de baja emisión.
Otras medidas usualmente utilizadas son las regulaciones de emisión de material particulado. Es más, Maione et al. (2016) en un artículo sobre el cómo diseñar políticas relacionadas con la calidad del aire y el cambio climático para Europa, destaca que se debe desarrollar una guía adicional sobre la calidad del aire para capturar de mejor manera las emisiones de MP de vehículos, aumentar la regulación para la emisión de vehículos diésel, en base a lo sucedido con algunos artículos defectuosos de Volkswagen, que no representaban de buena manera las emisiones de vehículos diésel, y aumentar regulaciones para calderas de combustibles sólidos, dado el creciente uso de biomasa en aparatos de baja escala. Esto basado en experiencias internacionales, en la figura adjunta en anexos que ilustra la relación entre distintos agentes contaminantes y el calentamiento global (A.10).
Estas medidas también son mencionadas en estudios realizados para cuantificar el efecto de ciertas políticas en la calidad del aire. Así lo hace Williams (2007), quien proyecta disminuciones en las concentraciones de agentes contaminantes en UK(A.21) basándose en las siguientes medidas y supuestos.

1. La fracción de emisión por parte de vehículos que usen gasolina, será la misma que en 2002 (7 %).
2. Toda la flota de vehículos diésel de UK, usarán filtros que reducen las emisiones en un 90 % en vehículos livianos y pesados.
3. No aumentarán los kilómetros recorridos por vehículos desde el 2020.
4. La penetración de vehículos de baja emisión (por ejemplo, vehículos eléctricos), alcanza el 50 % de la flota vehicular de UK.

Con estas medidas, los resultados esperados son los siguientes.

- A pesar de que los vehículos de baja emisión no se encuentren totalmente en las zonas rurales, aun así, se espera una disminución de las emisiones vehiculares significativa con respecto a los vehículos que usan algún tipo de gasolina.
- La contribución de fuentes estacionarias de combustión en Londres podría reducirse a 1 [$\frac{\mu g}{m^3}$] en sitios de carretera.
- Cabe esperar razonablemente que las emisiones antropógenas de COV[18] se reduzcan hasta en un 50 % en 2050.
- Dado lo anterior, sería razonable asumir una disminución del 25 % en la contribución al PM10 de los aerosoles orgánicos secundarios para 2050.
- Los aportes de sulfatos y nitratos a las concentraciones medias anuales de PM10 se estimarían entonces en 1,2 y 2,5-3,0 [$\frac{\mu g}{m^3}$] en lugares de carretera y lugares aledaños a Londres.

Finalmente un estudio (Liang et al., 2016) resume un conjunto de medidas consideradas exitosas (A.22), aplicadas en 17 ciudades tras hacer un análisis de las principales fuentes de emisión de contaminación (A.16) en estas.
Las medidas en la figura mencionada no solo validan las mencionadas en estudios previos, sino que además, sugieren otras medidas como, aplicar filtros a vehículos diésel, utilizar filtros en edificios, fomentar uso de combustibles menos contaminantes, agregar indicador de concentración de MP2.5 como un KPI del gobierno, entre otras medidas.

[18]COV: Compuestos orgánicos volátiles

5 | Propuesta

Tras realizar un diagnóstico de la situación actual y los casos de éxito en distintos países, se pueden definir ciertos parámetros claves en los niveles de contaminación de una determinada región, siendo estos los siguientes:

Emisión vehicular

Este tópico contempla toda emisión generada por vehículos, ya sea por los gases producidos durante el funcionamiento propio de los automóviles, como el polvo que levantan estos al transitar.
Primero que todo, se debe tener en cuenta la evolución del tamaño del parque automotriz. En este punto, se debe destacar que ha crecido un 41 % entre el 2010 y 2015, y con respecto al 2016, aunque aún no se entrega la información oficial, las proyecciones de crecimiento del parque automotriz se ubican en un 8,5 % con respecto al 2015 (Pulso, 2017). Hay que destacar que el último año ha sido desafiante para esta industria, debido a la fluctuación del dólar y las medidas aplicadas por parte del gobierno, factores que influyen directamente en el precio de estos vehículos. Dentro de las medidas aplicadas por el gobierno, se encuentra el impuesto verde. Este impuesto consiste en aumentar el valor de los vehículos que emitan sobre ciertas concentraciones de óxido de nitrógeno, lo que afecta de mayor manera a los vehículos diésel, luego a los gasolineros, y finalmente a los híbridos.
Con respecto a los distintos mecanismos que pueden disminuir las emisiones vehiculares está el incentivar otros medios de transporte que permitan contaminar menos en términos per cápita. Por ejemplo, el incentivar el uso de bicicletas, mediante un aumento en las cantidad y longitudes de ciclovías y/o adoptar políticas de incentivos monetarios por kilómetro recorrido en bicicleta, lo que permite generar ingresos de hasta 40 euros mensuales para el usuario. Esta política se implementó en Paris, Francia en el 2015, y hoy en día se está implementando este incentivo económico en distintos países, como Italia, Holanda, Bulgaria y Austria (La Tercera, 2016).Hay que destacar que el promover el uso de bicicletas no solo se relaciona con la calidad del aire, si no que a la vez permite fomentar el deporte y con eso, aportar en la disminución de la obesidad en Chile.
Por otra parte, mejorar el sistema de transporte, permitiría que las personas opten por el uso de metro o micros, lo que generaría una menor emisión per cápita, y con esto una disminución en las emisiones totales por transporte. Estas mejoras, implican la renovación de la flota, aumentar la frecuencia de buses, aumentar la fiscalización de pago de pasajes, entre otras.
Finalmente, se podría cambiar el combustible utilizado actualmente por los vehículos por uno menos contaminante, como la electricidad, permitiendo a las personas poder trasladarse en los mismos tiempos, contaminando menos.

Emisión domiciliaria

En este ámbito, lo más relevante en términos de emisión es el recurso utilizado en la calefacción de los hogares, especialmente la leña. Este combustible ha llegado a aportar hasta el 70 % de las emisiones de MP2.5 en la RM, por lo que es un agente altamente relevante en la situación de la contaminación actual. En la siguiente figura, se presenta un cuadro comparativo de emisiones por tipo de calefactor, donde destaca el uso de leña, en especial cuando está húmeda.

Figura 5.1: Cuadro comparativo de emisión por tipo de calefactor.
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2016a)

En base a lo presentado anteriormente, para dar solución a este problema, se propone lo siguiente:

5.1. Instalación de filtros para estufas a leña

Dado los niveles de contaminación producto de estos mecanismos de calefacción, se propone permitir el funcionamiento de estufas a leña, siempre y cuando tengan instaladas un filtro que cumpla ciertas características. Los filtros en cuestión permiten disminuir las emisiones generadas en un 90 %, y además, reducir el consumo de leña en un 30 % con un mismo nivel de calefacción del hogar.
En el mercado existen distintos filtros que generan efectos similares, pero no necesariamente con el mismo impacto. En este caso, el filtro mencionado corresponde a **Ecofiltro**. Destacar que no se espera que se utilice este modelo, pero se exige el uso de uno que disminuya las emisiones por lo menos en un 80 %, exponiéndose a una multa en caso de no cumplir con esta exigencia. Para esto, es necesario definir un listado de entidades que cumplan con este requisito, con el fin de poder corroborar o no el cumplimiento de la norma de forma eficiente. Es por esto, que es muy relevante la fiscalización de los hogares, donde esta se puede realizar por ejemplo, corroborando la renovación del filtro mediante un certificado de la entidad correspondiente, ya sea emitido por el estado o por un privado.

5.1.1. Costo de propuesta

Para poder instalar estos tipos de filtros, es necesario limpiar el cañón de la estufa previamente, lo que genera un costo aproximado de 20.000 CLP, adicional a esto, el filtro tiene un costo aproximado de 150.000 CLP, lo que genera un costo total de instalación de 170.000 CLP por estufa, IVA incluido. Hay que destacar que estos filtros tienen una duración aproximada de 6 años, lo que implicaría un gasto aproximado de 170.000 CLP cada 6 años por estufa. Considerando que son aproximadamente 120.000 los hogares que utilizan leña como mecanismo de calefacción (Tercera, 2016), el costo estimado de la instalación de filtros es de 20.400.000.000 CLP por cada 6 años, lo que significa 3.400.000.000 CLP al año.
Es relevante destacar que el estado financiará un 40 % de las comunas más pobres de la Región Metropolitana[19], las que según proyecciones del INE, para el año 2017, constaría de un total de 2.476.264 personas(INE,

[19] Se consideran las más pobres a las que posean sobre un 20 % en el Índice de Pobreza Multidimensional de la encuesta CASEN 2013.

2012). Pero dado que actualmente, se estiman en 2 millones los hogares de la Región Metropolitana, y que aproximadamente 120.000 de estos utilizan leña, se estima que los hogares beneficiados con el subsidio del 40 % serían 40.000. Dado esto, el costo por periodo (6 años) para el estado sería de 2.720.000.000 CLP.

Paralelo a esto, un pilar fundamental de esta propuesta es la fiscalización del uso de filtros en las comunas correspondientes. Es por esto que adicional a los filtros, se propone contratar fiscalizadores para cada comuna, con el fin de velar por el cumplimiento de esta norma. Estos deben tener la facultad de emitir multas de 100.000 CLP en caso de no cumplir con la norma mencionada anteriormente, lo que sería un ingreso para el estado, y permitiría subsidiar a los hogares de escasos recursos con la instalación de este filtro. Para estimar estos costos, se asume que cada trabajador fiscalizará 5 hogares por hora, lo que implicaría 900 hogares a mes por trabajador. Además, a cada uno de estos, se les pagaría 350.000 CLP brutos, por lo que el primer año implicaría 53 trabajadores, lo que genera un costo aproximado de 222.600.000 CLP al primer año, y desde el segundo año, implica contratar 160 trabajadores, generando un costo anual de 672.000.000 CLP anuales.
Tras realizar el desglose de los costos, se concluye que los costos serán altos con una frecuencia de 6 años, ya que se debe realizar el cambio de filtro. Es decir, los costos de reposición estarán presentes en el primer año, séptimo, treceavo, y así sucesivamente.

- **Primer año:** 2.942.600.000 CLP
- **Segundo año:** 585.900.000 CLP
- **Tercer año en adelante:** 672.000.000 CLP
- **Año de reposición:** 3.392.000.000 CLP

5.1.2. Impacto de propuesta

Con respecto al impacto esperado de esta propuesta, se espera disminuir las concentraciones generadas por estufas a leña por lo menos en un 80 % de la concentración actual en un horizonte de 2 años, además de generar una disminución en el consumo de leña como medio de calefacción de los hogares.
Esto permitiría a los hogares poder contar con su actual mecanismo de calefacción y no incurrir en un gasto extra para cambiar los mecanismos de calefacción de sus hogares.
Dado que actualmente la contaminación por leña representa aproximadamente un 39 % del MP2.5 de la Región Metropolitana (Tercera, 2016), al reducir esto en por lo menos un 80 % (dado que hay filtros que reducen hasta un 90 %), se espera disminuir las emisiones a un 7,8 %, lo que se traduce en una disminución de un 31,2 % de las emisiones de MP 2.5 en la RM.

5.1.3. Fases de implementación

Con respecto a las fases de implementación, se espera incluir paulatinamente a la totalidad de hogares de la Región Metropolitana en un plazo de 2 años. Considerando que la Región Metropolitana posee 52 comunas en distintas provincias, se clasificaron tres tercios, donde el primero está compuesto por las 17 comunas más contaminantes, el segundo por las siguientes 17 comunas más contaminantes restantes, y el tercero por las 18 comunas restantes. Cabe destacar que no se encontró el dato de la comuna María Pinto, pero al observar las emisiones de la Provincia correspondiente (Melipilla), y comprar el tamaño de esta comuna y sus datos demográficos, se decidió agregarla en la tercera etapa, al igual que otras 3 de las 5 comunas de esta provincia.
Dado esto, las fases serían las siguientes:

1. **Primera etapa:** Aplicar esta norma al tercio más contaminante de la Región Metropolitana durante el primer año (A.23). Estas comunas son las siguientes:

- Las Condes, Huechuraba, Quilicura, Maipú, Lampa, Providencia, Paine, Cerrillos, La Reina, Isla de Maipo, Tiltil, Vitacura, Melipilla, Ñuñoa, San Joaquín, Recoleta y Buin.

2. **Segunda etapa:** Aplicar esta norma a los 2 tercios más contaminantes de la Región Metropolitana durante 6 meses (A.24). Esto significa que a las comunas de la primera etapa, se adicionan las siguientes:
   - Pudahuel, Conchalí, Renca, San Bernardo, Quinta Normal, Colina, Santiago, Pirque, Puente Alto, Lo Prado, Talagante, San José de Maipo, Peñalolén, Lo Espejo, La Granja, Peñaflor y El Bosque.
3. **Tercera etapa:** Aplicar esta norma a la todas las comunas pertenecientes a la Región Metropolitana de forma indefinida. Donde se añadirían las siguientes comunas (A.25).
   - Curacaví, Alhué, La Florida, La Cisterna, La Pintana, Macul, San Miguel, Lo Barnechea, San Pedro, Estación Central, Independencia, El Monte, Calera de Tango, Pedro Aguirre Cerda, María Pinto, Padre Hurtado, Cerro Navia y San Ramón.

Destacar que en todos los años, en los meses previos al invierno, se debe realizar una campaña intensiva con respecto a las consecuencias de no utilizar estos filtros, destacando multas a las que se expone el hogar y los efectos negativos que genera en la calidad del aire, y en la vida de las personas.
Para poder implementar esta propuesta, y lograr los efectos deseados, es altamente relevante la fiscalización del uso de estos dispositivos, ya que de no realizar esto, no tendría el efecto esperado.

5.1.4. Problema a solucionar

Con esta propuesta se espera disminuir las concentraciones anuales totales de la RM en aproximadamente un 30 %[20], lo que permite avanzar en la mejora de la calidad del aire en la región, disminuyendo la cantidad de episodios críticos durante el año y las medidas asociadas a estos episodios, pero principalmente, se espera mejorar la calidad de vida de las personas impactando directamente en la salud de éstas.

5.2. Incentivo a vehículos eléctricos

Considerando los niveles de contaminación generado por emisiones de vehículos, tanto bencineros como diésel, se propone generar un incentivo para la población con el fin de que puedan adquirir vehículos eléctricos a un menor valor, buscando aumentar la participación de estos en el parque automotriz, y así reemplazar los vehículos actuales por otros menos contaminantes.
El incentivo se basa en la liberación del pago de impuestos o aportes al fisco, tales como permisos de circulación e IVA. Estos, en conjunto con los impuestos de primera categoría e impuestos específicos representan aproximadamente un 42 % del aporte tributario del sector automotor (A.27).
Hay que destacar que en el año 2014, según el PIB publicado por el Mundial (2017), el aporte tributario del sector automotor, fue un 1,59 % del PIB de ese año.
En términos concretos, el incentivo para los compradores se traduce en lo siguiente:

- **IVA:** 19 %
- **Permiso de circulación:** 4,5 %

Considerando un vehículo eléctrico de 20.000.000 CLP, este beneficio permitiría adquirir el vehículo en 15.300.000 CLP, dado que el IVA representa 3.800.000 CLP y el permiso de circulación 900.000 CLP. Hay que destacar que el permiso de circulación se paga de forma anual, y dado los valores de estos vehículos, el costo es de un 4,5 % del valor del vehículo, lo que se traduce aproximadamente en 900.000 CLP todos los años(A.28). Por lo que al utilizar el vehículo durante 3 años, el beneficio permite ahorrar al comprador un 32,5 % del valor de compra del vehículo eléctrico, lo que genera un incentivo económico, dado que por la compra de un vehículo que no sea eléctrico, se debe pagar ese 32,5 % en 3 años.

[20] Dato obtenido en base al efecto del 80 % de los filtros, y el aporte de la leña en las emisiones de MP2.5 en la RM de forma anual(39 %).

Con respecto a los vehículos eléctricos, estos se destacan por la autonomía de carga entre 130 y 250 Km, dependiendo de los modelos existentes en el mercado actual, el costo aproximado de 14 CLP por kilómetro recorrido, y dado que los niveles de emisiones que poseen, no están sujetos a restricciones vehiculares.

5.2.1. Costo de propuesta

El costo de la propuesta se traduce principalmente en el monto que deja de recibir el estado producto de la venta y uso de automóviles. Dado que el monto depende netamente de cuantos vehículos tradicionales han sido suplantados por los vehículos eléctricos, se observa que en un primer año, el costo sería de un 23,5 % de los autos eléctricos vendidos, para un segundo año sería un 23,5 % de los autos eléctricos vendidos ese año más un 4,5 % de los autos vendidos el año anterior(costo de permiso de circulación), y así sucesivamente.
Para llevar esto, a un ejemplo más concreto, se tomará como referencia el año 2014. Considerando los beneficios que se obtienen al utilizar un vehículo eléctrico, ya sea en lo económico, como en la posibilidad de utilizarlo en episodios críticos ambientales, se espera que el consumidor actúe de forma racional, por lo que optaría por este tipo de vehículos. Para este ejercicio se asumirá que el 50 % de los consumidores actúan así.
Al desglosar los 4.109 MM USD aportados por este sector al estado, se obtiene que los permisos generan 205 MM USD y el IVA 1.315 MM USD, al separarlos por porcentaje de participación de los vehículos livianos y medianos, considerando la forma racional de actuar de los consumidores, se estima que al estado le cueste 725,8 MM USD, lo que implica un 0,28 % del PIB de ese año.
Con respecto a los mecanismos de carga de estos vehículos, se espera que las mismas compañías que suministran el combustible actualmente, se adapten a la llegada de los vehículos eléctricos, e incluyan en sus servicentros lo necesario para poder cargarlos.

5.2.2. Impacto de propuesta

Dadas las condiciones técnicas de este tipo de vehículos, se espera que compitan en el mercado de vehículos livianos y medianos, no pudiendo competir en el mercado de vehículos pesados, dado que no se compara en términos de peso, potencia, ni capacidad de carga. Considerando esto, en la siguiente figura se presenta la cantidad de ventas del año 2014 en el mercado de vehículos livianos y medianos [21] del año 2014 por rangos de precios.

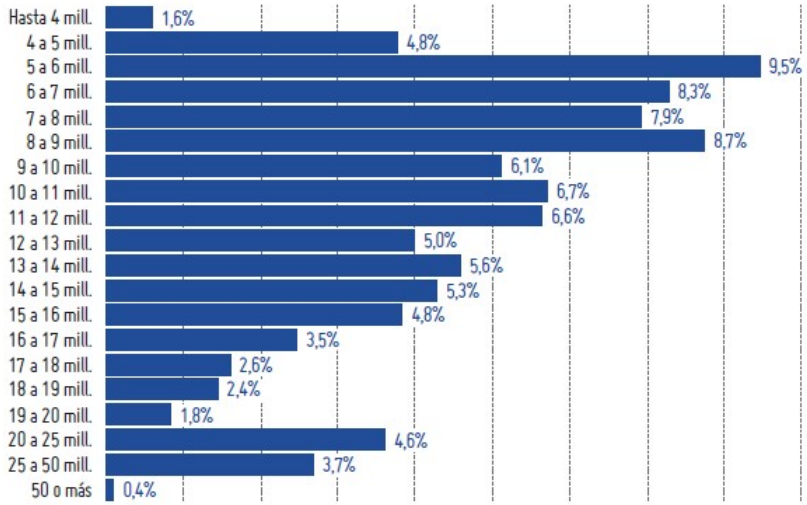


Figura 5.2: Vehículos livianos y medianos vendidos en 2014 por rango de precios.
Fuente: ANAC (2016)

[21] En esta categoría, los vehículos livianos no pueden tener un peso bruto vehicular mayor a 2.700 kg, y los vehículos medianos, deben ser mayor liviano y tener un peso bruto vehicular menor a 3.860 kg.

Considerando que se vendieron aproximadamente 338.000 vehículos de este tipo en el 2014, y que el 61 % de las ventas se realizaron en la Región Metropolitana, se observa que los vehículos livianos y medianos con un precio mayor a 15 millones de pesos vendidos el 2014 en la Región Metropolitana, representan aproximadamente el 15 % de las ventas de este tipo de vehículos en el año. Se debe destacar que de este 15 %, un 28 % corresponde a vehículos diésel, y un 72 % a vehículos bencineros (ANAC, 2016).
Dado que según estimaciones de la ANAC[22](A.29), A.29 al aporte en emisiones de este tipo de vehículos es de un 11 % en la sección de transporte, se espera disminuir las emisiones de MP2.5 de la RM en por lo menos un 5,5 %, considerando la racionalidad de los consumidores mencionada anteriormente.
Cabe destacar que se espera que este incentivo logre aumentar la participación de mercado de los vehículos eléctricos, y con esto, disminuir cada año las emisiones de MP2.5 generadas por los vehículos livianos y medianos.

5.2.3. Fases de implementación

Con respecto a la implementación, el gobierno dará a conocer los detalles de la propuesta, desde el contenido hasta las fechas oficiales de implementación, para que la ciudadanía esté al tanto de las nuevas medidas relacionadas con la adquisición de vehículos.

5.2.4. Problema a solucionar

Con esta propuesta se da inicio a un cambio en la estructura del parque automotriz, con el fin de que en un futuro predominen los vehículos eléctricos, para todo tipo de vehículo, ya sea liviano, mediano, pesado o buses. Logrando así, un parque automotriz con emisiones de MP2.5 bajas en comparación con el actual, lo que permite favorecer positivamente a la salud de las personas.

[22] ANAC: Asociación Nacional Automotriz de Chile.

6 | Conclusiones

La contaminación ambiental ha influido directamente en la salud y calidad de vida de las personas, específicamente, el material particulado 2.5, ya que posee un diámetro que permite que las partículas lleguen al torrente sanguíneo. Esta es una de las razones por las que el estado debe ocuparse no solo de cuantificar las concentraciones de este material, ni de tener medidas que eviten el riesgo de las personas en episodios críticos, sino que debe velar por la correcta elaboración e implementación de políticas públicas eficaces que permitan disminuir las concentraciones de MP2.5.

En el ámbito nacional, específicamente en la Región Metropolitana, se logra evidenciar 2 agentes como los principales aportes en las emisiones de MP2.5, la contaminación vehicular, y los combustibles utilizados en la calefacción de los hogares, específicamente la leña. Con respecto a cuál de estos agentes es el más contaminante, hay opiniones divididas, ya que estudios realizados por distintas instituciones concluyen de distintas formas, es decir, algunos son enfáticos en que la leña es el principal problema, y que los vehículos son un aporte marginal, otros sustentan que los vehículos son un agente altamente relevante. Por ejemplo, según la UNAB, la leña aporta un 49 % de la concentración de MP 2.5 en la RM, por otra parte, la CONAMA indica que solo aporta un 17 %, y El Dínamo sostiene que las estufas a leña de Santiago, contaminan lo mismo que todos los autos, buses, camiones e industria de nuestra capital. De cualquier forma, estos agentes son los responsables de gran parte de las emisiones en el país, en lugares como Ciudad de México, y otras 17 ciudades de distintos estados de EEUU. Otro tema de discusión han sido las medidas adoptadas para combatir la contaminación en el país, dado que académicos como el Dr. Patricio Pérez de la Universidad de Santiago de Chile cuestiona la efectividad de las restricciones vehiculares, donde estima que el impacto sería menor al 5 %, además de considerar que son discriminatorias ya que existe un incentivo a renovar los autos, hecho que no va a ser posible para todo el público. También hay opiniones que critican la forma de seleccionar qué vehículos están sujetos a restricción y cuáles no, dado que el parámetro para decidir esto debiese ser que auto contamina más, y no el último dígito de la patente.
En el caso de Andrés Hernando y Slaven Razmilic, ambos investigadores del CEP, destacan que hay vehículos diésel que son entre 2 a 3 veces más contaminantes que los vehículos bencineros más antiguos en circulación, pero aun así, se les permite circular sin limitaciones.

Actualmente, Chile posee un plan de descontaminación que posee medidas relacionadas con los vehículos, como las zonas de baja emisión, restricciones por el último dígito de la patente, y también posee medidas para episodios críticos con respecto al uso de la leña, ya que prohíbe el uso de ésta en la Región Metropolitana en caso de haber alerta, pre emergencia o emergencia ambiental. Adicional a este plan, para el año 2017 se busca implementar un nuevo plan de descontaminación, que utiliza distintos incentivos que pretenden disminuir la concentración de la región. Esta implementación puede generar problemas en la reacción de las personas, dado que se han eliminado o pausado propuestas, que son decisivas a la hora de tomar decisiones financieras para las personas.
En términos concretos, algunas de las actuales políticas que utiliza Chile para combatir las emisiones de agentes contaminantes, han sido catalogadas como exitosas en este documento, dado que han permitido generar un cambio favorable en distintos países una vez aplicadas. Por ejemplo, las restricciones vehiculares lograron una disminución de un 2 % en Beijing, China, las definición de zonas de baja emisión permitió disminuir la concentración de H.C Andersen's Boulevard en 5 $[\frac{\mu g}{m^3}]$ en la ciudad de Copenhagen, Dinamarca. Esto muestra

una tendencia importante, pero no suficiente para el contexto nacional, ya que con las actuales medidas, aún existen episodios de alerta, pre emergencia y emergencia ambiental. Por ejemplo, no se evidencia un plan intensivo de acuerdos con empresas, ya sean manufactureras o de servicios, que genere un incentivo para disminuir las emisiones de éstas, a diferencia de lo sucedido en Kawasaki, Japón, donde se logró un acuerdo con 39 empresas, con el fin de controlar y disminuir las emisiones de éstas fábricas.
Con respecto a las mediciones, se concluye que los medidores deben estar ubicados en lugares que sean representativos en relación a las consecuencias que pueden tener las concentraciones de MP2.5, ya que esto permitiría generar, controlar y mejorar medidas que afectan directamente a las personas. Además, estos medidores deben ser preferiblemente de tipo BAM, con el fin de evitar sesgos en las mediciones de concentraciones producto de las condiciones climáticas, específicamente la humedad, y con esto evitar una toma de decisiones basadas en datos erróneos.

Observando otras medidas que proponen distintos académicos, se encuentra el proponer un indicador de desempeño del gobierno que se base en las emisiones generadas en el periodo, estudiar antecedentes como lo sucedido en Londres en 1952, y fomentar la educación en esta materia, con el fin de concientizar a la población de las consecuencias generadas al emitir más MP2.5.
Dados estos antecedentes, se infiere que las actuales restricciones vehiculares generan un impacto positivo en las emisiones de MP2.5, pero no son suficientes para solucionar el problema de la contaminación. Para dar solución a esto, se generaron las siguientes propuestas:

- Permitir el funcionamiento de estufas a leña, siempre y cuando tengan instaladas un filtro que disminuya las emisiones de estufas a leña en por lo menos un 80 %, busca disminuir las emisiones de MP2.5 de la Región Metropolitana en aproximadamente un 31,2 %, permitiendo a los hogares utilizar este mecanismo de calefacción, exponiéndose a multas de 100.000 CLP en caso de no cumplir con la normativa. El costo de esta propuesta se divide en el aporte del 40 % entregado por el estado a los hogares más vulnerables, y el pago a fiscalizadores. Esto genera costos el primer año de 2.942.600.000 CLP, el segundo año 585.900.000 CLP, el tercer año en adelante 672.000.000 CLP, y cada año de reposición, 3.392.000.000 CLP, donde los años de reposición tienen una frecuencia de 6 años.
  Esta medida se propone ser ejecutada en 3 fases, donde la primera consiste en aplicar la medida al tercio de las comunas más contaminantes de la RM durante un año, la segunda fase consiste en agregar el siguiente tercio de comunas más contaminantes durante 6 meses, para luego, en la tercera fase, incluir el resto de comunas de la Región Metropolitana.
  Es altamente relevante destacar el rol que cumple la fiscalización, ya que de no realizarse, la propuesta generaría el efecto contrario al buscado.

- Incentivo a vehículos eléctricos, propone liberar del pago de permiso de circulación y el IVA, lo que se traduce en un descuento de un 23,5 % al momento de adquirir el vehículo eléctrico, y luego un 4,5 % de forma anual, dado que el permiso de circulación se paga anualmente. Esto, adicional a los beneficios propios de este tipo de vehículos, como el costo aproximado de 14 CLP por kilómetro, genera un incentivo económico que pretende aumentar la participación de este tipo de vehículos en el parque automotriz, buscando disminuir por lo menos en un 5,5 % las emisiones de MP 2.5 de la Región Metropolitana.
  Con el fin de cuantificar el efecto monetario del incentivo propuesto, se realizan cálculos con un vehículo de 20.000.000 CLP. Este costaría 15.300.000 CLP, y por año, no se pagarían 900.000 CLP por el permiso de circulación. Dado esto, los costos asociados en esta propuesta, son asumidos por el estado, y dependen netamente de la cantidad de vehículos eléctricos adquiridos en un año, y el valor de estos, dado que los costos son en términos porcentuales del valor del vehículo. Por esto, asumiendo que los consumidores son racionales, y el 50 % de estos opta por este tipo de vehículos, el costo, según datos del 2014, sería de 725,8 MM USD. Cabe destacar que esto también impactaría en los aportes que recibe el estado por el combustible, pero no se poseen datos suficientes para estimar éstos.

6.1. Limitaciones y recomendaciones

- Se recomienda aumentar la cantidad de medidores, con el fin de poder identificar con mayor precisión los lugares más y menos contaminados.
- En el desarrollo de este documento, se utilizaron datos de hasta 5 años atrás, por lo que se recomienda aumentar la frecuencia y transparencia en las mediciones de agentes contaminantes, con el fin de facilitar el acceso, y poder generar estudios con datos más recientes.
- Dentro de la propuesta de incentivar el uso de vehículos eléctricos, no se obtuvieron datos suficientes para estimar el costo asociado a lo que deja de recibir el estado producto del consumo de combustibles.
- Dado que no existe un estudio de la implementación de la propuesta de incentivo de uso de vehículos eléctricos, se realizan estimaciones arbitrarias en el comportamiento de los consumidores, con el fin de ejemplificar y/o calcular el impacto de la propuesta.
- Destacar que los costos de fiscalización, en la propuesta de filtros para estufas a leña, son estimaciones que no necesariamente cumplen con la normativa legal relacionada a contratos de trabajo. Se utilizaron estimaciones, como el número de casa a fiscalizar por horas con el fin de poder estimar y entregar un costo estimado de la política. Sin duda, este depende del rendimiento de los fiscalizadores.
- La información utilizada en la propuesta de vehículos eléctricos corresponde al año 2014-2015, dado que no se dispone del informe correspondiente a este periodo, por lo que el impacto, y datos presentados pueden variar. Por esto, se recomienda aumentar la frecuencia de publicación de estos informes, y facilitar el acceso.
- Con el fin de eliminar la discusión sobre los aportes en las concentraciones de material particulado, se recomienda realizar cada año un estudio profundo sobre qué sectores, tipos de fuentes, tipos de vehículos, tipos de combustibles, contaminan más, y cuánto aportan. Esto permitiría poder aumentar el control y evolución de las emisiones, logrando cuantificar el impacto de medidas implementadas por el gobierno.
- Se recomienda generar un plan de fiscalización para las restricciones que se relacionen con la emisión de material particulado, dado que las medidas prohibitivas no lograrán obtener todo el impacto posible si no son fiscalizadas.
- Se recomienda el integrar a los agentes ministeriales correspondientes para el desarrollo de cada medida, por ejemplo, al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones junto con el Ministerio del Medio Ambiente, al momento de decidir políticas de restricción vehicular.
- Con respecto a las propuestas planteadas, se asume que no se implementará otra medida que pueda generar incentivos contrarios a lo planteado, generando que las propuestas sean contraproducentes.
- Las propuestas planteadas son dinámicas, es decir, según el contexto nacional, se pueden modificar y/o complementar con otra, buscando disminuir la concentración de MP2.5.

Bibliografía

América, Infobae (2015). Las diez ciudades más y menos contaminadas del mundo _ Las 10+, Ciencia, Contaminación, Agua contaminada, América Latina, India, Australia, Canadá - América. 3.1

ANAC (2016). *Anuario automotriz 2015/2016*. 5.2, 5.2.2, A.26, A.27, A.29

Barraza, Francisco; Jorquera, Héctor; Valdivia, Gonzalo; y Montoya, Lupita D. (2014). Indoor PM2.5 in Santiago, Chile, spring 2012: Source apportionment and outdoor contributions. *Atmospheric Environment*, 94, 692–700. 4.2, A.18, A.19

Boogaard, Hanna; Janssen, Nicole A H; Fischer, Paul H.; Kos, Gerard P A; Weijers, Ernie P.; Cassee, Flemming R.; van der Zee, Saskia C.; de Hartog, Jeroen J.; Meliefste, Kees; Wang, Meng; Brunekreef, Bert; y Hoek, Gerard (2012). Impact of low emission zones and local traffic policies on ambient air pollution concentrations. *Science of the Total Environment*, 435-436, 132–140. 4.3, A.2, A.20

Burke, William A; Ed, D; y Carney, Jane W (2007). Final 2007 Aqmp Appendix Iv-a District ' S Stationary and Mobile Source Control Measures. (June). 3.2.2

Carvalho, Vanessa Silveita Barreto; Freitas, Edmilson Dias; Martins, Leila; Martins, Jorge; Mazzoli, Caroline; y Andrade, Maria de Fatima (2015). Air quality status and trends over the Metropolitan Area of Sao Paulo, Brazil as a result of emission control policies. *Environmental Science and Policy*, 47, 68–79. 3.2.4, 3.8, 3.9, A.3

Chen, Yuan; Schleicher, Nina; Chen, Yizhen; Chai, Fahe; y Norra, Stefan (2014). The influence of governmental mitigation measures on contamination characteristics of PM2.5 in Beijing. *Science of the Total Environment*, 490, 647–658. 3.2.1

Cheng, Zhen; Luo, Lina; Wang, Shuxiao; Wang, Yungang; Sharma, Sumit; Shimadera, Hikari; Wang, Xiaoliang; Bressi, Michael; de Miranda, Regina Maura; Jiang, Jingkun; Zhou, Wei; Fajardo, Oscar; Yan, Naiqiang; y Hao, Jiming (2016). Status and characteristics of ambient PM2.5 pollution in global megacities. *Environment International*, 89-90, 212–221. 4.2, 4.2, A.13, A.14

Cooperativa (2015). Experto Restricción vehicular es una medida desesperada para que se use Transantiago. 2.4

Diario Oficial de la República de Chile (2011). ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE MP2,5. (pp. 24–27). 2.1, 2.3.2

Diario Oficial de la República de Chile (2016). ESTABLECE PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LAS COMUNAS DE CHILLÁN Y CHILLÁN VIEJO. (pp. 36–53). 2.3, 2.3.1

El Dínamo (2015). Es la leña, estúpido _ El Dínamo. 2.4

EMOL (2016). ¿Son efectivas las restricciones vehiculares por contaminación y por congestión Expertos debaten. 2.4

Environment and Climate Change Canada, Goverment of Canada (2012). Environmental Indicators - Residential Water Use. 3.1

European Committe for Standarization (2016). CEN Community - Members. 2.3.2

Gobierno de Aragón (2016). El material particulado - ¿Cómo se mide? - La calidad del aire en Aragón. 2.3.2

Han, Lijian; Zhou, Weiqi; Pickett, Steward T A; Li, Weifeng; y Li, Li (2016). An optimum city size? the scaling relationship for urban population and fine particulate (PM2.5) concentration. *Environmental Pollution*, 208, 96–101. 4.2, 4.4, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8

INE (2012). *Población-INE-Actualización-2002-2012-Proyección-2013-2020*. Technical report. 5.1.1

Kanada, Momoe; Fujita, Tsuyoshi; Fujii, Minoru; y Ohnishi, Satoshi (2013). The long-term impacts of air pollution control policy: Historical links between municipal actions and industrial energy efficiency in Kawasaki City, Japan. *Journal of Cleaner Production*, 58, 92–101. 3.2.5, 3.10, A.15

Kotchenruther, Robert A. (2016). Source apportionment of PM2.5 at multiple Northwest U.S. sites: Assessing regional winter wood smoke impacts from residential wood combustion. *Atmospheric Environment*, 142, 210–219. 4.2, 4.3, A.11, A.12

La Tercera (2014). Contaminación: así miden la calidad del aire las 207 estaciones de monitoreo del país. 2.5

La Tercera (2016). Milán quiere pagar por ir al trabajo en bicicleta. 5

Li, Weijia (2014). Controlling PM2.5 in Chengdu: Analysis and Recommendations from the China, U.S. and California Experience. 3.4

Liang, Chun Sheng; Duan, Feng Kui; He, Ke Bin; y Ma, Yong Liang (2016). Review on recent progress in observations, source identifications and countermeasures of PM2.5. *Environment International*, 86, 150–170. 4.3, A.16, A.22

Libertad, Instituto (2014). Análisis del uso de la leña en la Región Metropolitana y su incidencia en la contaminación. 2.4

Maione, Michela; Fowler, David; Monks, Paul S.; Reis, Stefan; Rudich, Yinon; Williams, Martin L.; y Fuzzi, Sandro (2016). Air quality and climate change: Designing new win-win policies for Europe. *Environmental Science and Policy*, 65, 48–57. 4, 4.3, A.10

Matus, Patricia (2011). Evaluación de riesgo para la salud pública: nuevo instrumento de gestión ambiental para Chile. *Revista médica de Chile*, (pp. 1075–1080). 2.1

Ministerio del Medio Ambiente (2013). Primer Reporte del Estado del Medio Ambiente. *Marzo 2014*. 2.3, 2.4

Ministerio del Medio Ambiente (2014). Recomendaciones y preguntas frecuentes - Alertas Sanitarias Ambientales. 2.3.1

Ministerio del Medio Ambiente (2015). Mapa De Calidad Del Aire De La Región Metropolitana. 2.3.1

Ministerio del Medio Ambiente (2016a). Ministro del Medio Ambiente da a conocer las medidas del nuevo Plan de Descontaminación del aire para la Región Metropolitana. 2.4.1, 5.1

Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile (2016b). Ministro del Medio Ambiente pone en funcionamiento la primera estación móvil de monitoreo de calidad del aire en el país. 2.3.2

Ministerio del medio Ambiente de Chile (2011). Contaminación del Aire. Capítulo 1. *Informe estado del Medio ambiente 2011*, (pp.$\tilde{6}$8). 2.1

Ministério do Meio Ambiente (1998). PROCONVE - Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores. (pp. 181). 3.2.4

MMA (2014a). Contaminación atmosférica: La situación actual en Chile. 2.2

MMA (2014b). MMA » Planes de Descontaminación Atmosférica Estrategia 2014-2018. 2.3

Mundial, Banco (2017). Chile _ Data. 5.2

OECD (2015). *OECD_Environment at a glance 2015*. A.1

Pulso (2017). Industria automotriz local se prepara para un año de innovación y crecimiento - PULSO. 5

Razmilic, Slaven y Hernando, Andrés (2016). Restricción vehicular permanente atribuciones excesivas - Centro de Estudios Públicos. 2.4

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, Ministerio del Medio Ambiente (2015). *reporte ifnal*. Technical report. A.23, A.24, A.25

Schweizer, Don; Cisneros, Ricardo; y Shaw, Glenn (2016). A comparative analysis of temporary and permanent beta attenuation monitors: The importance of understanding data and equipment limitations when creating PM2.5 air quality health advisories. *Atmospheric Pollution Research*, 7(5), 865–875. 4.1, 4.1, A.9, A.17

Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente (2015). *Informe Final para la Gestión de Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable (MP10)*. Technical report. 2.2

SII (2017). Permiso de circulación - SII. A.28

Sostenibilidad (2014). La contaminación del aire urbano, un grave problema. 2.3.1, 3.1

Tele13 (2014). Leña causa el 70 % de la contaminación atmosférica en invierno y el 45 % durante el año en la Región M _ Tele 13. 2.6, 2.7

Tele13 (2016). Experto del CEP critica restricción permanente a catalíticos. 2.4.1

Tercera, La (2016). 119 mil hogares en Santiago no podrán usar leña desde 2017. 5.1.1, 5.1.2

The Danish Ecological Counsil (2014). *Air quality challenges and solutions*. 3.5, 3.6, 3.7

UdeSantiago al día, Universidad de Santiago (2016). Experto sostiene que restricción a catalíticos tendrá un impacto acotado en la descontaminación de Santiago. 2.4

UNAB, Vitrina Ambiental (2013). El que contamina no paga _ Vitrina Ambiental UNAB. 2.4

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2016). LIST OF DESIGNATED REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS. 316, 1–101. 2.3.2, 4.1

UOCT, Gobierno de Chile (2016). Unidad Operativa de Control de Tránsito: Santiago. 2.2, 2.3

van Donkelaar, Aaron; Martin, Randall V.; Brauer, Michael; Kahn, Ralph; Levy, Robert; Verduzco, Carolyn; y Villeneuve, Paul J. (2010). Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: Development and application. *Environmental Health Perspectives*, 118(6), 847–855. 4.2

Williams, M. L. (2007). UK air quality in 2050-synergies with climate change policies. *Environmental Science and Policy*, 10(2), 169–175. 4.3, A.21

Zanobetti, Antonella y Schwartz, Joel (2009). The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: A national analysis. *Environmental Health Perspectives*, 117(6), 898–903. 2.1, 4

A | Anexos

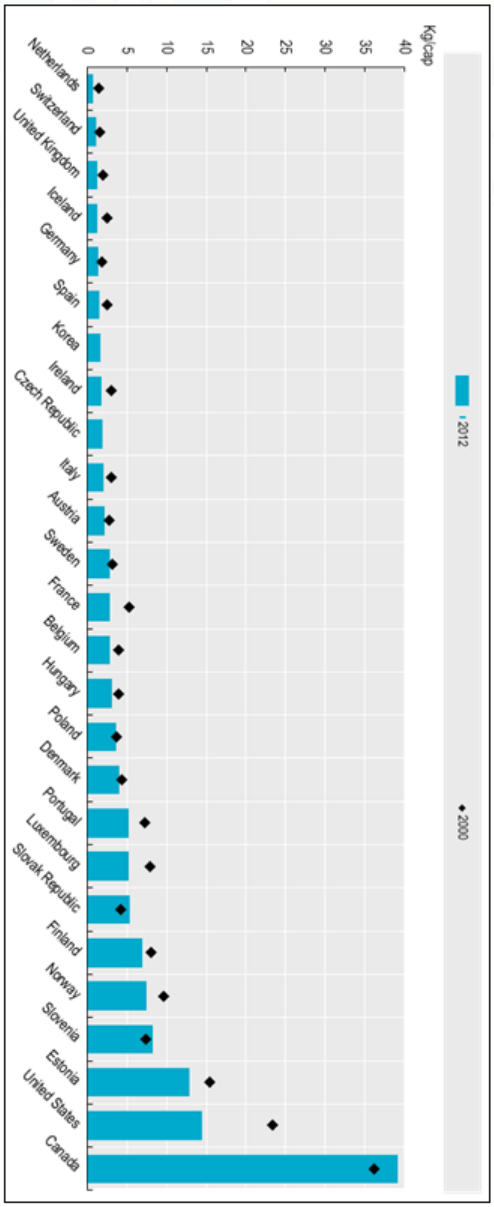


Figura A.1: Concentración per cápita en distitos paises entre 2000 y 2012.
Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 2015) .

Average concentrations[a] of different pollutants before (2008) and after (2010) introduction of the low emission zoning policy.

Cities	Locations	PM_{10}			$PM_{2.5}$			'Soot'			NO_2		
		Pre	Post	Abs dif	Pre	Post	Abs dif	Pre	Post	Abs dif	Pre	Post	Abs dif
Amsterdam	Haarlemmerweg	27.5	26.2	−1.3#	17.8	12.3*	−5.5#	3.92	3.42	−0.50	54.3	50.9	−3.4
	Hoofdweg	22.4	25.4	3.0	15.1	10.8*	−4.3	2.58	2.34	−0.24	47.5	41.4	−6.1
The Hague	Stille Veerkade	32.2	27.9	−4.3	19.4	11.8**	−7.6	4.26	2.52**	−1.74##	54.1	40.7*	−13.4##
Den Bosch	Brugstraat	32.9	25.2*	−7.7	18.0	12.0**	−6.0	3.66	3.43	−0.23	53.9	53.3	−0.5
	Koningsweg	30.2	24.4**	−5.8	17.4	10.6**	−6.9#	2.84	2.34**	−0.50#	44.2	39.3	−4.9
Tilburg	H v Brabantlaan	29.4	21.9**	−7.5	17.2	11.6**	−5.6	2.37	2.40	0.04	36.6	37.9	1.3##
Utrecht	Vleutenseweg	25.9	24.1	−1.7	15.4	11.8**	−3.7	2.06	2.78**	0.72#	41.7	44.1	2.5##
	Weerdsingel Wz	29.1	28.0	−1.1	16.6	13.4**	−3.1	3.36	3.63	0.27	52.4	52.7	0.3
	Average	28.6	25.3**	−3.3	17.2	11.8**	−5.4##	3.10	2.85	−0.25	48.1	45.1	−2.9
	Average[b] (N=7)	28.1	25.0**	−3.1	16.8	11.8**	−5.1##	2.93	2.89	−0.04	47.2	45.7	−1.5#
	Amsterdam UB	23.2	21.2	−2.1	13.3	9.5**	−3.9#	1.66	1.45**	−0.20	34.4	30.7*	−3.7
	The Hague UB	23.2	21.4	−1.8	14.1	10.3*	−3.7	1.67	1.39*	−0.28	32.1	28.1	−4.0
	Den Bosch UB	26.6	21.4	−5.2	14.8	11.3*	−3.5	1.61	1.44	−0.17	27.6	25.7	−1.9##
	Tilburg UB	27.0	20.6**	−6.4	16.6	10.8**	−5.8	1.56	1.42	−0.14	31.6	27.1**	−4.5
	Utrecht UB	25.6	21.3**	−4.3	14.7	12.0**	−2.8	1.54	1.71	0.17	34.2	31.3	−2.9##
	Average	25.1	21.2**	−4.0	14.7	10.8	−3.9	1.61	1.48**	−0.13	32.0	28.6	−3.4
	Amsterdam SUB	18.1	19.9	1.8	13.1	11.3	−1.8	1.49	1.38	−0.11	25.5	22.0*	−3.5
	The Hague SUB	23.5	18.9	−4.6	12.4	10.6	−1.7	1.58	1.23*	−0.34	24.3	22.6	−1.7
	Den Bosch – Tilburg SUB	26.4	18.7**	−7.7	15.3	11.1**	−4.2	1.52	1.34	−0.18	23.0	18.5**	−4.5
	Utrecht SUB	21.5	18.6	−2.9	14.6	11.4*	−3.2	1.31	1.53	0.22	30.2	21.8**	−8.4
	Average	22.4	19.0	−3.3	13.8	11.1**	−2.7	1.48	1.37	−0.11	25.8	21.2**	−4.5

[a] Concentrations are average concentrations adjusted for temporal variation using data from the central reference location. Pollutants in $\mu g/m^3$ Overall averages calculated from individual samples. UB = urban background location. SUB = suburban background location.

[b] After excluding the Stille Veerkade because there multiple traffic policies took place.

* Significant difference pre and post at the 0.10 level.

** Significant difference pre and post at the 0.05 level.

\# Significant difference pre and post between street and matching suburban location at the 0.10 level.

\#\# Significant difference pre and post between street and matching suburban location at the 0.05 level. Significance was tested with T-tests.

Figura A.2: Promedio de concentraciones de agentes contaminantes antes y después de las políticas aplicadas.
Fuente: (Boogaard et al., 2012)

Station	CO (ppm year^{-1})	NO_x (μg m^{-3} year^{-1})	PM_{10} (μg m^{-3} year^{-1})	SO_2 (μg m^{-3} year^{-1})	O_3 (μg m^{-3} year^{-1})
Cambuci			−0.46		
Centro	−0.14		−0.31		
Cerqueira César	−0.11	−4.38	−0.91	−0.75	
Congonhas	−0.20	−2.57	−1.93	−1.08	
Diadema			−3.46		−1.1
Guarulhos			−2.80		
Ibirapuera	−0.04	−0.65	−1.79	−0.70	−0.52
Mauá		−0.75	−2.27		−0.78
Mooca			−1.87		0.06
Nsra do O			−1.81		
Osasco	−0.09		−1.72		
P. D. Pedro	−0.12	−6.17	−0.78		0.79
Pinheiros		3.11			0.18
Santana			−4.44		−1.15
S. Amaro	−0.01		−1.44		
S. André	−0.07		−3.29		0.38
S. André (Cap)			−2.05		
S. Bernardo			−1.97		
S. C. Sul	−0.06	−1.36	−1.99	−0.75	−0.31
S. M. Paulista					0.49
Taboão			−2.06		
Average	−0.09	−1.82	−1.97	−0.82	−0.20

Figura A.3: Tendencia de concentración de cada estación entre 1996 y 2009.
Fuente: (Carvalho et al., 2015)

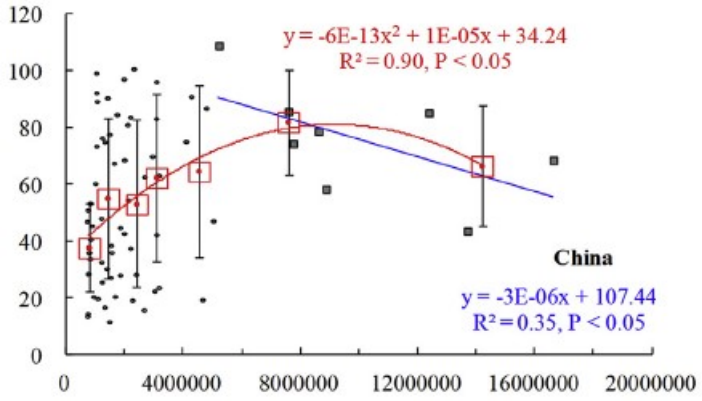


Figura A.4: Regresión de China entre número de habitantes y concentración de MP2.5
Fuente: (Han et al., 2016).

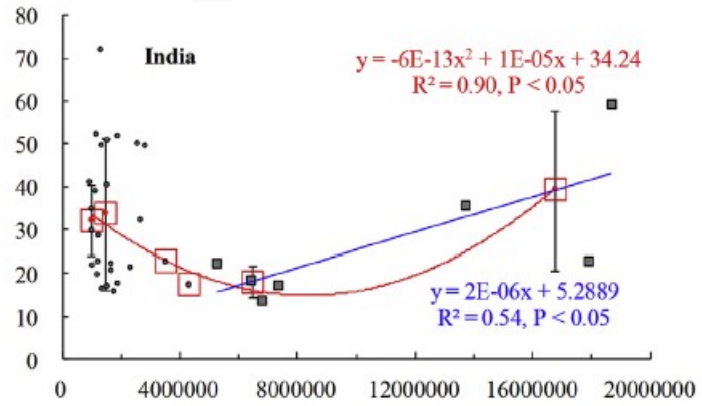


Figura A.5: Regresión de India entre número de habitantes y concentración de MP2.5
Fuente: (Han et al., 2016).

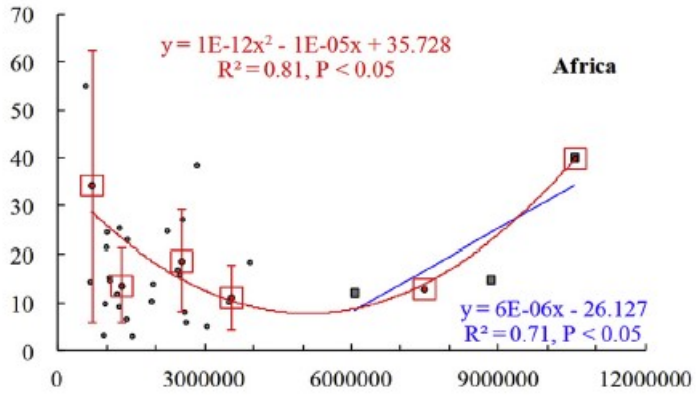


Figura A.6: Regresión de África entre número de habitantes y concentración de MP2.5
Fuente: (Han et al., 2016).

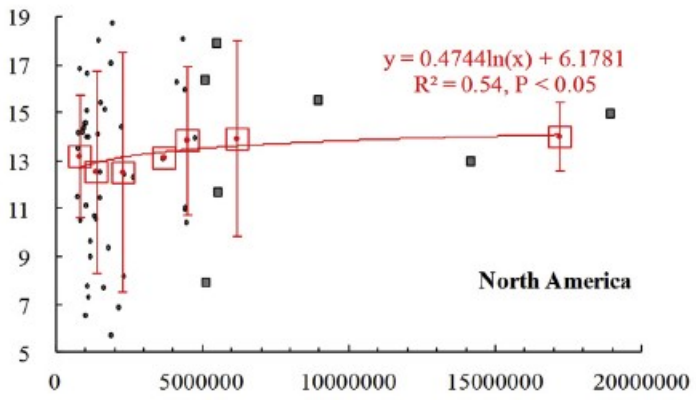
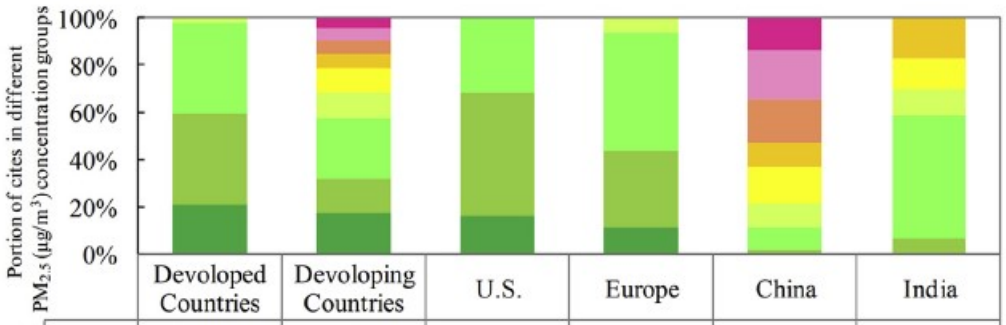


Figura A.7: Regresión de Norte América entre número de habitantes y concentración de MP2.5
Fuente: (Han et al., 2016).



B

	Devoloped Countries	Devoloping Countries	U.S.	Europe	China	India
>90	0	4.1%	0	0	14.0%	0
75-90	0	6.0%	0	0	20.6%	0
60-75	0	5.4%	0	0	18.7%	0
45-60	0	5.7%	0	0	10.3%	17.4%
35-45	0	10.6%	0	0	15.0%	13.0%
25-35	2.5%	10.6%	0	6.4%	10.3%	10.9%
15-25	38.5%	25.5%	32.0%	50.0%	9.3%	52.2%
10-15	38.5%	14.9%	52.0%	32.1%	1.9%	6.5%
0-10	20.5%	17.1%	16.0%	11.5%	0	0

Figura A.8: Porción de paises en distintos grupos de concetraciones de MP2.5.
Fuente: (Han et al., 2016).

Site	Latitude (N)	Longitude (W)	Start	End
Kernville	35.75512	−118.4175	8/9/2011 12:00	11/28/2011 12:00
Springville	36.13588	−118.811	7/10/2009 12:00	8/4/2009 11:00
Thousand Oaks 1	34.21014	−118.8705	9/9/2009 13:00	10/26/2009 10:00
Thousand Oaks 2	34.21014	−118.8705	8/5/2009 15:00	10/26/2009 9:00
Thousand Oaks 3	34.21014	−118.8705	8/5/2009 15:00	9/4/2009 3:00
Simi 1	34.2764	−118.68375	8/5/2009 12:00	9/9/2009 9:00
Simi 2	34.2764	−118.68375	8/5/2009 11:00	9/9/2009 9:00
Simi 3	34.2764	−118.68375	4/19/2006 13:00	5/19/2006 12:00
Ojai	34.44804	−119.23131	4/20/2006 12:00	5/12/2006 11:00

Figura A.9: Ubicación y periodo de análisis de EBAMs en California, EEUU.
Fuente: (Schweizer et al., 2016).

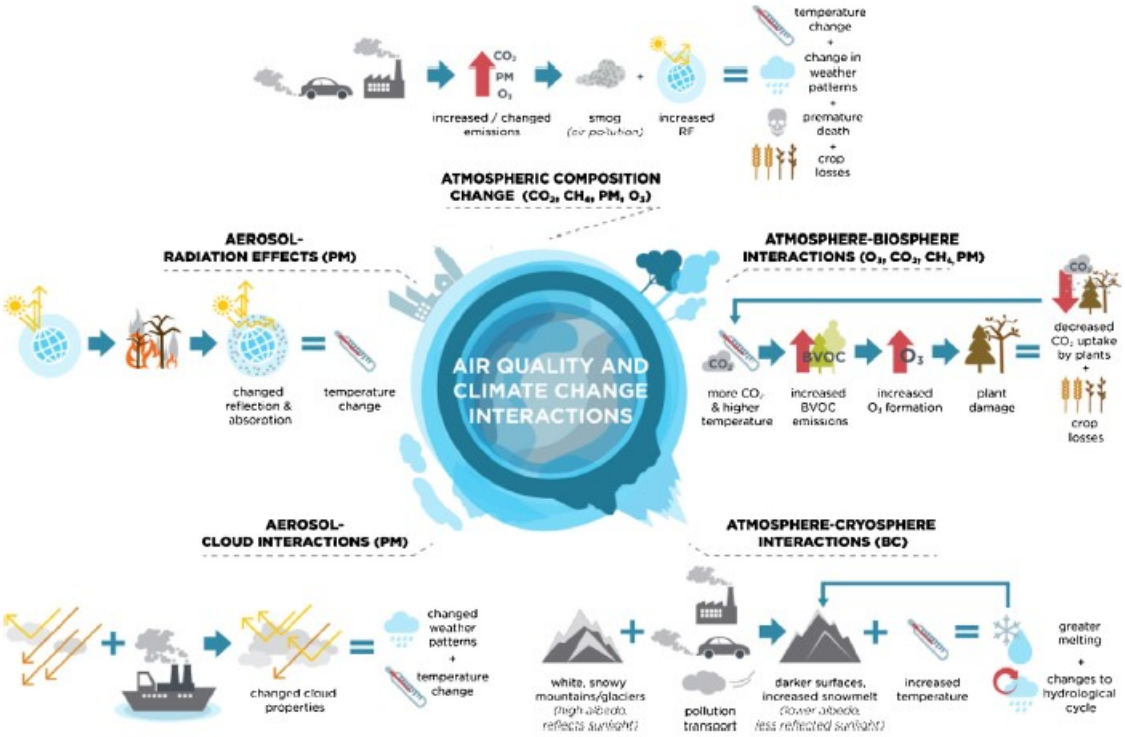


Figura A.10: Relación entre calentamiento global y agentes contaminantes.
Fuente: (Maione et al., 2016).

City	State	Data start date	Data end date	Number of samples
Fairbanks	AK	10/1/2009	9/29/2014	573
Fresno	CA	1/1/2012	9/29/2014	304
Bakersfield	CA	1/2/2010	9/7/2013	310
Sacramento	CA	1/2/2010	9/29/2014	565
Boise	ID	5/3/2007	9/26/2014	851
Klamath Falls	OR	7/12/2009	6/28/2014	180
Lakeview	OR	10/16/2009	8/3/2014	177
Oakridge	OR	7/6/2009	9/30/2012	177
Portland	OR	5/3/2007	9/29/2014	736
Bountiful	UT	5/6/2007	9/26/2014	417
Salt Lake City	UT	5/9/2007	9/29/2014	777
Lindon	UT	5/6/2007	9/26/2014	404
Vancouver	WA	4/7/2009	8/26/2013	259
Seattle (Duwamish)	WA	11/8/2008	4/27/2012	198
Seattle (Beacon Hill)	WA	5/3/2007	9/29/2014	678
Tacoma (South L St.)	WA	5/12/2007	9/26/2014	376
Tacoma (Alexander Ave.)	WA	11/2/2008	4/27/2012	203
Marysville	WA	4/7/2009	9/26/2014	305
Yakima	WA	11/8/2007	9/26/2014	335

Figura A.11: Ciudades y periodos analizados en el noroeste de Estados Unidos.
Fuente: (Kotchenruther, 2016)

Monitor location	Primary wood smoke factor mass ($\mu g/m^3$)	Primary wood smoke factor mass (%)	Aged wood smoke & SOA factor mass ($\mu g/m^3$)	Aged wood smoke & SOA factor mass (%)	Total primary + aged wood smoke ($\mu g/m^3$)	Total primary + aged wood smoke (%)
Fairbanks	9.8	39.9	3.0	12.0	12.8	51.8
Fresno	Not found	Not found	Mixed[c]	Mixed[c]		
Bakersfield	Mixed[a]	Mixed[a]	Mixed[d]	Mixed[d]	3.5	11.4
Sacramento	Mixed[b]	Mixed[b]	Mixed[c]	Mixed[c]		
Boise	Not found	Not found	Mixed[b]	Mixed[b]		
Klamath Falls	15.6	66.7	4.6	19.7	20.2	86.4
Lakeview	19.0	78.5	3.4	14.1	22.4	92.7
Oakridge	12.9	73.1	3.1	17.7	16.0	90.7
Portland	5.8	47.3	1.3	10.6	7.1	57.9
Bountiful	1.8	12.1	1.5	9.9	3.3	22.0
Salt Lake City	Mixed[b]	Mixed[b]	Mixed[c]	Mixed[c]		
Lindon	1.6	9.0	1.6	8.8	3.3	17.8
Vancouver	Mixed[b]	Mixed[b]	0.9	7.6		
Seattle (Duwamish)	2.3	22.6	0.7	7.0	3.0	29.5
Seattle (Beacon Hill)	2.0	30.4	Mixed[e]	Mixed[e]		
Tacoma (South L St.)	8.1	59.6	Mixed[f]	Mixed[f]		
Tacoma (Alexander Ave.)	3.9	35.3	1.1	9.7	5.0	45.0
Marysville	Mixed[b]	Mixed[b]	0.8	6.5		
Yakima	5.4	31.7	Mixed[c]	Mixed[c]		

Figura A.12: Aporte promedio entre diciembre y enero por parte del humo de madera.
Fuente: (Kotchenruther, 2016)

Country	Megacity	Sites	Measurement method	Ambient standard (μg/m³)	
				Annual	Daily
USA	Atlanta	1	Gravimetric	12	35
Spain	Barcelona	7	Gravimetric	25	N/A
China	Beijing	12	TEOM-FDMS	35	75
Colombia	Bogota	1	Beta attenuation	25	50
Egypt	Cairo	13	Gravimetric	50	80
China	Chengdu	8	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
USA	Chicago	4	Gravimetric	12	35
China	Chongqing	16	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
USA	Dallas	4	Gravimetric or beta attenuation	12	35
India	Delhi	6	Beta attenuation	40	60
Bangladesh	Dhaka	11	Beta attenuation	15	65
China	Dongguan	5	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Foshan	8	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Guangzhou	11	TEOM-FDMS	35	75
China	Hangzhou	11	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Harbin	12	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Hong Kong	11	TEOM	35	75
USA	Houston	1	Gravimetric	12	35
Japan	Kitakyushu-Fukuoka	2	TEOM or beta attenuation	15	35
India	Kolkata	10	Beta attenuation	40	60
England	London	3	TEOM-FDMS	25	N/A
USA	Los Angeles	4	Beta attenuation	12	35
Spain	Madrid	6	TEOM	25	N/A
Mexico	Mexico City	12	Gravimetric or beta attenuation	12	45
USA	Miami	1	Gravimetric	12	35
Russia	Moscow	2	TEOM	25	35
India	Mumbai	1	Beta attenuation	40	60
Japan	Nagoya	14	TEOM or beta attenuation	15	35
China	Nanjing	9	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
USA	New York	10	Gravimetric	12	35
Japan	Osaka	42	TEOM or beta attenuation	15	35
France	Paris	9	TEOM-FDMS	25	N/A
USA	Philadelphia	6	Gravimetric or beta attenuation	12	35
Chile	Santiago	11	Beta attenuation	20	50
Brasil	Sao Paulo	4	Beta attenuation	20	60
China	Shanghai	10	TEOM-FDMS	35	75
China	Shenyang	11	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Shenzhen	11	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
Singapore	Singapore	5	Beta attenuation	12	37.5
China	Suzhou	8	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Tianjin	15	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
Japan	Tokyo	45	TEOM or beta attenuation	15	35
Canada	Toronto	4	TEOM	10	28
China	Wuhan	10	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75
China	Xi'an	13	TEOM-FDMS or beta attenuation	35	75

Figura A.13: Metodos de colección de datos y normativa de las megaciudades analizadas.
Fuente: (Cheng et al., 2016)

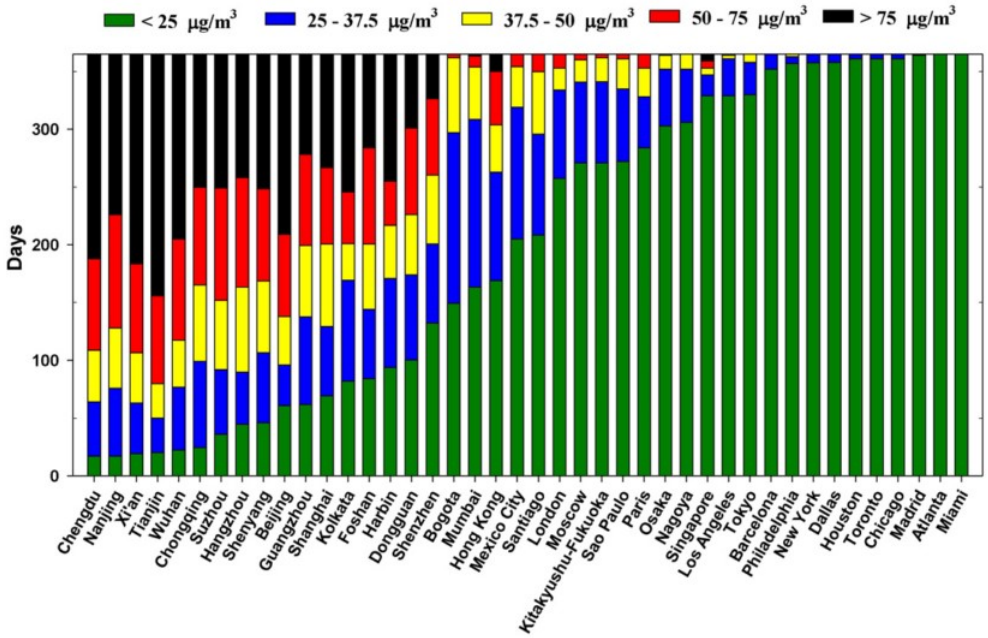


Figura A.14: Número de dias con concetraciones entre ciertos rangos.
Fuente: (Cheng et al., 2016)

Year	National actions/events	Kawasaki City's actions/events
1951		Threat to public safety recognized
1959		Finance program to treatment facility
1960		Pollution Prevention Ordinance (the Old Ordinance)
1962	Soot and Smoke regulation	National designated area for Soot and Smoke regulation (1963)
1967	Basic Pollution Prevention Law	Loan program for treatment facility installation
1968	Air Pollution Prevention Law (The *K*-value regulation)	Installation of air pollutant monitoring equipment
1969	Public Health Compensation Law	Public Health Compensation Ordinance
1970	1st Pollution Diet	Pollution control agreement (39 factories)
	Producer's Pay Principle	Finance program for Pollution prevention
1972		Pollution Prevention Ordinance (introduction of total emission control)
		Air pollution monitoring center
1973	1st oil disaster	Establishment of pollution-related patient damage relief foundation
	Pollution-related compensation	
1976		Environmental Assessment Ordinance
		Pollution control agreement (NKK)
1979	2nd oil disaster	SO_2 target cleared at all monitoring station
	Energy Conservation Law	
1991		Basic Environmental Ordinance
1993	Basic Environmental Law	
	Amendment to Energy Conservation Law	
1997	Environmental Assessment Law	
1998	Global Warming Prevention Law	
	Amendment to Energy Conservation Law	

Figura A.15: Políticas implementadas en Japón y Kawasaki durante 1951 y 1998.
Fuente: (Kanada et al., 2013)

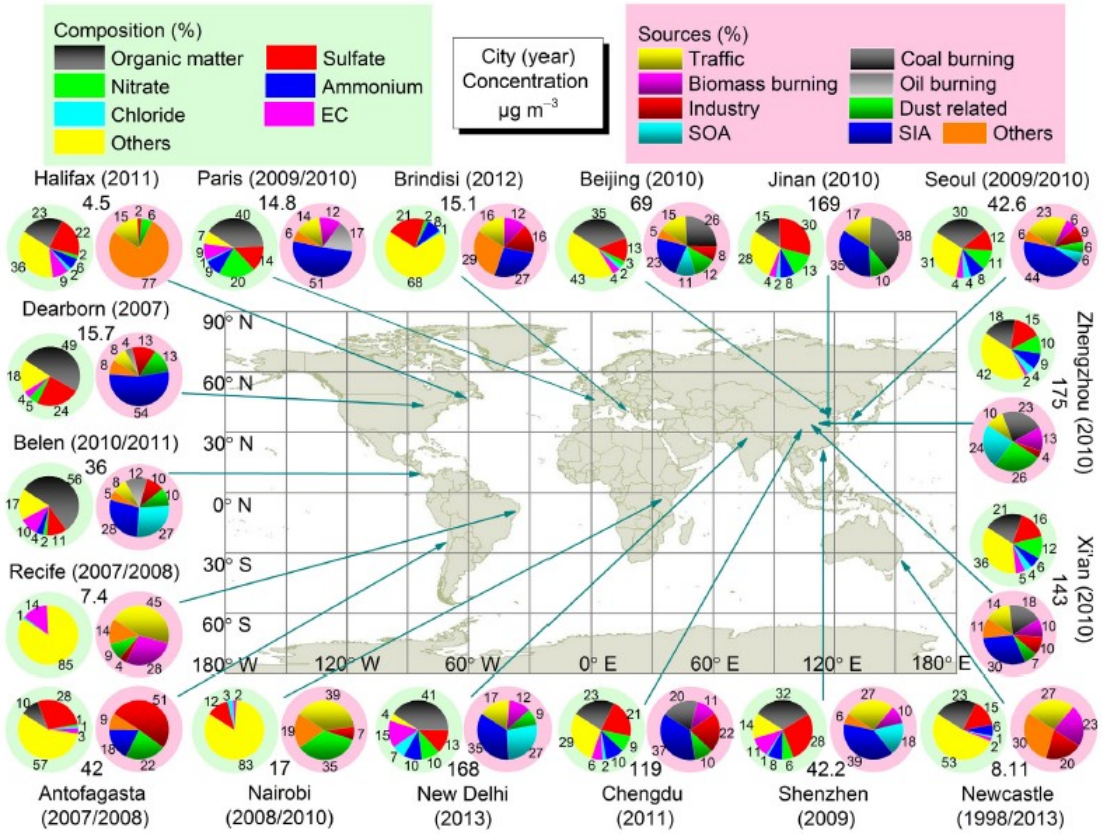


Figura A.16: Mapa de composición y emisión de MP2.5 por ciudad.
Fuente: (Liang et al., 2016)

Site	R^2	Mean		Median		Max		Min		Standard deviation	
		BAM	EBAM	BAM	EBAM	BAM	EBAM	BAM	EBAM	BAM	EBAM
(a) Correlation and comparison of hourly $PM_{2.5}$ at each site.											
Kernville	0.7180	9.6	12.6	8	12	93	82	0	−5	9.1	9.5
Springville	0.7440	9.2	18.0	9	19	28	49	0	−5	4.5	8.7
Thousand Oaks 1	0.6894	9.4	10.7	8	9	46	76	0	−5	6.5	12.8
Thousand Oaks 2	0.6828	11.4	10.5	10	9	51	90	0	−5	7.1	11.4
Thousand Oaks 3	0.7339	14.1	26.2	14	23	51	90	0	−5	7.4	18.3
Simi 1	0.8194	17.1	22.8	17	20	79	102	0	−5	9.3	15.1
Simi 2	0.8000	17.1	19.9	17	18	79	86	0	−5	9.3	13.5
Simi 3	0.6993	19.6	16.5	19	14	67	99	0	−5	11.7	15.6
Ojai	0.7412	15.4	14.1	15	14	29	46	0	−5	5.1	9.3
all data	0.7042	12.5	15.1	11	14	93	102	0	−5	9.1	9.5
(b) Correlation and comparison of daily $PM_{2.5}$ at each site.											
Kernville	0.9432	9.6	12.8	8.6	12.4	30.8	28.8	0.9	6.5	5.3	4.3
Springville	0.9737	9.3	18.3	9.5	18.4	12.3	20.9	3.6	14.5	2.3	1.6
Thousand Oaks 1	0.9100	9.5	11.3	9.0	11.0	23.3	39.5	2.3	1.4	4.8	8.3
Thousand Oaks 2	0.9704	11.5	11.1	11.8	11.6	22.5	28.0	2.4	0.1	5.2	5.6
Thousand Oaks 3	0.9459	14.3	26.5	14.8	25.8	21.8	48.2	3.1	7.6	5.0	11.8
Simi 1	0.9798	17.3	22.2	18.5	22.1	27.8	42.3	3.9	5.4	6.0	8.5
Simi 2	0.9764	17.3	20.2	18.5	19.2	27.8	40.1	3.9	6.3	6.0	8.9
Simi 3	0.9835	19.6	17.1	20.2	16.6	40.1	34.1	2.7	6.3	10.0	8.2
Ojai	0.9964	15.6	14.4	15.5	14.8	19.3	19.8	11.4	8.8	2.9	3.5
all data	0.9432	12.6	15.4	11.2	13.8	40.1	48.2	0.9	0.1	6.6	8.2

Figura A.17: Tabla resumen de cálculos realizados en el estudio.
Fuente: (Schweizer et al., 2016).

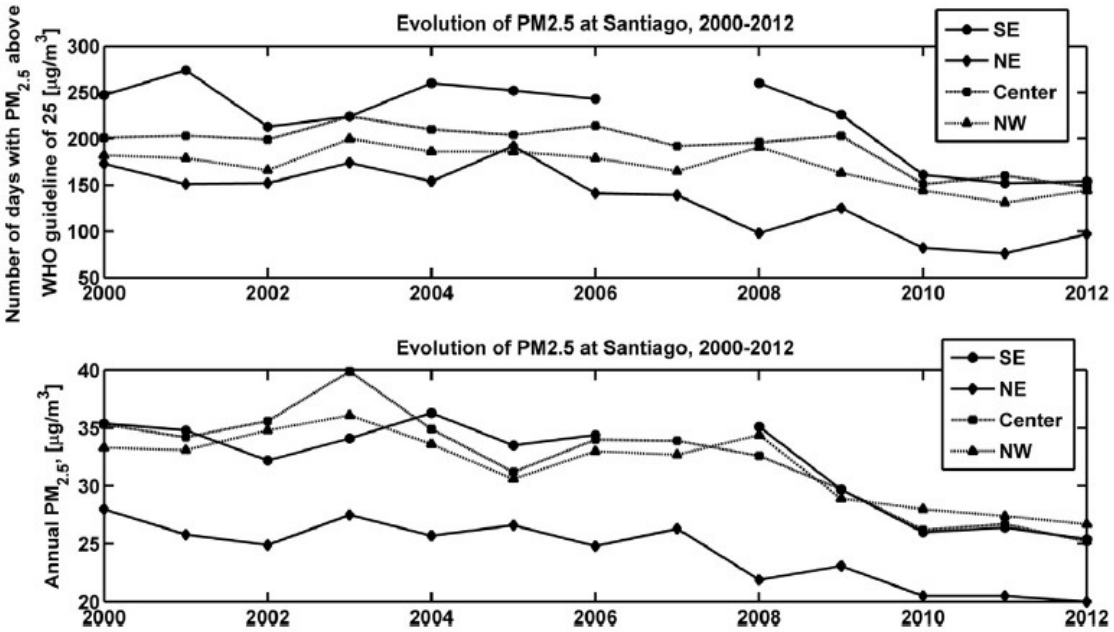


Figura A.18: Evolución anual de MP2.5, y días sobre normal de la OMS, en Santiago entre 2000 y 2012. Fuente: (Barraza et al., 2014) .

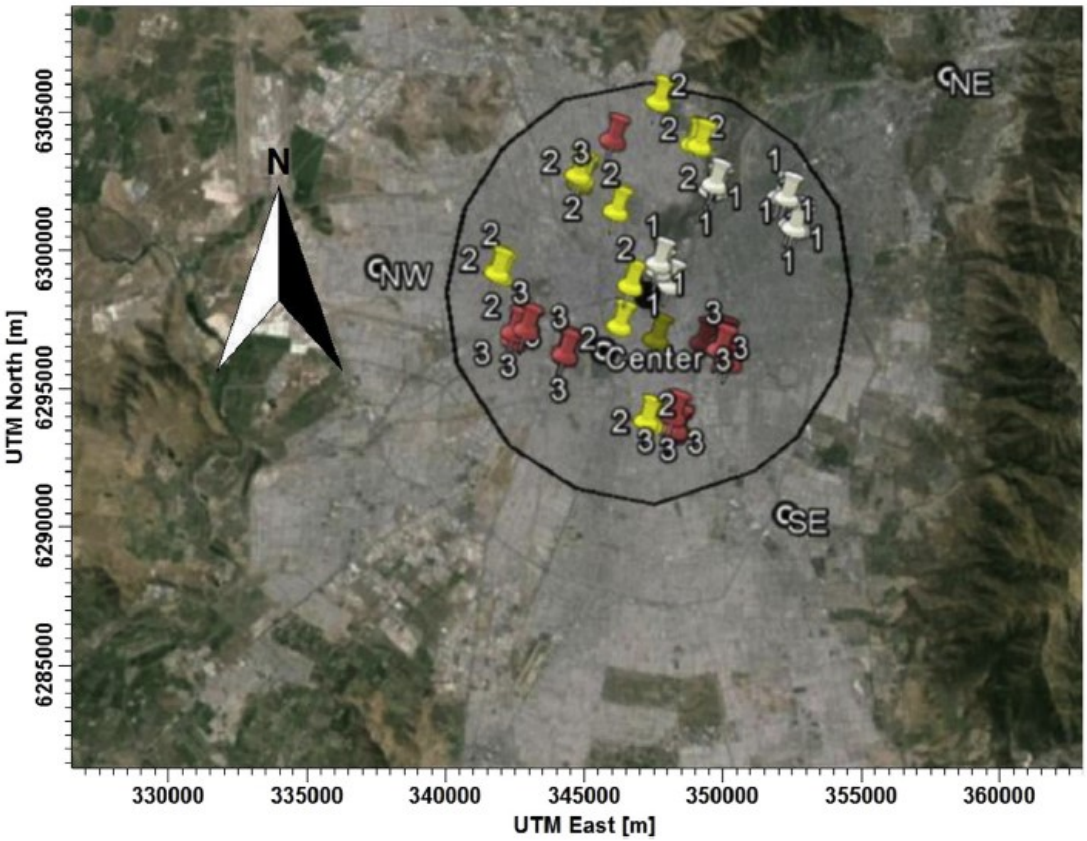


Figura A.19: Ubicación de los distintos hogares analizados en Santiago.
Fuente: (Barraza et al., 2014).

City	Urban streets	Traffic policies	Implementation date
Amsterdam	Haarlemmerweg	Low emission zone[b]	09-10-2008
	Hoofdweg	Low emission zone	09-10-2008
The Hague	Stille Veerkade	Low emission zone	16-04-2008
		Traffic circulation plan	20-11-2009
Den Bosch	Brugstraat	Low emission zone	01-09-2007
		Deal with local transport company not to drive here	24-11-2010
	Koningsweg	Low emission zone	01-09-2007
		Deal with local transport company not to drive here	24-11-2010
Tilburg	H v Brabantlaan	Low emission zone	01-09-2007
		Extension of the low emission zone	01-01-2010
Utrecht	Vleutenseweg	Low emission zone	01-07-2007
	Weerdsingel Wz	Low emission zone	01-07-2007

Figura A.20: Políticas implementadas en distintas zonas de Holanda, y sus fechas respectivas.
Fuente: (Boogaard et al., 2012)

Table 2 – Source apportionment of annual mean PM_{10} ($\mu g\ m^{-3}$) from AQEG (2005), results for KfG and Partisol instruments (the latter only for North Kensington)

Site	Traffic	Stationary	Sulphate	Nitrate	Residual	Total
Marylebone Road	7.3–9.1	5.2–6.4	2.4	4.6–6.2	9.9–10.3	29.5–34.4
London North Kensington	1.7	4.2	2.4	4.9	9.1	22.3

Figura A.21: Aporte de distintas fuentes al MP10.
Fuente:Williams (2007)

$PM_{2.5}$ reduction (control)		Key points	Effective
Policies & laws and standards	General strategies	- $PM_{2.5}$ concentration as evaluation index of government officials	Very
		- Act & Regulation	Very
		- Multiple emission control measure	Yes
		- Reinforce measures	Yes
		- Street sweeping/washing	Yes
		- Mechanical ventilation heat recovery systems	Yes
		- Cleaner fuels (low-sulfur fuel) for ship	Very
		- Consumption-based accounts	Yes
	Control fireworks and meat smoking	- Not negligible	Yes
		- Up to wood species	
		- Inspire the public to transform social traditions	Very
	Improving standards	- Stricter standards	Very
		- The limits of metals should be included	
		- Compare with standards of other countries	
City planning	Tree-planting	- Should be optimized	Yes
Technologies	Additives	- Mg-based additives	Yes
		- Reduce $PM_{2.5}$ formation during combustion	
		- Sodium aluminosilicate ($AlNaO_6Si_2$), kaolin ($H_4Al_2Si_2O_9$)	Yes
	Particle filtration devices	- Particle filtration units (PFUs) for dwellings and buildings	Very
		- Oxidative particle filters for diesel vehicles reduce particles but produce NO_2	Yes (side effect)
		- Bio-mimic anti $PM_{2.5}$ mask	Very
		- Polyacrylonitrile (PAN) transparent air filters	Very
	Electrostatic precipitator	- High magnetic field, low working voltage and high gas velocity	Yes
Ideology	tiān rén hé yī (天人合一), a supreme harmony between nature and man that one treats nature as herself or himself	- Learn from the London smog in December 1952	Essential
		- Natural resources and environment are exploited and consumed in unprecedented speed	
		- European and American cities sometimes have PM_{10} AQIs of about 900	
		- Comfort, convenience and consumption (3C) and $PM_{2.5}$ concentration (C) are a 3C-C seesaw	
		- Moderate 3C is best	
		- Change our producing & consuming lifestyles and ideology by reducing waste, consciousness, compassion and care, cap-and-trade programs (CTPs) etc.	
	Anthropocene	- Humans have replaced nature as the ruling environmental force on Earth	Inspiring
		- North America interacts with other regions including Asia, Europe, Africa, and the Middle East in air pollution	
		- A worldwide joint effort is urgently needed	
	World Air Day	- There are many environment Days, but World Air Day is absent (Table S6)	Inspiring
		- WAD has been proposed to be established	

Figura A.22: Cuadro resumen de políticas efectivas contra el MP2.5.
Fuente: (Liang et al., 2016)

Provincia	Comuna	Emision(t/año) 2015
Provincia de Santiago	Comuna de Las Condes	723,53
Provincia de Santiago	Comuna de Huechuraba	279,74
Provincia de Santiago	Comuna de Quilicura	163,88
Provincia de Santiago	Comuna de Maipú	106,63
Provincia de Chacabuco	Comuna de Lampa	104,31
Provincia de Santiago	Comuna de Providencia	98
Provincia de Maipo	Comuna de Paine	81,71
Provincia de Santiago	Comuna de Cerrillos	75,93
Provincia de Santiago	Comuna de La Reina	68,06
Provincia de Talagante	Comuna de Isla de Maipo	60,15
Provincia de Chacabuco	Comuna de Tiltil	58,56
Provincia de Santiago	Comuna de Vitacura	56,81
Provincia de Melipilla	Comuna de Melipilla	52,11
Provincia de Santiago	Comuna de Ñuñoa	48,56
Provincia de Santiago	Comuna de San Joaquín	40,7
Provincia de Santiago	Comuna de Recoleta	33,71
Provincia de Maipo	Comuna de Buin	33,57

Figura A.23: Primer tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana.
Fuente: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (2015)

Provincia	Comuna	Emision(t/año) 2015
Provincia de Santiago	Comuna de Pudahuel	29,32
Provincia de Santiago	Comuna de Conchalí	27,3
Provincia de Santiago	Comuna de Renca	27,17
Provincia de Maipo	Comuna de San Bernardo	23,98
Provincia de Santiago	Comuna de Quinta Normal	22,93
Provincia de Chacabuco	Comuna de Colina	16,55
Provincia de Santiago	Comuna de Santiago	14,73
Provincia de Cordillera	Comuna de Pirque	10,87
Provincia de Cordillera	Comuna de Puente Alto	9,51
Provincia de Santiago	Comuna de Lo Prado	8,64
Provincia de Talagante	Comuna de Talagante	7,24
Provincia de Cordillera	Comuna de San José de Maipo	6,09
Provincia de Santiago	Comuna de Peñalolén	5,48
Provincia de Santiago	Comuna de Lo Espejo	3,26
Provincia de Santiago	Comuna de La Granja	2,59
Provincia de Talagante	Comuna de Peñaflor	1,7
Provincia de Santiago	Comuna de El Bosque	1,52

Figura A.24: Segundo tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana.
Fuente: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (2015)

Provincia	Comuna	Emision(t/año) 2015
Provincia de Melipilla	Comuna de Curacaví	1,51
Provincia de Melipilla	Comuna de Alhué	1,27
Provincia de Santiago	Comuna de La Florida	1,26
Provincia de Santiago	Comuna de La Cisterna	0,98
Provincia de Santiago	Comuna de La Pintana	0,75
Provincia de Santiago	Comuna de Macul	0,68
Provincia de Santiago	Comuna de San Miguel	0,62
Provincia de Santiago	Comuna de Lo Barnechea	0,58
Provincia de Melipilla	Comuna de San Pedro	0,55
Provincia de Santiago	Comuna de Estación Central	0,51
Provincia de Santiago	Comuna de Independencia	0,23
Provincia de Talagante	Comuna de El Monte	0,21
Provincia de Maipo	Comuna de Calera de Tango	0,1
Provincia de Santiago	Comuna de Pedro Aguirre Cerda	0,1
Provincia de Talagante	Comuna de Padre Hurtado	0,08
Provincia de Santiago	Comuna de Cerro Navia	0,02
Provincia de Santiago	Comuna de San Ramón	0,01

Figura A.25: Tercer tercio de comunas más contaminantes de la Región Metropolitana.
Fuente: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (2015)

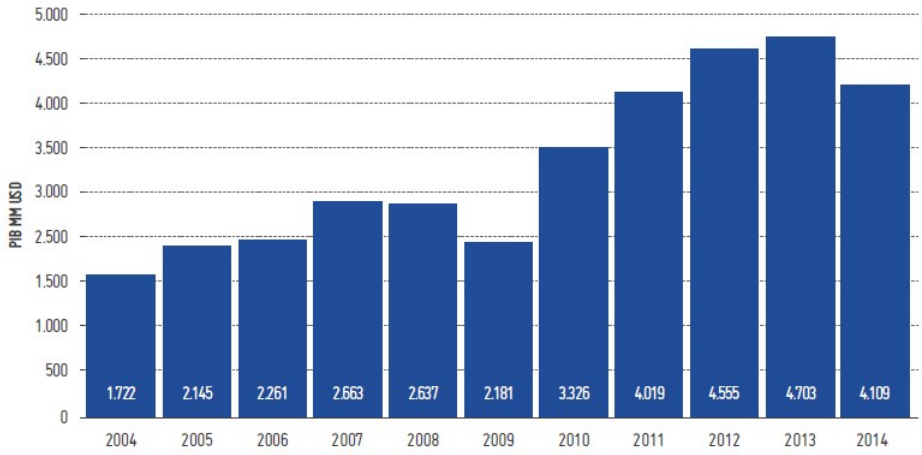


Figura A.26: Aportes tributario del sector automotor.
Fuente: ANAC (2016)

Figura A.27: Desglose de aportes tributarios del sector automotor.
Fuente: ANAC (2016)

* Escala progresiva para cálculo de Permisos de Circulación
Sobre la parte del precio que no exceda de 60 Unidades Tributarias Mensuales (UTM), 1%;
Sobre la parte del precio que exceda la cantidad anterior y no sobrepase de 120 UTM, 2%;
Sobre la parte del precio que exceda la cantidad anterior y no sobrepase de 250 UTM, 3%;
Sobre la parte del precio que exceda la cantidad anterior y no sobrepase las 400 UTM, 4%;
Sobre la parte del precio que exceda de 400 UTM, 4,5%.
Para el cálculo se debe considerar el valor de la Unidad Tributaria Mensual del mes de enero de cada año. El impuesto por permiso de circulación no podrá ser, en caso alguno, inferior a media Unidad Tributaria Mensual.

Figura A.28: Valor permiso de circulación.
Fuente: SII (2017)

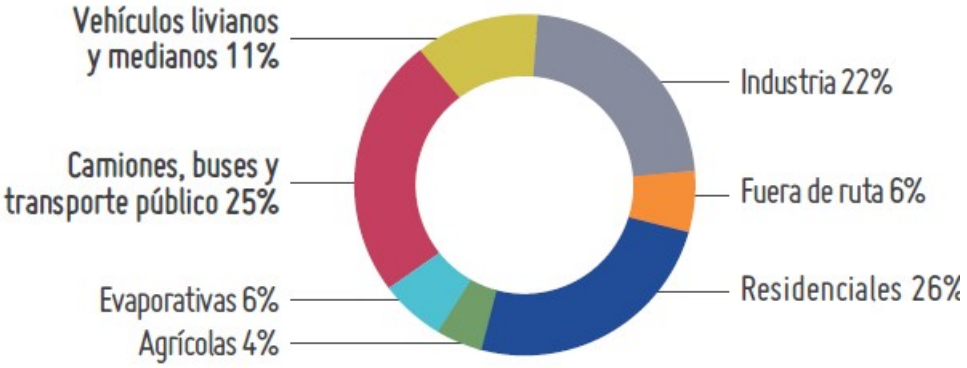


Figura A.29: Desglose de aportes en emisiones de MP2.5.
Fuente: ANAC (2016)