

# El potencial del remote sensing y las políticas de reducción de emisiones como catalizadores de la renovación de la flota de transporte en Asunción, Paraguay

Martín Sosa  
Lynn Scholl  
Juan Manuel Leño  
Michael Fleischmann  
Cristian Navas  
Juan Pablo Benítez

División de Transporte

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN-02174

# El potencial del remote sensing y las políticas de reducción de emisiones como catalizadores de la renovación de la flota de transporte en Asunción, Paraguay

Martín Sosa  
Lynn Scholl  
Juan Manuel Leaña  
Michael Fleischmann  
Cristian Navas  
Juan Pablo Benítez

Mayo 2021

Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo

El potencial del remote sensing y las políticas de reducción de emisiones como catalizadores de la renovación de la flota de transporte en Asunción, Paraguay / Martín Sosa, Lynn Scholl, Juan Manuel Leaño, Michael Fleischmann, Cristian Navas, Juan Pablo Benítez.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2174)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Urban transportation-Environmental aspects-Paraguay. 2. Local transit-Environmental aspects-Paraguay. 3. Remote sensing-Paraguay. 4. Greenhouse gas mitigation-Government policy-Paraguay. 5. Air-Pollution-Prevention-Paraguay. 6. Environmental policy-Paraguay. I. Sosa, Martín. II. Scholl, Lynn. III. Leaño, Juan Manuel. IV. Fleischmann, Michael. V. Navas Duk, Cristian. VI. Benítez, Juan Pablo. VII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. VIII. Serie. IDB-TN-2174

Códigos JEL: Q52, Q53, L91, F64

Palabras Clave: Emisiones, Calidad de Aire, Remote Sensing, Contaminación del Aire, Sistemas de Información Geográfica, Flota de Transporte, Medio de Transporte

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



[msosa@iadb.org](mailto:msosa@iadb.org), [lscholl@iadb.org](mailto:lscholl@iadb.org), [juanml@iadb.org](mailto:juanml@iadb.org), [cristiann@iadb.org](mailto:cristiann@iadb.org), [juanben@iadb.org](mailto:juanben@iadb.org)

# EL POTENCIAL DEL *REMOTE SENSING*



y las políticas de reducción de emisiones  
como catalizadores de la renovación de  
la flota transporte en Asunción, Paraguay



## ABSTRACT

El sector de transporte genera contribuciones significativas de emisiones locales y globales de gases de efecto invernadero y también de material particulado. Los servicios de transporte masivo en buses presentan altas tasas de emisiones dado el tipo de combustible del cual dependen y, en el caso de América Latina y el Caribe (ALC) estas externalidades son aún mas severas dados los rezagos de regulación del sector, la informalidad y la edad promedio muy alta de la flota vehicular. Este documento presenta a la utilización de la tecnología remote sensing como una herramienta para reducción de las emisiones contaminantes locales de vehículos de transporte de pasajeros del Área Metropolitana de Asunción,

Paraguay. El documento parte de una presentación de casos de aplicación de remote sensing en varias ciudades del mundo y de la region de ALC y luego delinea los beneficios, consideraciones y recomendaciones de replicar la implementación del remote sensing en Paraguay. Se analiza el potencial de esta tecnología para identificar vehículos con tasas más altas de emisiones locales, y a partir de esta herramienta, conceptualizar y desarrollar un mecanismo de aplicación de normas de emisiones contaminantes en Paraguay, que por medio de un sistema de multas sustente un fondo para la renovación de flota del transporte.

**Martín Sosa**  
**Lynn Scholl**  
**Juan Manuel Leño**  
**Michael Fleischmann**  
**Cristian Navas**  
**Juan Pablo Benítez**

# TABLA DE CONTENIDOS

<b><u>I. Introducción</u></b> .....	7
<b><u>II. Antecedentes y definición del problema</u></b> .....	8
a. Contaminación del aire y sus efectos	
b. Calidad del aire en Paraguay y su relación con el transporte y la salud	
c. Políticas e iniciativas de respuesta a la problemática de la contaminación del aire por el transporte	
d. Retos o limitación de recursos de gobierno	
e. Retos o limitaciones de recursos y/o incentivos de las empresas de transporte	
<b><u>I. La tecnología de Remote Sensing: ¿Qué es y Cómo funciona?</u></b> .....	17
a. Limitaciones de la tecnología	
<b><u>II. Casos de Aplicación de remote sensing</u></b> .....	20
a. Área metropolitana de Auckland, Nueva Zelanda – 2005 (Bluett, Kuschel, and Unwin 2010)	
b. Área Metropolitana de la Ciudad de México – 2006 (Schifter et al. 2007)	
c. Área Metropolitana de Monterrey – 2008 (Aguilar-Gómez et al. 2009; Rojas Bracho, et al. 2010 )	
d. Varias ciudades en Chile – 2013-2015 (Secretaria de Planificación de Transportes 2015)	
e. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) – 2010, 2016-2017 (Estudios varios)	
f. Área Metropolitana de Londres – 2012 (Carslaw and Rhys-Tyler 2013)	
<b><u>III. Beneficios de la implementación de sensores remotos en Paraguay</u></b> .....	28
a. Renovación de la flota de transporte publico	
b. Actualización y homologación del inventario de buses de Asunción y Gran Asunción	
c. Generación de Recursos para incentivos de participación en programas de modernización	
d. Establecimiento de parámetros de Calidad del Aire acorde a la situación actual y metas alcanzables	
e. Control de emisiones a vehículos particulares y movilidad más sostenible	
<b><u>IV. Consideraciones a tener en cuenta en la implementación del remote sensing</u></b> .....	31
a. Regulación e Incentivos	
b. Impacto Social	
c. Inversiones en transporte público	
<b><u>V. Oportunidad y Limitación dentro del contexto político y jurisdiccional</u></b> .....	32
<b><u>VI. Recomendaciones</u></b> .....	33
a. Definición de una estrategia de implementación	
b. Promover la instalación de sensores remotos dentro de un marco legal de reducción de contaminantes del aire como una política de salud publica	
c. Crear una red de evaluación de emisiones con las entidades encargadas del ITV para la obtención de un inventario de las emisiones de los vehículos en la comuna Asuncena	
<b><u>Referencias</u></b> .....	35

# I. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 81 millones de personas que viven en ciudades de América Latina, están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los estándares de WHO (Romieu I, Weitzenfeld H, Finkelman J., et al, 1990), en términos porcentuales, la población afectada equivale al 26% de la población total urbana de la Región. En base a diferentes estudios especializados se identifica que el sector transporte presenta una contribución significativa de emisiones locales y globales en LAC (Rivas, Suárez-Alemán and Serebrisky, 2019) - siendo el transporte masivo de pasajeros un alto emisor -. Dada la historia de desregulación del sector, y en algunos casos los niveles de informalidad, la edad promedio muy alta de los vehículos de transporte de pasajeros es una de las características prevalentes del transporte público en las ciudades de LAC, que en algunos casos llegan a más de 20 años. A su vez, el tipo de combustible que utiliza el transporte masivo de pasajeros en la región (diésel), asociado a los bajos niveles generales de mantenimiento de los vehículos independiente a la edad promedio, presentan altas tasas de emisiones. En el caso de Paraguay, la edad promedio de buses es de 8,7 años (Viceministerio de Transporte- MOPC, 2017). Sin embargo, los resultados de las verificaciones técnicas vehiculares demuestran que una baja cantidad de vehículos de edad promedio alta, contribuyen significativamente con las emisiones totales.

En este contexto, el objetivo de la investigación propone evaluar el potencial de la utilización de la tecnología remote sensing como una herramienta

para reducción de las emisiones contaminantes locales de vehículos de transporte de pasajeros en Asunción, Paraguay. Para ello, se evaluará el potencial de esta tecnología para identificar vehículos con tasas más altas de emisiones locales, y estimar las emisiones de la flota total. Los resultados permitirán analizar el potencial de un mecanismo de aplicación de normas de emisiones contaminantes, que por medio de un sistema de multas permitiría sustentar un fondo para la financiación y renovación de flota del transporte. Por último, se analizará si la información generada por el sistema contribuye al diseño de políticas públicas orientadas a reducir emisiones de fuentes móviles como los programas de chatarrización.

La estructura del documento se presenta de la siguiente manera: 1) antecedentes sobre la problemática de emisiones del sector de transporte y los retos de renovar la flota de vehículos (en términos de targeting y recursos); 2) descripción de la tecnología del remote sensing (cómo funciona, costos, beneficios, limitaciones, proyecciones de la tecnología para el futuro, etc.); 3) presentación de casos a nivel mundial del uso de remote sensing; 4) caracterización de los beneficios de implementar esta tecnología como parte de una política pública en Paraguay; 5) consideraciones a tener en cuenta durante la implementación; 6) presentación de la oportunidad y limitación dentro del contexto político y jurisdiccional; y 7) recomendaciones para la implementación de remote sensing en Paraguay.

## II. ANTECEDENTES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### a. Contaminación del aire y sus efectos

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que anualmente se reportan 7 millones de muertes por efecto de la calidad del aire a nivel mundial. De estos, unos 4.3 millones corresponden a problemas de calidad del aire en países del tercer mundo, donde prevalece aún el uso de leña o carbón para cocinar, que generan niveles de partículas respirables y monóxido de carbono en cantidades superiores a las recomendadas por las normas de calidad en recintos cerrados. Aproximadamente 3.7 millones de muertes prematuras son atribuibles a problemas de calidad del aire en ciudades (OMS, 2012), siendo la principal fuente, las emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles, principalmente nafta y combustible diésel.

Para medir los efectos de la calidad del aire, se utilizan los contaminantes más relevantes denominados contaminantes criterio. Estos son material particulado (PM), Ozono (O<sub>3</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Plomo. Si bien el plomo ha dejado de ser un elemento de preocupación ya que se ha eliminado de la gasolina a nivel mundial, los demás

contaminantes subproductos de la combustión siguen siendo muy relevantes.

El uso de gasolina/nafta genera emisiones de CO (monóxido de carbono), SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), HC (hidrocarburos) y O<sub>3</sub> (ozono). Sin embargo, el combustible diésel es el principal generador de NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), un precursor importante de niebla toxica, SO<sub>x</sub> (óxidos de azufre) y partículas (hollín) respirables de diversos tamaños PM<sub>10</sub> (partículas inferiores a 10µ), PM<sub>2.5-10</sub> (partículas con diámetro entre 2.5 µ y 10 µ) y PM<sub>2.5</sub> (partículas con diámetro menor a 2.5 µ).

En Paraguay, como resultado de una campaña liderada por Petrobras, se logró regular la importación de combustible diésel, restringiendo el contenido de azufre a niveles aceptables de 4000 ppm en 2008, a un máximo de 50 ppm en el presente. Esto ha resultado en un mejoramiento sustancial de la calidad del aire con respecto a emisiones de óxido de azufre.

El cuadro 1, resume los efectos de cada tipo de contaminante sobre la salud.

**CUADRO NO. 1**

Efectos en salud y en el medioambiente de los distintos contaminantes atmosféricos regulados internacionalmente

CONTAMINANTE	FUENTES	EFFECTOS EN SALUD	EFFECTOS EN MEDIOAMBIENTE
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	Contaminante secundario formado por reacciones químicas de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) en presencia de luz solar.	Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de función pulmonar e incremento de síntomas respiratorios, incremento de la susceptibilidad a infecciones respiratorias y muerte prematura.	Puede dañar la vegetación impactando el crecimiento de los árboles y reduciendo la producción agrícola.



**CUADRO NO. 1**

Efectos en salud y en el medioambiente de los distintos contaminantes atmosféricos regulados internacionalmente

CONTAMINANTE	FUENTES	EFFECTOS EN SALUD	EFFECTOS EN MEDIOAMBIENTE
<b>Material particulado (MP)</b>	Emitido en forma directa por procesos de combustión (p.e. quema de carbón, leña, diésel), procesos industriales, agricultura (quema de rastrojos, incendios forestales) y caminos no pavimentados. También se forma a través de reacciones químicas a partir de gases precursores como NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> .	Agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, disminución de función pulmonar, incremento de síntomas respiratorios y muerte prematura.	El MP tiene efectos climáticos derivados de su capacidad de absorber, dispersar y reflejar radiación solar, modificando, p.e, los niveles de visibilidad. Genera efectos sobre ecosistemas (fertilización, acidificación, etc) y degrada materiales de construcción.
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Procesos de combustión de elementos que contienen azufre, generación eléctrica y procesos industriales; fuentes naturales como volcanes.	Agravamiento de asma e incremento de síntomas respiratorios. Contribuye a la formación de partículas que tienen impacto en la salud.	Enfriamiento de la atmósfera. Al oxidarse forma ácido sulfúrico, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> un componente de la lluvia ácida que es nocivo para las plantas. Ataca a los materiales de construcción que suelen estar formados por minerales carbonatados, como la piedra caliza o el mármol, formando sustancias solubles en agua y afectando a la integridad y la vida de los edificios y esculturas.
<b>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</b>	Procesos de combustión, p.e. centrales termoeléctricas, calderas industriales, transporte y quema de leña.	Agravamiento de enfermedades respiratorias e incremento de la susceptibilidad a las infecciones respiratorias. Contribuye a la formación de ozono y de partículas que tienen impacto en salud.	El óxido de nitrógeno (NO) se oxida muy rápidamente convirtiéndose en dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) y posteriormente en ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> ), produciendo lluvia ácida.
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Procesos de combustión (especialmente en automóviles).	Reduce la habilidad de la sangre de transportar oxígeno. Agravamiento de enfermedades cardiovasculares.	No se tiene constancia de que el carbono tenga efectos negativos sobre el medio ambiente. Su oxidación produce dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), gas de efecto invernadero, que genera el calentamiento de la atmósfera.

Fuente: Centro Mario Molina, 2011

Dada la gran proporción de vehículos diésel en Paraguay (en 2008 >95%, en 2018 >50%), la inhalación de material particulado es de especial importancia, constituyéndose en uno de los principales factores que afectan la salud.

El diagrama que se presenta a continuación muestra la relación entre este contaminante y la salud (Arden Pope III and Dockery 2006).



diésel de tecnologías antiguas e ineficientes. Un estudio de monitoreo realizado en 2010 en Asunción, indicó que en las zonas de muestreo los niveles de MP de fracción fina (MP2.5) superaban en un 39% a los niveles establecidos por la OMS (Centro Mario Molina, 2014). Según la OMS, la mayor parte de las enfermedades respiratorias y muertes por contaminación del aire ambiente, están ligadas a la exposición al material particulado (PM) de menos de 10 o de 2.5 micrones en diámetro (PM10 and PM2.5). Las partículas pequeñas no son detenidas por los sistemas de defensa del cuerpo humano contra el polvo, sino que penetran hasta los alveolos del sistema respiratorio. El material particulado está constituido de una mezcla de sustancias tóxicas como metales pesados, sulfuros y

compuestos de carbono, además de algunos carcinógenos, como el benceno y sus derivados.

El transporte es uno de los principales contribuyentes a la contaminación por partículas y se estima que es responsable de cerca del 50% de las emisiones de partículas en los países de la OECD. La contribución en Asunción es mucho mayor, dada la prevalencia de vehículos diésel de tecnologías antiguas e ineficientes. Un estudio de monitoreo realizado en 2010 en Asunción, indicó que en las zonas de muestreo los niveles de MP de fracción fina (MP2.5) superaban en un 39% a los niveles establecidos por la OMS (Centro Mario Molina, 2014).

## b. Calidad del aire en Paraguay y su relación con el transporte y la salud

Por iniciativa del “Partnership for Clean Fuels and Vehicles (PCFV)” del programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), la empresa Petrobras-Paraguay, con el apoyo técnico del Instituto Mario Molina de Chile, realizaron dos campañas de monitoreo de calidad del aire en Asunción. El primer estudio se realizó en 2010 (Centro Mario Molina, 2011) y el segundo en 2014. Se estima la realización de una tercera campaña para mediados de 2018.

La calidad del aire de Asunción está relacionada principalmente con dos tipos de emisiones, emisiones de combustión provenientes del parque automotor y emisiones fugitivas provenientes de aportes de las calles sin pavimentar de la ciudad. La diferencia entre estos dos tipos de emisiones se detecta analizando la composición del material particulado recolectado durante las campañas de monitoreo, siendo la primera relacionada principalmente

con el carbono negro (hollín o Black Carbon), óxidos de nitrógeno y de azufre y amoníaco. Las emisiones inorgánicas, principalmente sílice y carburo de calcio, provienen de la suspensión de material fino de las vías de la ciudad, que son predominantemente calles empedradas.

Las emisiones generadas por la combustión de hidrocarburos tienen una alta proporción de contaminantes provenientes del combustible diésel, dado el alto porcentaje de vehículos que utilizan ese combustible.

Los niveles de contaminación encontrados en la ciudad han venido mejorando sustancialmente desde el 2011, principalmente por la sustitución de diésel “sucio” de más de 4000 ppm de azufre en 2010, a diésel de máximo 500 ppm en 2014, y la disponibilidad de “diésel limpio” de menos de 10 ppm azufre.

**CUADRO NO. 2**

Niveles Máximos y Mínimos de Azufre en los Combustibles Diésel de la Región en ppm (partes por millón)

AÑO	ARGENTINA	BRASIL	CHILE	COLOMBIA	MÉXICO	PARAGUAY	URUGUAY
<b>2008</b>	2.500/1.500	2.000/500	350/50	3.000/500	500/300	4.000/500	8.000/500
<b>2009</b>	2.500/ 50	2.000/50	300/50	2.500/500	50/15	4.000/500	8.000/500

**CUADRO NO. 2**

Niveles Máximos y Mínimos de Azufre en los Combustibles Diésel de la Región en ppm (partes por millón)

AÑO	ARGENTINA	BRASIL	CHILE	COLOMBIA	MÉXICO	PARAGUAY	URUGUAY
2010	50/10	50/10	50/10	500/50	50/15	4.000/500	8.000/500
2014	50/10	50/10	50/10	500/50	50/15	500 /50	8.000/500
2017	50/10	50/10	50/10	50/10	50/10	50/10	50

Fuente: "Diagnóstico de contaminación atmosférica en Asunción y recomendaciones para la gestión de calidad del Aire" Centro Mario Molina, 2014.

Sin embargo, los límites de contenido de azufre en el diésel solamente reducen la emisión de un tipo de contaminante. Un estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Civil, Industrial y Ambiental de la Universidad Católica de Asunción, encontró correlaciones significativas entre los niveles de contaminación de NO y NO<sub>2</sub> y el flujo de vehículos de buses registrado en las zonas de muestreo. De todos los vehículos registrados en el estudio, los buses fueron los que tuvieron mayor correlación en comparación con vehículos livianos, motos y vehículos pesados (Adam, et al., 2013) . Estos resultados indican que es muy probable que la mayor parte de la contaminación del aire por óxidos de nitrógeno en Asunción sea producida por la circulación de vehículos de transporte público o buses. Sin embargo, el diseño de políticas públicas que respondan a este problema en concreto debería extenderse a otros tipos de vehículos (por ejemplo, a buses que utilizan nafta o vehículos particulares) ya que, aunque en menor escala, también contribuyen a la contaminación del aire.

En Paraguay, la motorización ha venido aumentando -la importación de vehículos ha tenido un crecimiento anual de 26% desde 2009 a 2019-. Cabe destacar que el 65% de estos vehículos importados en Paraguay son usados y solamente el 35% son vehículos nuevos y que el 90% de los vehículos importados tienen mas de 10 años de antigüedad (Investigación para el Desarrollo, 2019).

Un reciente estudio realizado dentro del marco del proyecto "Asunción Ciudad Verde de las Américas - Vías a la sustentabilidad", liderado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible y ejecutado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por el Fondo Verde para el Clima (GCF), ha identificado que entre 2013 y 2017 existieron 3.419 muertes atribuibles a la contaminación del Aire en Asunción y el Departamento Central (que constituye su Area Metropolitana). El mismo estudio define que el costo para el Estado para tratar la morbilidad y mortalidad de afecciones causadas por el aire asciende a USD 35 millones al año (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

## c. Políticas e iniciativas de respuesta a la problemática de la contaminación del aire por el transporte

En muchas ciudades alrededor del mundo, los vehículos de mayor antigüedad y con más años de uso, contribuyen a una significativa proporción de las emisiones totales del vehículo (Posada, et al., 2015). Los vehículos

pesados, como camiones y buses, que componen una pequeña proporción de la flota de vehículos en muchas ciudades, dada sus altas tasas de operación (en términos de kilómetros-vehículos recorrido) y factores

de emisiones de contaminantes elevados, contribuyen desproporcionadamente a las emisiones de ciertos contaminantes como materia particulada y óxido de nitrógeno (International Council on Clean Transportation, 2018). Muchos buses y vehículos pesados tienen más de 20 años, en consecuencia, para que la implementación de estándares nuevos para emisiones de los vehículos sea efectiva, requiere ser complementada con programas de modernización de flotas que permitan retirarlos de circulación. Por ejemplo, en el año 2009, en Brasil, la flota de vehículos pesados que representó 3% de la flota total, fue responsable de aproximadamente 45% de las emisiones totales de PM<sub>x</sub> y 46% de NO<sub>x</sub>.

En adición de la formalización de estándares de vehículos nuevos, los programas de control de emisiones de los vehículos en operación incluyen: 1) la identificación y caracterización de los vehículos de grandes emisores; 2) el uso de combustibles limpios (que son más limpios y/o ellos que faciliten el uso de tecnología avanzada de control de emisiones); 3) la chatarrización de vehículos antiguos; 4) la retro-adaptación de vehículos de grandes emisores, y 5) las estrategias complementarias como incentivos para cambiar comportamiento y mejoramientos de redes de transporte (International Council on Clean Transportation, 2018).

Un programa de reemplazo tiene como propósito principal, eliminar los vehículos más contaminantes o antiguos de circulación, y substituirlos por vehículos nuevos que cumplen con normas actualizadas sobre emisiones. Usualmente se complementan con programas de “desguace”, donde los vehículos que salen de la circulación, y pasan por una instancia de desmonte para que no vuelvan a circular en otras ciudades. La retro-adaptación comprende la incorporación de nuevas tecnologías al vehículo, como filtros o convertidores catalíticos de mayor eficiencia, permitiendo que los vehículos permanezcan en funcionamiento por más tiempo. En forma similar, pero incurriendo en mayores costos, la repotenciación permite que los vehículos permanezcan en funcionamiento por más tiempo, pero reemplazan sus motores por completo y con ello los sistemas de control de contaminación.

De las medidas mencionadas arriba, una de las más eficaces para obtener un mayor impacto en la calidad del aire es la renovación de los vehículos antiguos y/o más contaminantes. Este tipo de intervención implica costos muy elevados al inicio, y por lo tanto suelen ser menos atractivos para los decisores políticos. Estos programas de modernización son parte de las políticas públicas de un

gobierno en donde se decide comenzar a regular el uso e impacto de los vehículos con un fin determinado: por ejemplo, una nueva regulación que restrinja la circulación de vehículos de más edad o que no cumplan con los niveles requeridos de emisión de ciertos contaminantes, o la introducción de criterios más estrictos en la medición y evaluación de vehículos aptos para circular (verificaciones técnicas).

Los instrumentos disponibles para lograr establecer estándares de emisiones más estrictos en las flotas de vehículos incluyen impuestos o tasas de contaminación, generalmente diseñadas para atacar algún tipo de contaminante específico. Por otro lado, es fundamental la identificación de la fuente de contaminantes atmosféricos de origen móvil para poder diseñar este tipo de políticas y programas en forma efectiva. Para ello se construyen inventarios locales, que incluyen las principales fuentes de emisiones en el área, incluidas las generadas por el transporte. Para que estos inventarios sean de utilidad y permitan diseñar políticas públicas de control adecuadas, deben estar actualizados periódicamente, es decir debe existir un programa de monitoreo que mantenga los datos de las fuentes emisoras actualizados (Onurasal y Gautam, 1997).

Sin embargo, uno de los mayores problemas de la región es que los datos sobre las emisiones del sector del transporte son escasos o inexistentes. La Ciudad de México y Sao Paulo han desarrollado inventarios de emisiones muy completos y detallados que incluyen fuentes móviles, así como también lo han hecho otras ciudades como Belo Horizonte, Río de Janeiro, Santa Fe de Bogotá y Santiago, ante la necesidad de contar con información actualizada para proyectos específicos.

La mayoría de los responsables en la formulación de políticas se basan en los resultados de modelos de emisiones de vehículos para desarrollar y evaluar los impactos de los programas destinados a reducir las emisiones de contaminantes de fuentes móviles (Tietge, et al., 2015). Sin embargo, si bien estos modelos funcionan con datos reales, luego van perdiendo actualidad y las emisiones en la calle de los vehículos puede diferir ampliamente de los resultados que se obtienen de los modelos, en parte porque las formas de conducir no son las modelizadas, los mantenimientos no son como fueron estimados, etc. Esto lleva a que los resultados de los modelos de estimación de emisiones comiencen a perder credibilidad ante investigadores.

## d. Retos o limitación de recursos de gobierno

Paraguay cuenta, desde julio del año 2014, con una ley de Calidad del Aire (Ley N° 5211 y el decreto N° 1269 de reglamentación de esta ley), que designa al actual Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES), como la autoridad competente para la aplicación y ejercicio de las atribuciones que establece la ley. En su alcance, establece el mandato de la MADES como autoridad de aplicación:

- Establecer un programa de control y monitoreo gradual y sistemático de las emisiones producidas por las industrias, actividades comerciales, de servicio y otras que generen contaminación del aire o la atmósfera;
- Regular el nivel de emisiones permitidas e implementar mecanismos gradualmente dirigidos a lograr que los generadores cumplan con las normas de protección del aire y la atmósfera;
- Promover el uso de tecnología que garantice la optimización de los procesos de producción, la posibilidad de control de emisión de contaminantes y la utilización de sustancias con menor incidencia contaminante, con el fin de reducir la polución emitida al aire o la atmósfera;
- Promover el fortalecimiento progresivo de la capacidad institucional de las autoridades que ejercen el control y el monitoreo de las actividades que pudieran generar emisiones contaminantes;
- Sancionar a los infractores declarados como tales por la Autoridad de Aplicación;
- Desarrollar e implementar programas de educación ambiental orientados a fomentar la adopción de hábitos que reduzcan la emisión de contaminantes del Aire y la Atmósfera;
- Implementar acciones necesarias para prevenir o evitar alteraciones a la salud de los seres vivos por emisiones contaminantes.

Entre otras cosas también lo faculta para:

- Normar los sistemas y procedimientos para el tratamiento y control de las emisiones, con especificación de la metodología de medición, su frecuencia y los procedimientos para evaluar sus mediciones;
- Realizar los estudios técnicos pertinentes para identificar las fuentes de emisión causantes del deterioro del aire a los fines de lograr la reducción, mitigación o eliminación de la emisión causante del deterioro de la calidad de la atmósfera.

En este contexto, se crea la Dirección General del Aire (DGA) dentro del organigrama general de la MADES, como instancia encargada de promover el cumplimiento de la ley. La ley faculta a los municipios del país, a fiscalizar en forma directa o a través de terceros, la emisión de gases provenientes de vehículos, tanto de transporte público como privados; y a adoptar las medidas de inspección y control necesarias para garantizar su cumplimiento. En este contexto institucional y legislativo, se entiende que Paraguay tiene un marco legal para implementar un programa integral para el control de las emisiones, sin embargo, la reciente creación de la institucionalidad responsable, y su reducida articulación con los municipios que acompañan el programa, hacen que la capacidad de control y de diseño de mecanismos eficientes para controlar la calidad del aire sea limitada.

Para asegurar la sostenibilidad y viabilidad de cualquier mecanismo de control de emisiones, se requiere establecer una estrategia de apoyo técnico y financiero, donde concurren diferentes actores públicos y privados, que permita aportar para el fortalecimiento de la institucionalidad, y contribuir a mejorar las capacidades de los entes competentes del cumplimiento de la ley de calidad del aire.



## e. Retos o limitaciones de recursos y/o incentivos de las empresas de transporte

En el año 2014, el Gobierno del Paraguay emite un decreto ([2.133/14](#)), que establece la obligatoriedad para las empresas del transporte público del área metropolitana de Asunción de renovar el 20% de su parque automotor, teniendo como plazo de implementación hasta el 31 de diciembre de 2015. A su vez, se establece que los transportistas deberán renovar anualmente el 10 % de su flota con unidades nuevas. En forma complementaria, el decreto [2.130/14](#), establece las condiciones para la renovación de la flota y designa un presupuesto para ayudar a las empresas a implementarlo.

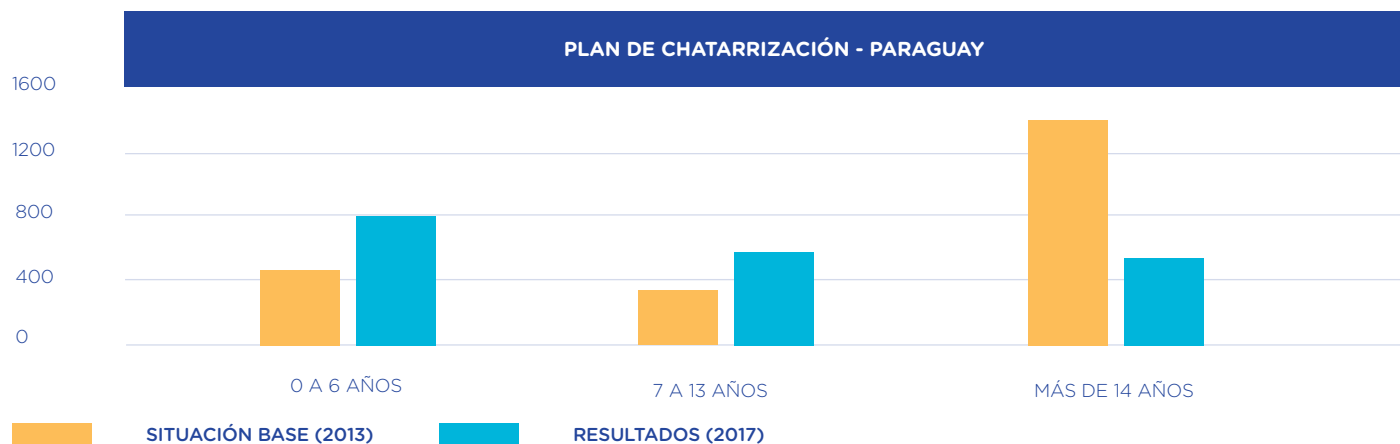
El objetivo del decreto fue retirar de circulación, a través de un programa de chatarrización, las unidades de más antiguas, que hasta ese momento estaban autorizadas a circular por el ente regulador, y reemplazarlas por unidades nuevas con el fin de reducir las emisiones e impactos en la calidad del aire. Para ello el Gobierno destinó un subsidio de US\$30.000 por cada unidad que se incorpore al programa de chatarrización y sea reemplazada por una unidad nueva, contribuyendo a reducir el costo total de la nueva adquisición.

Mediante su implementación, hasta el año 2017, se logró el retiro de 855 buses obsoletos, y la incorporación de 620 unidades nuevas, según indica un informe del Viceministerio de Transporte.

El programa contaba con un total de 500 subsidios, donde participaron 27 empresas con 352 vehículos chatarrizados y reemplazados por unidades nuevas.

El transporte público de pasajeros en el área metropolitana, en junio del 2013, contaba con 2.230 buses, de los cuales, solo el 20% (450) tenía entre 0 a 6 años de antigüedad; 16% (365) tenían entre 7 y 13 años y más del 60% (1.415) contaba con una antigüedad de más de 14 años. Con la implementación del programa se ha logrado un cambio significativo en estos números. En marzo del 2017, la cantidad total de buses era de 1.934, de los cuales el 40% (797 buses) contaba con una antigüedad de 0 a 6 años; el 30% (577 unidades) entre 7 a 13 años de uso y logrando reducir al 30% (560 unidades) los vehículos mayores a 14 años de antigüedad (Viceministerio de Transporte, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2017).

Durante todo este proceso, el Gobierno de Paraguay invirtió cerca de US\$11 millones, mientras que la inversión por parte de los empresarios del transporte fue de US\$40 millones, llegando de esta forma a la renovación de cerca del 34% de la flota del transporte público de Asunción (Viceministerio de Transporte- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2017).



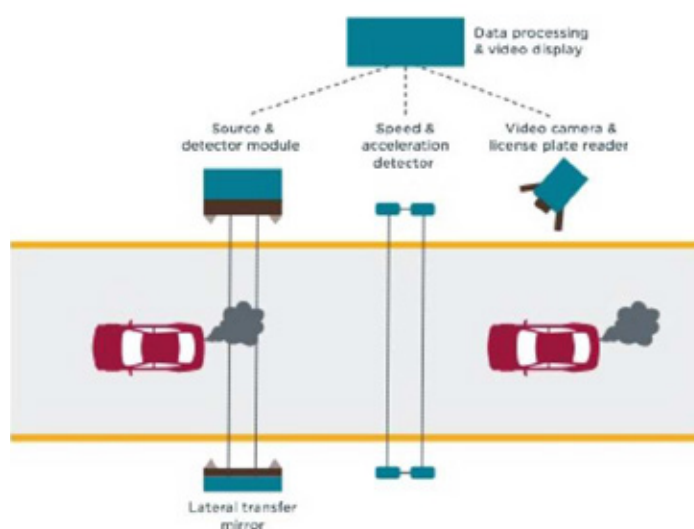


# I. LA TECNOLOGÍA DE *REMOTE SENSING*: ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA?

La tecnología *remote sensing* consiste en la instalación de una serie de elementos tecnológicos en la red vial que permiten medir emisiones vehiculares en tiempo real y por tipo de vehículo. A diferencia de otros métodos de medición, como los sistemas portables de medición de emisiones o los dinamómetros de chasis, este sistema permite vincular información del vehículo (a través de la lectura de patente) con el muestreo de emisiones, generando ventajas comparativas respecto al resto de los métodos dado que vincula los niveles de emisión a las características del tipo de emisor— siempre que se cuente con una buena base de datos de vehículos registrados en el padrón general (tipo de vehículo, modelo, año de fabricación, antigüedad, tipo de combustible que usa, etc.).

El *remote sensing* permite tomar datos de un gran número de vehículos en periodos de tiempo corto y en condiciones reales de tráfico. A la fecha, este sistema ha sido utilizado principalmente en Europa, aunque con fines de investigación y se espera que su uso se intensifique, principalmente por su complementariedad con el resto de los métodos de medición, monitoreo y control (Borken-Kleefeld and Dallmann, 2018). La siguiente figura presenta dos esquemas de funcionamiento de un sistema de *remote sensing*.

Existen tres unidades de toma de datos. La primera toma las emisiones a medida que circula el vehículo a través de un sensor infrarrojo y ultravioleta, esto se realiza con una superficie reflejante del otro lado del detector. La luz se modifica en proporción a la concentración de contaminantes detectados. Estos contaminantes emergen directamente del escape del vehículo que es tomado por la luz del sensor. Dado que cuando se detecta las emisiones también se detectan los niveles de contaminantes en el aire de fondo, se toman mediciones antes de que pase el



Fuente: Borken-Kleefeld and Dallmann, 2018

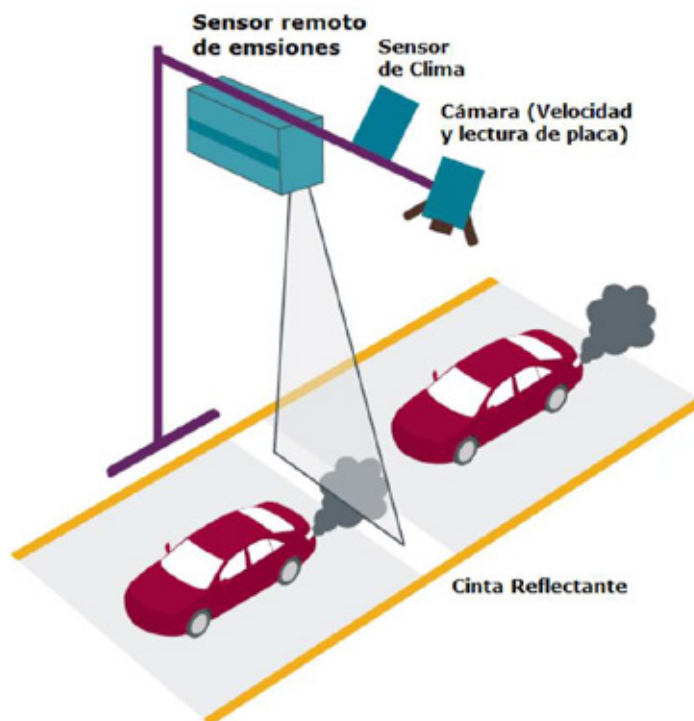
vehículo para tomarlas como concentraciones de fondo y restarlas a las emitidas por los vehículos pasantes con el fin de registrar la emisión neta de cada vehículo.

La segunda unidad mide la velocidad y aceleración del vehículo, antes del detector de emisión. Esta medición toma la carga de combustible y aire del motor que se correlaciona con la emisión instantánea del vehículo. La tercera unidad es una cámara que registra el número de placa patente con el fin de vincular los datos de emisión y funcionamiento al tipo de vehículo. Esto es posible gracias a los registros nacionales existentes de vehículos que identifican año de fabricación, con tipo de motor

y combustible, entre otros datos. Estas tres unidades combinadas proveen tasas de emisión en gramos por kilogramo de contaminante del combustible consumido para una cierta carga o funcionamiento del motor. Esto es posible para vehículos cuyas características técnicas son registradas en una base de datos disponible. Los sistemas de remote sensing, son capaces de medir emisiones de Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Propano, óxidos nitrosos (NO, NO<sub>2</sub>), Opacidad en el infrarrojo y ultravioleta, entre otros.

Desde el año 2009, un nuevo instrumento de remote sensing fue desarrollado (US Patent No. 8,654,335 B2, 2014), expandiendo los principios descritos, permitiendo una toma de datos más selectiva y precisa, y solucionando algunos problemas que tenía la medición lateral del sensor remoto, dado que en situaciones de calles con varios carriles solo se podía medir el carril lateral.

Este sistema funciona en forma similar, sin embargo, la ubicación del sensor en un pórtico permite la toma de la emisión de escape en su totalidad permitiendo medir todas sus moléculas.



Fuente: Borken-Kleefeld and Dallmann, 2018

## a. Limitaciones de la tecnología

Existen algunas limitaciones al uso de *Remote Sensing* (sensores remotos) para el monitoreo y control de las emisiones (Borken-Kleefeld, 2013 y Bluett, et al., 2013). La medición de las emisiones de partículas utilizando la tecnología de "vía abierta" como el *remote sensing* aún está evolucionando, y es poco probable que sea tan precisa como las mediciones realizadas con un dinamómetro. En consecuencia, los datos proporcionados por sensores remotos nunca serán idénticos a los obtenidos de las pruebas de ciclo de conducción del dinamómetro. Sin embargo, como se expresó previamente pueden reflejar emisiones reales en la red vial, y ampliar el campo de medición especialmente con respecto a las tendencias en el tiempo.

Los sensores remotos no incluyen las emisiones "en punto muerto" o durante la desaceleración, pues no hay suficiente emisión de escape para la toma correcta de datos; por lo que deben ser ubicados estratégicamente en un lugar bajo

ligera aceleración (rampas de entrada o salida del carril único, vías arteriales o calles de sentido único, sitios donde los vehículos aceleran desde una señal de stop o semáforos, etc.). Esta limitación no es tan grave, dado que las emisiones de contaminantes son mucho menores cuando el vehículo no está bajo carga o acelerando (Borken-Kleefeld and Dallmann, 2018).

Por lo tanto, la medición *remote sensing* no permite representar emisiones promedio o en secciones o condiciones de conducción que no requieran aceleración (por ejemplo, intersecciones transitadas o carreteras suburbanas donde los vehículos que operan en condiciones de arranque en frío pueden ser más comunes).

Debido a la necesidad de tomar correctamente la emisión entre la luz y la superficie reflejante, a veces se necesita ajustar el sensor cuando los tubos de escape tienen una configuración vertical o lateral (por ejemplo, con

los camiones). Este problema se ha solucionado con la ubicación del sensor en el pórtico ya que toma la emisión en su totalidad más allá de la ubicación del tubo de escape.

Como se trata de una “medición diferencial”, es importante que los valores tomados como “concentración de fondo” sean válidos. Además, los gases de escape muestreados son el resultado de la combustión alrededor de 1 a 25 metros antes, dependiendo de la velocidad del vehículo (Jiménez, et al., 1999). Sin embargo, la velocidad y la aceleración (es decir, los puntos de carga asociados con esta tasa de emisión) se miden a una distancia fija antes de que se midan las emisiones. Entonces, si el ritmo de conducción no es constante, la velocidad y la aceleración medidas pueden no ser representativas del modo de funcionamiento en el momento en que se generaron las emisiones medidas (Bluett, et al., 2013).

Los sensores remotos están configurados para medir las emisiones de escape de vehículos en circulación (motor en caliente) y es difícil distinguir las emisiones de arranque frío sobre las de circulación. Si se quiere medir emisiones de motores luego de un arranque en frío, se recomienda ubicar el sensor remoto a la salida de un estacionamiento de larga estadía (por ejemplo, para aquellos motores modernos de bajas emisiones donde las mayores emisiones ocurren en el arranque en frío) (Borken-Kleefeld and Dallmann 2018). Cuando una cantidad considerable de Hidrocarburos dentro del tubo de escape de un vehículo no se correlaciona bien con el CO<sub>2</sub>, el tubo de escape probablemente contenga hidrocarburos de una fuente de evaporación (St. Denis y Roeschen 2012).

Se debe tener en cuenta que el sensor remoto solo detecta una parte de las emisiones en la red vial. Es decir, estos no proporcionan información sobre las emisiones de material particulado que no emerja desde el tubo de escape, por ejemplo, del desgaste de neumáticos y roturas. Las experiencias de utilización de los sensores remotos recomiendan una medición en superficies secas y exentas de polvo, por lo que su funcionamiento no es óptimo en días de lluvia o superficies mojadas.

La identificación de placa patente es útil cuando se dispone de la información de dicho vehículo en bases de datos accesibles. Cuando no se cuentan con la información de un vehículo de otra jurisdicción, y se requieran realizar

trámites con la jurisdicción correspondiente para obtenerla el proceso se ralentiza.

Si esto no es un problema entonces el análisis puede ser muy útil por ejemplo si se quiere comparar los niveles de emisión de los vehículos sujetos a diferentes regímenes reguladores.

Sin grandes cantidades de mediciones y, estadísticas confiables, no es fiable concluir sobre la proporción exacta que los vehículos de alta emisión contribuyen a las emisiones totales. Es más fácil capturar la flota en aglomeraciones urbanas, pero los esfuerzos aumentan en gran medida si se capturan vehículos en un área más grande. Por lo tanto, los sensores remotos son una herramienta muy adecuada para muestrear rápidamente una porción significativa de la flota, pero aumentar la cobertura significa aumentar los costos proporcionalmente.

Existe una relación entre una identificación precisa de los emisores altos y la detección falsa. Los estándares de emisión en carretera [umbrales de corte] que son demasiado estrictos podrían hacer que los vehículos que no necesitan reparaciones se identifiquen como emisores altos. Al mismo tiempo, las normas de emisiones en carretera que son demasiado indulgentes no identificarán muchos vehículos realmente de alta emisión.

La evidencia sugiere que el exceso de emisiones aumenta fuertemente con la edad del vehículo, notablemente más allá de los 10 años. Por lo tanto, podría ser más fácil y más eficiente económicamente orientar los vehículos más antiguos a requisitos de prueba de emisiones o ampliar los requisitos de durabilidad en lugar de establecer un esquema de monitoreo para toda la flota.

La reglamentación es fundamental para cualquier acción de aplicación, salvo excepciones donde los sensores remotos son parte de las técnicas de monitoreo legalmente avaladas. Por lo general son esencialmente, (solo) una herramienta de monitoreo, incluso si los vehículos son detectados con emisiones arriba de los estándares en uso. Para ello no solo se requieren reglamentaciones para el uso del instrumento en cuanto a los límites permitidos de emisión por tubo de escape, sino que además debe diseñarse un programa integral de política pública que limite la edad de los vehículos autorizados a circular

(menor de 10 años, por ejemplo), u otro tipo de regulación segmentada por tipo de uso de vehículo (vehículo de transporte público, vehículo de reparto o carga liviana, vehículo de transporte pesado, vehículo particular).

En cualquier caso, las acciones correctivas deben tomarse

por medios adicionales o pruebas complementarias. Finalmente, que algunos vehículos presenten emisiones más altas que otros no significa necesariamente que estén funcionando mal o infrinjan cualquier regulación de emisiones. Para acciones legales, el umbral de corte debe corresponderse con algún estándar en uso.

## II. CASOS DE APLICACIÓN DE REMOTE SENSING

Para revisar casos de aplicación de *remote sensing*, se han consultado más de 20 estudios de diferentes países de Europa, Norteamérica, Sudamérica y Asia que utilizaron este tipo de instrumento y que han sido realizados con diferentes objetivos desde 1991 hasta el presente. Los primeros años de implementación de este instrumento de sensor remoto, recogían miles de registros (Monterrey, México 1995: 30.000 registros; Sri Lanka 2003: 22.000 registros) resultando eficiente para investigaciones, mientras que los estudios más recientes o de mayor duración alcanzan a cientos de miles de registros, por ejemplo, Chicago de 1997 a 2016 cuenta con más de 200.000 registros; Nueva Zelanda durante 2003 a 2011 con 146.000 registros (Bishop and Haugen 2017; Bishop 2018; Pokharel, Bishop, and Stedman 2002) permitiendo ampliar el campo de aplicación. En este sentido, algunos estudios fueron implementados para evaluar los impactos de alguna política pública o regulación en las emisiones, mientras que otros fueron aplicados para registrar rendimiento y emisiones de ciertos vehículos durante un periodo de tiempo determinado. Pocos se han enfocado el análisis vehículos de transporte público o transporte pesado de combustible diésel.

La literatura es reducida en cuanto a estudios que enfatizan los vehículos diésel y los vehículos pesados. En Auckland de Nueva Zelanda en 2005 (Bluett, Kuschel, and Unwin 2010) se midieron 8.600 light-duty y heavy-duty vehículos diésel para determinar qué aspectos (marca, modelo, año de fabricación, tipo de combustible, peso, capacidad del motor, etapa de norma Europea, etc.) tienen más influencia

sobre las emisiones. En Londres en 2012 y 2013 (Carslaw and Rhys-Tyler 2013; Carslaw and Priestman 2015), se analizó la flota urbana para determinar la variación en emisiones por tipo de vehículo (coche, camión, bus público, taxi) y para medir dióxido de nitrógeno vehicular por primera vez en Reino Unido.

Finalmente, dos ejemplos estadounidenses ilustran como el *remote sensing* se ha usado regularmente para monitorear y regular la flota. Los programas RapidScreen de Colorado, USA (McClintock 2015) y RapidPass de Virginia, USA (ETEST Corp. 2018; Virginia Department of Environmental Quality n.d.) ofrecen a los conductores una alternativa para realizar sus inspecciones vehiculares obligatorias, que puede reemplazar la necesidad de visitar una estación tradicional, mientras están recopilando inventarios de las emisiones vehiculares.

- **Año 2005, Ciudad de Auckland Área Metropolitana, Nueva Zelanda** (Bluett, Kuschel, and Unwin 2010)
- **Año 2006, Ciudad de México Área Metropolitana** (Schifter et al. 2007)
- **Año 2008, Ciudad de Monterrey Área Metropolitana de México** (Aguilar-Gómez et al. 2009)
- **Año 2012, Londres Área Metropolitana** (Carslaw and Rhys-Tyler 2013)
- **Años 2013 a 2015, Ciudades de Chile** (Secretaría de Planificación de Transportes, 2015)
- **Años 2010 y 2016 a 2017, Valle de México** (Estudios varios)

EL POTENCIAL DE  
REMOTE SENSING



## a. Área metropolitana de Auckland, Nueva Zelanda, 2005 (Bluett, Kuschel, and Unwin 2010)

Desde 2003, el gobierno regional de Auckland (AC) y el Ministerio de Transporte de Nueva Zelanda han financiado encuestas regulares de *remote sensing* para medir las emisiones vehiculares, con el propósito de entender los rendimientos de emisiones en sectores diferentes de la flota vehicular y para ayudar la región cumplir mejor sus objetivos de reducción. Basado en estimaciones de factores de emisiones y viajes de vehículos, el AC ha determinado que los vehículos de motor constituyen la fuente más grande de la contaminación atmosférica en Auckland, contribuyendo entre 50-80% de emisiones dependiendo del tipo de contaminante. Además, el AC ha determinado que los vehículos de diésel afectan de manera desproporcionada a los problemas de salud relacionados con la contaminación atmosférica en Auckland. Por ejemplo, en 2004, los vehículos diésel representaban el 20% de la flota vehicular regional pero causaban hasta el 91% de todos los costos de salud vinculados con las emisiones vehiculares, y más de la mitad de esos costos provenían de camiones y autobuses pesados (Auckland Regional Council 2006). Por esta razón, en 2004 y 2005, el AC financió una encuesta de *remote sensing* centrado en los vehículos diésel, ya que eliminar los vehículos diésel más contaminantes sería una de las formas más rentables para mejorar la calidad del aire de la región.

El AC contrató al Instituto Nacional de Investigación del Agua y la Atmósfera (NIWA), una compañía de propiedad pública, para realizar la encuesta. NIWA buscaba estructurar un inventario de la flota diésel y determinar qué aspectos (tipo, modelo, año de fabricación, tipo de combustible, peso, capacidad de motor, estándar de emisiones y lectura más reciente del odómetro) influían más en sus emisiones de contaminantes. NIWA también buscó 1) comparar rendimientos de emisiones de vehículos nacionales nuevos con los de vehículos usados importados de Japón y 2) crear un base de datos reales de emisiones vehiculares que puede compararse con resultados de otros programas de *remote sensing* y pruebas de emisiones.

Con un instrumento RSD 4000EN que incorpora sensores infrarrojos y ultravioletas, NIWA midió emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos nítricos y

opacidad de humo (como un sustituto de partículas) para vehículos diésel livianos y pesados. Los sitios de medición incluyeron 5 estaciones de autobuses (para buses), el Puerto de Auckland (para camiones) y 20 carreteras normales. Todas las carreteras normales fueron rampas de autopistas o vías arteriales que tenían un solo carril. NIWA colaboró con varias autoridades de tráfico y transporte para desarrollar y utilizar planes apropiados de gestión del tráfico durante las campañas de medición. En las estaciones de buses y en el Puerto de Auckland, NIWA les indicó a los conductores que condujeran a través del instrumento RSD alrededor de 30 kilómetros por hora. Además, en las estaciones de buses, NIWA indicó a los conductores que condujeran múltiples veces para obtener mediciones válidas, especialmente en días con tiempo mojado y ventoso (que hace difícil obtener resultados válidos). Finalmente, NIWA verificó las imágenes de placas con Motochek (el registro nacional de vehículos de Nueva Zelanda) y usó Motochek para recopilar datos biográficos para cada vehículo válido, incluyendo marca, modelo, capacidad de motor, potencia de motor, y tipo de combustible.

En total, NIWA juntó mediciones para 1.440 vehículos de servicio pesados y 7.200 vehículos livianos. En particular, NIWA encontró que los vehículos livianos emitieron significativamente menos contaminantes en promedio que los vehículos pesados. Los vehículos más viejos y aquellos con lecturas de odómetros más altas, tendieron emitir más dióxido de carbono e hidrocarburos, mientras que las emisiones de óxidos nítricos cambiaron poco entre vehículos viejos y nuevos. Las emisiones de vehículos nacionales nuevos y vehículos japoneses de segunda mano variaron fuertemente: emisiones promedio de óxidos nítricos de vehículos nacionales nuevos fueron significativamente más altas que las de los japoneses, pero emisiones de dióxido de carbono y opacidad de humo de vehículos japoneses fueron significativamente peores que las de vehículos nacionales. Los buses, en promedio, emitieron significativamente más óxidos nítricos que los camiones, mientras que éstos emitieron mucho más humo que buses. En general, las emisiones de buses mejoraron con una mejor tecnología de control original

del vehículo (p.ej., si un vehículo lograra un nivel más alto de los estándares Euro), aunque con niveles más altos de los estándares Euro no se reflejó toda la reducción de emisiones para cada vehículo.

NIWA concluyó que las encuestas futuras de *remote sensing* que tengan como objetivo medir las emisiones de buses deberían conducirse en sus estaciones, además de las carreteras normales, ya que las estaciones de buses

aseguran la presencia de buses y hacen relativamente fácil la medición. La medición de vehículos en dichos sitios también puede brindar la oportunidad de concentrar en subpoblaciones más específicas (p.ej., camiones que pesen más de 20 toneladas) y la oportunidad de verificar que los sistemas de control de emisiones estén instalados. Además, NIWA aconsejó realizar encuestas de *remote sensing* cada dos años, citando la rentabilidad con la que pueden medir los vehículos de forma rápida y en grandes cantidades.

## b. Área Metropolitana de la Ciudad de México, 2006 (Schifter et al. 2007)

Las emisiones en el área metropolitana de la Ciudad de México provienen principalmente de fuentes móviles, la misma tiene la contaminación atmosférica más alta de la región, siendo una de las ciudades más contaminadas del mundo. Los primeros programas nacionales y exhaustivos empezaron en los años 80, requiriendo que todos los vehículos mexicanos se sometieran a inspecciones semestrales y que los automóviles de modelos 1993-2000 cumplan con estándares de emisiones equivalentes al Nivel 0 de los Estados Unidos para monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y hidrocarburos. Para el 2001, también al nivel nacional, llevaron la implementación de estándares equivalente al Nivel 1 de los Estados Unidos con respecto a monóxido de carbono e hidrocarburos no metanos.

En agosto de 2006, para evaluar el efecto de estos programas, el Instituto Mexicano del Petróleo usó *remote sensing* para elaborar un estudio de emisiones vehiculares en 4 carreteras en el área metropolitana de la Ciudad de México. El estudio buscaba evaluar la evolución de emisión de contaminantes vehiculares a través de la comparación de estas mediciones con el estudio anterior del año 2000. Todos los sitios de medición fueron carreteras normales planas o con gradientes ascendentes moderados de un solo carril de tráfico constante o zonas de aceleración gradual,

dos de estos sitios correspondían al estudio del año 2000. Todos los sitios evitaron vehículos en condiciones cold-start o vehículos que conducen a una velocidad constante cuesta arriba.

Con un instrumento AccuScan que incorpora sensores infrarrojos, el equipo juntó 11.289 registros válidos con mediciones de monóxido de carbono, hidrocarburos, y monóxido de nitrógeno. Comparado con vehículos del estudio del 2000, las emisiones de la flota disminuyeron un 22% para monóxido de carbono y un 17% para monóxido de nitrógeno, mientras las emisiones de hidrocarburos aumentaron un 2%. Además, comparado con vehículos de un estudio de 1991, las emisiones de la flota disminuyeron un 76% para emisiones de monóxido de carbono y un 88% para emisiones de hidrocarburos (el monóxido de nitrógeno no se midió en 1991). En 2006, los vehículos más contaminantes contribuyeron el doble del porcentaje de las emisiones medidos en el 2000 para los tres contaminantes. Sobre esta base, el equipo concluyó que las mejoras de emisiones podrían ser el resultado de los estándares de emisiones de 2001, particularmente las mejoras en las emisiones de óxido de nitrógeno.

## c. Área Metropolitana de Monterrey, 2008 (Aguilar-Gómez et al. 2009; Rojas Bracho, et al. 2010)

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México (INECC) ha elaborado varios estudios de campo para medir la calidad de aire y para monitorear la flota vehicular en múltiples ciudades a lo largo de la frontera México-Estados Unidos. Los estudios combinan remote sensing y otras encuestas que realizan una mejora sobre la práctica tradicional de México de estimar las emisiones de fuentes móviles con factores de emisiones y tasas de empeoramiento. Además, los estudios brindan información útil a los formuladores de políticas. En 2008, un equipo del INECC condujo un estudio en el área metropolitana de Monterrey para calcular factores de emisión para vehículos en uso. El estudio también buscó 1) evaluar las emisiones vehiculares por varias características biográficas, 2) recopilar un inventario de emisiones basado en tipo de combustible, 3) comparar el inventario con otras experiencias y 4) proveer información a los formuladores de políticas y los representantes del gobierno municipal.

Con un instrumento RSD 4600, el equipo del INECC midió emisiones de monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en 10 sitios de toda el área de Monterrey. Todos los sitios fueron carreteras normales de un solo carril. Además, todos los sitios presentaron una variedad de tipos de vehículos y tenían un tráfico promedio entre 200 y 2000 vehículos por hora (moviéndose a 30-40 kilómetros por hora bajo de aceleración gradual). El equipo juntó 27.000 registros válidos. Al mismo tiempo, el equipo realizó una encuesta a 1.000 conductores cerca de los sitios de medición con el objetivo de obtener información complementaria sobre la actividad promedio de la flota (en términos de kilómetros recorridos) y el porcentaje de automóviles importados de los Estados Unidos. Al final, el equipo verificó imágenes de las placas con el registro oficial del Estado de Nuevo León para obtener información adicional sobre tipo de vehículo (p.ej., automóvil, VUD, bus público), edad, capacidad del motor, tipo de uso (privado o servicio) y tipo de combustible.

El equipo del INECC encontró que los vehículos más

viejos (modelo de año 1992 y antes) mostraron una variedad considerable en los rendimientos de emisiones, quizás debido a las diferencias en las condiciones de mantenimiento, la ausencia de un programa de inspección y mantenimiento en el área de Monterrey, o la simple consecuencia del envejecimiento vehicular. Estos vehículos tienen convertidores catalíticos de doble vía (modelos de años 1991 y 1992) o no tienen sistemas de control de emisiones en absoluto (modelo de año 1990 y más viejo). Vehículos del año 1993 y más recientes tienen convertidores catalíticos de triple vía y sistemas más avanzados que los llevaron a desempeñarse considerablemente mejor que los modelos anteriores (aunque el equipo registró algunos vehículos de estas edades con emisiones muy altas). Vehículos sin sistemas de control y vehículos con catalizadores de doble vía tuvieron valores medianos entre 0,25 y 3,09 veces más altos que los valores medianos de vehículos con catalizadores de triple vía y otra tecnología más avanzada.

Conteos de vehículos y datos de venta fueron utilizados para estimar la magnitud de la flota en uso, registrándose 960.000 unidades, de los cuales el 58% corresponden a automóviles, 21% camionetas y 21% VUDs. De esta flota, alrededor de 33% tenía más de 10 años, contribuyendo de manera desproporcionada a las emisiones totales, con 67% de monóxido de carbono, 72% de hidrocarburos y 56% de monóxido de nitrógeno. Las emisiones de camionetas aumentan con la edad del vehículo comparado con las de VUDs y automóviles. Por último, las emisiones de monóxido de carbono fueron independientes de la carga del vehículo, mientras que las emisiones de monóxido de nitrógeno y hidrocarburos tenían relaciones diferentes.

Sobre esta base, el equipo concluyó que el gobierno local debería considerar implementar un programa de inspección y mantenimiento, al menos para vehículos de uso intensivo o vehículos con más de 10 años, pero posiblemente para todos vehículos, ya que vehículos más jóvenes pueden mostrar emisiones altas en algunas circunstancias.



## d. Varias ciudades en Chile, 2013-2015 (Secretaría de Planificación de Transportes, 2015)

La Secretaría de Planificación de Transporte de Chile (SECTRA), que forma parte del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, ha hecho un esfuerzo en años recientes para incorporar consideraciones ambientales como parte de sus actividades. En 2013, SECTRA completó un inventario nacional de emisiones vehiculares llamado MODEM (Modelo de Emisiones Vehiculares), que tiene información para vehículos en más de 22 ciudades en todo el país. MODEM es un programa informático especializado que calcula emisiones vehiculares con estimados de los factores de emisión y la composición de la flota que difieren por la región (Osses 2003).

Desde las primeras etapas del inventario, los conteos de tipos de vehículos han sido realizados de manera manual. Sin embargo, desde 2012, cuando el Gobierno de Chile adquirió su primer instrumento de *remote sensing*, SECTRA se ha interesado en utilizar esta herramienta para categorizar mejor las tecnologías de control de emisiones dentro de las flotas regionales y para actualizar los factores de emisiones locales rápidamente.

El estudio de 2015, SECTRA exploró la viabilidad del *remote sensing* para mejorar la calidad de la información utilizada en MODEM y distribuirlo a nuevas partes del país. Centró su análisis en los automóviles de pasajeros y no consideró las emisiones de camiones, buses u otros vehículos medianos y pesados. El estudio realizó múltiples campañas de medición en la ciudad de Chillán y las áreas metropolitanas de Santiago, Valparaíso y Concepción entre 2013-2015, y acumuló 281.028 registros de vehículos para monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos, monóxido de

nitrógeno y opacidad de humo. Además, el estudio derivó estimaciones de concentraciones de material particulado basadas en la absorción de la luz ultravioleta.

Dentro de las áreas de Valparaíso y Concepción, el estudio encontró que todos los tipos de emisiones (excepto el material particulado) disminuyeron a medida que los vehículos alcanzaban niveles más altos de los estándares EU. Dentro de Chillán y el área de Santiago, el estudio encontró que todos los tipos de emisiones (excepto el monóxido de carbono) aumentaron a medida que los vehículos alcanzan niveles EU más altos. Las emisiones de monóxido de carbono disminuyeron con los niveles EU más altos en el área de Santiago, pero aumentaron en Chillán. Además, el estudio determinó que las emisiones agregadas de toda la región han disminuido desde la última medición en todas las áreas excepto Chillán, donde han aumentado, y también que la edad del vehículo es un predictor impreciso de emisiones en todas las regiones en comparación con otras características.

Fundamentalmente, el estudio determinó que las composiciones de la flota de las distintas ubicaciones y los factores de emisión de las distintas categorías de vehículos eran diferentes de la información contenida en MODEM. En particular, el estudio concluyó que MODEM subestimó la cantidad de vehículos diésel y estimó incorrectamente la contribución de emisiones de vehículos más nuevos con tecnologías de control más avanzadas. Sobre esta base, el estudio sugirió revisiones potenciales a la base de datos MODEM basadas en campañas anuales de teledetección y que consideran todos los tipos de vehículos.

## e. Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), 2010, 2016-2017 (Estudios varios)

En la ZMVM, el sector del transporte es la mayor fuente de contaminación atmosférica. Los vehículos diésel pesados y automóviles privados constituyen las fuentes más grandes de partículas suspendidas en el aire, mientras que los automóviles privados son la mayor fuente de precursores de ozono y causan que la ZMVM tenga los niveles más altos de contaminación por ozono en todo el país. Juntos, los gobiernos de la Ciudad de México y el Estado de México han implementado programas de control de calidad del aire por más de treinta años, pero los sistemas de transporte público deficientes, una creciente dependencia de automóviles privados y una flota de vehículos envejecidos han causado que la ZMVM exceda regulaciones desde 2011 (Centro Mario Molina 2016).

En 2010, el Centro Mario Molina realizó un estudio para evaluar la viabilidad del uso de *remote sensing* para identificar vehículos de alta emisión y exigirles que realicen mantenimiento correctivo. Utilizando un instrumento RSD 4600, el Centro midió la opacidad del humo de los vehículos y las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos nítricos y hidrocarburos en 20 sitios a lo largo de la ZMVM. Los sitios incluyeron estaciones de carga multimodales, puestos de peaje, estaciones de buses y otros lugares donde circulan muchos vehículos diésel. Citando el costo relativamente bajo de los sistemas de *remote sensing* y el gran porcentaje de registros válidos (más del 60%), el Centro determinó que *remote sensing*

puede usarse para establecer programas efectivos de inspección y mantenimiento en toda la ZMVM y puede construir inventarios precisos de la flota vehicular (Centro Mario Molina 2011).

En el verano de 2016, el Gobierno del Estado de México incluyó disposiciones sobre *remote sensing* en la regulación nacional de calidad del aire (Secretaría de Gobernación de México 2016) e inició una campaña de medición con dicha tecnología en la ZMVM para identificar vehículos altamente contaminantes (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México 2016). Inicialmente, el estudio reunió 3.169 registros de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno y hidrocarburos en dos sitios e identificó 11 vehículos altamente contaminantes. Sin embargo, se continuó con el programa hasta el fin del año y finalmente se sancionaron a 49.000 vehículos altamente contaminantes. El gobierno conservó las disposiciones de *remote sensing* en la regulación de la calidad del aire de 2017 (Secretaría de Gobernación de México 2017) y amplió la campaña de medición a otros sitios en la ZMVM. Además, el Gobierno formalizó el castigo para los vehículos altamente contaminantes, dictando que los vehículos serían retirados de circulación por la Policía Federal y los conductores serían multados con una cantidad equivalente a 40 días de salario mínimo.

## f. Área Metropolitana de Londres, 2012 (Carslaw and Rhys-Tyler 2013)

Debido a posibles imprecisiones en investigaciones anteriores sobre emisiones vehiculares en el área metropolitana de Londres, el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido y la City of London Corporation contrataron

a investigadores del King's College de Londres y la Universidad de Newcastle para cuantificar y analizar las emisiones de dióxido de nitrógeno de la flota vehicular con instrumentos nuevos y más precisos. Estudios previos sugirieron que las emisiones de dióxido de nitrógeno de

los vehículos diésel estaban aumentando (a pesar de la introducción de nuevos vehículos que cumplían con los estándares más altos de Euro) pero esos estudios no utilizaron instrumentos que podían medir dióxido de nitrógeno directamente, ni de manera confiable. Es importante monitorear las emisiones de dióxido de nitrógeno y distinguir entre el óxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno porque el dióxido de nitrógeno emitido directamente se comporta como un contaminante primario cerca de las carreteras.

El estudio de 2012 buscaba lograr lo siguiente: cuantificar las emisiones de óxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno; cuantificar la variación en las emisiones en la flota de vehículos urbanos por tipo (p.ej., automóvil, vehículos de mercancías livianas, vehículos pesados, autobuses y taxis), tipo de combustible, estándar del Euro, capacidad de motor y edad del vehículo; caracterizar las emisiones por condición de carretera; usar *remote sensing* para determinar la proporción de monóxido de nitrógeno en las columnas de escape; calcular factores de emisión para el Inventario Nacional de Emisiones Atmosféricas y otros inventarios.

Utilizando un sensor remoto nuevo que puede medir óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y amoníaco directamente con luz ultravioleta, el estudio acumuló 68,000 registros de vehículos válidos de 4 sitios en el centro y los suburbios de Londres. Fue la primera vez que dicho equipo se usó en el Reino Unido. Los sitios presentaban tráfico vehicular con un promedio de 30 a 50 millas por hora y gradientes con cuestas graduales ascendentes o descendentes. El estudio se llevó a cabo durante 26 días.

No todos los vehículos diésel han reducido significativamente sus emisiones de óxidos nítricos en las últimas dos décadas, aunque las proporciones relativas de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno variaron con el tiempo. Los automóviles diésel que supuestamente cumplían con la norma Euro 5 funcionaron a un nivel equivalente a vehículos de normas anteriores de Euro y presentaron emisiones promedio que solo fueron un 25% menos de los niveles máximos demostrados por los autos que cumplían con Euro 2/3. Los autobuses públicos que cuentan con sistemas selectivos de reducción catalítica no

presentaron emisiones apreciablemente menores durante la conducción urbana comparados con vehículos sin dicha tecnología. Los taxis fabricados antes de 2000 emitieron óxidos nítricos con aproximadamente el doble de la tasa de taxis fabricados después de 2000. Las emisiones de los vehículos pesados han disminuido en promedio en un 20% desde el Euro II, pero se mantuvieron estables entre el Euro III y el Euro V.

Para las emisiones de dióxido de nitrógeno, en los automóviles diésel aumentaron con respecto a la capacidad del motor para vehículos que cumplían con Euro 3-5. Los automóviles diésel con mayores capacidades de motor (>2.0 litros) emitieron más óxidos nítricos como el dióxido (entre 40% -60%) y los rendimientos de taxis fueron similar. Además, para los automóviles diésel, existieron diferencias consistentes en las emisiones de dióxido de nitrógeno en los automóviles Euro 4/5 por fabricante. Para los autobuses públicos, las emisiones dependieron de la tecnología de control de emisiones (p.ej., filtro de partículas diésel y sistemas de reducción catalítica selectiva) y del fabricante. Finalmente, se descubrió que todos los vehículos emitieron muy poco amoníaco.

El equipo concluyó que los nuevos resultados ofrecen una comprensión exhaustiva de los taxis de Londres que corrige investigaciones anteriores de 2008 y también que los nuevos equipos de medición son críticamente preferibles a los equipos más antiguos que solo mide monóxido de nitrógeno. Citando la facilidad de usar sensores remotos, y la velocidad con la que pueden medir emisiones de tecnología nueva o emergente, el equipo recomendó que el área metropolitana de Londres realice encuestas anuales de emisiones de vehículos, utilizando sensores remotos. Finalmente, al observar el rendimiento variable en todos los tipos de contaminantes medidos (incluso dentro de los modelos y la clase de motor) el equipo sugirió describir las emisiones en términos de combinaciones de tecnologías específicas utilizadas en lugar de descripciones amplias por clasificaciones Euro.

### III. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES REMOTOS EN PARAGUAY

La implementación de sensores remotos en Asunción, al ser integrada con políticas de transporte y de salud pública y cargas punitivas por emisiones, puede actuar como un incentivo para la renovación de flotas de buses, la actualización de datos de flotas y el establecimiento de nuevos parámetros de calidad del aire más efectivos. A continuación, se indican estos beneficios:

#### a. Renovación de la flota de transporte público

En Paraguay existió un programa de chatarrización con grandes logros entre el periodo 2013-2017, pero basados únicamente en criterios de la edad de los buses. Sin embargo, existen aún unidades de transporte público con rangos de edad no ubicados en el límite superior, pero que por cuestiones de uso y/o mantenimiento, presentan elevados grados de contaminación. La implementación de los sensores remotos como mecanismo de identificación de los buses a ser chatarrizados es una oportunidad para

la reducción final de las emisiones generadas por esta flota. A su vez, en caso de implementarse sanciones económicas por las altas emisiones (aplicados a vehículos particulares y/o del transporte público), podría contribuir a un fondo de renovación de flota, que subsidie la adquisición de nuevas unidades, que hasta el momento habían estado siendo financiadas con recursos genuinos del Estado Paraguayo (US\$30.000 por bus adquirido).

#### b. Actualización y homologación del inventario de buses de Asunción y Gran Asunción

La municipalidad de Asunción y el VMT, responsables de los servicios de transporte de Asunción y Gran Asunción respectivamente, cuentan con inventarios de los autobuses con datos diferentes y en algunos casos contradictorios en comparación a los inventarios mantenidos por los operadores y las empresas de transporte. Es necesario construir un solo inventario de buses que operan en Asunción y actualizarlos periódicamente, por lo tanto

y en ese sentido, los sensores remotos pueden ser una herramienta válida para realizar monitoreos regulares, de manera uniforme y periódica que permitan estimar las emisiones totales de los vehículos de transporte público y de vehículos particulares, para generar datos que contribuyan al desarrollo de políticas de control y permitan identificar potenciales autobuses a participar de programas de renovación de buses.

## c. Generación de Recursos para incentivos de participación en programas de modernización

Teniendo en cuenta las limitaciones antes mencionadas, los sensores remotos como herramienta de monitoreo y gestión podrían ayudar a identificar posibles infractores de la regulación y efectivizar el recaudo en concepto de multas

por parte del MADES. Estos recursos, previo acuerdo con el MOPC, serían elegibles como incentivo de contrapartida para la renovación de la flota de transporte público.

## d. Establecimiento de parámetros de Calidad del Aire acorde a la situación actual y metas alcanzables

El MADES entre sus funciones tiene la autoridad de establecer los estándares permisibles de contaminación del aire y la fijación de los límites de los contaminantes del aire y de la atmosfera. Los datos de emisión de los vehículos a ser recabados por los sensores remotos permitirán al MADES actualizar los parámetros de la calidad del aire y establecer parámetros admisibles más estrictos a corto, mediano y largo plazo. A su vez, estos garantizarán la prevención y protección de efectos posteriores que pudieran generar las actividades potencialmente contaminadoras del aire y el establecimiento de metas de reducción de emisiones contaminantes. Asimismo, estos datos permitirán identificar aquellos contaminantes móviles

que requieran de una inspección vehicular complementaria para determinar si infringen con la regulación de emisiones. Por su parte, la tecnología de *remote sensing* ayudaría a contar con mediciones reales de las emisiones de la flota de transporte público y establecer el grado de discrepancia de estas mediciones con aquellas tomadas en los centros de ITV- muchas de las compañías utilizan mejores combustibles durante sus inspecciones.

Una vez que el MADES cuente con nuevos datos de emisiones deberán generarse nuevas legislaciones que requieran a los municipios la medición y control de las emisiones de fuentes móviles.

## e. Control de emisiones a vehículos particulares y movilidad más sostenible

En caso de la extensión del sistema de *remote sensing* para el control de emisiones de vehículos particulares, se debe articular con otras medidas que promuevan movilidad sostenible y equitativa.

El control de emisiones a vehículos particulares resultaría en una mejora en el impacto en reducción de emisiones de un programa integral de control a través del *remote sensing*. Esta afirmación se sostiene sobre los resultados de un estudio realizado por la Universidad Católica de Asunción en 2014, en el cual se registraron altas emisiones de NO<sub>2</sub> y NO, de buses y vehículos livianos (Centro Mario Molina, 2014). Los resultados son significativos, dado que la edad

de vehículos livianos, especialmente una gran proporción de vehículos importados usados durante los años 2009 a 2015, representan aproximadamente el 60% de la flota importada (Última Hora 2016).

Al existir una política integral de transporte y movilidad, la medida de control servirá como uno de los incentivos para que el público reemplace su movilidad en automóviles por modos más sostenibles como el transporte público y modos activos para la última milla, antes que simplemente comprar vehículos más nuevos que no infrinjan las regulaciones de emisiones.



## IV. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL *REMOTE SENSING*

### a. Regulación e Incentivos

Para que un control de vehículos resulte en una mejora real del tipo de vehículos en circulación y reducción de los niveles de contaminantes del aire, el programa debe ser diseñado con un complemento de políticas públicas orientadas a la “restricción” o “desincentivo” del uso de vehículos con ciertas características, ya sea por su edad o nivel de emisiones. Por lo tanto, para lograr este objetivo es imperioso diseñar un programa de incentivos o multas a aquellos vehículos que no cumplen con la restricción.

La implementación de sensores debe ser acompañada por una regulación estricta en la importación de automóviles usados para no punir solamente a los usuarios y no a los importadores. Las autoridades deben proponer políticas integrales, y esto requiere nuevas normativas o cargas impositivas que regulen y limiten la oferta y compra de vehículos importados usados. Algunos ejemplos incluyen la prohibición de la importación de vehículos con cierto nivel de emisiones o con un determinado número de años o la obligatoriedad en obtener un seguro automotor que este asociado a las políticas públicas de reducción de emisiones.

### b. Impacto Social

La decisión de implementar un programa de control de emisiones ya sea a través del instrumento de *remote sensing* o similar, debe tener en cuenta el impacto directo que se generará sobre aquellas personas con menores recursos económicos o alternativas de movilidad para evitar la generación de una política de movilidad regresiva que restrinja la movilidad y accesibilidad de ciertos grupos.

Se estima que el segmento de población, que es dependiente de un vehículo usado con el que circula, se resultará afectado por la implementación de un programa de reducción de emisiones (ya sea por multas o costos asociados a sus vehículos), pudiendo esto afectar sus niveles de accesibilidad. Si bien muchos de ellos podrán optar por la movilidad en transporte público, aquellos que no están bajo el área de cobertura del sistema de transporte público recibirán un impacto mayor, con mayores costos para acceder a lugares de empleo, educación y salud. Algunos estudios demuestran que estos costos

incrementales pueden modificar otros gastos del hogar, como por ejemplo reducción de gastos en alimentación, con tal de poder alcanzar una alternativa de movilidad “accesible” (Denne, et al. 2005) .

Actualmente, los vehículos usados importados constituyen una alternativa viable para los estratos sociales medios y más bajos como respuesta a un transporte público inadecuado y, por ende, políticas que limiten la movilidad privada en estos vehículos deben ir acompañadas de mejoras en los servicios de transporte público y en la provisión de infraestructura multimodal que conecte a los ciudadanos a estos servicios. Al mismo tiempo, deben implementarse de forma paralela políticas de desarrollo urbano que promuevan la provisión de viviendas en densidad para los sectores de ingresos más bajos en zonas comerciales y con amplios servicios de modo a reducir la dependencia en viajes largos y motorizados.

## c. Inversiones en transporte público

La implementación de sensores remotos en vehículos particulares debe ser planificada previamente con un plan de mejoras en el transporte público e infraestructura multimodal de modo a generar una alternativa eficiente de movilidad, no reducir los niveles actuales de accesibilidad en la ciudad y reducir la oposición pública.

El éxito de la implementación de sensores remotos en mejorar la calidad del aire depende de la articulación de varias políticas públicas que lleven a la transición de una flota de transporte nueva, a un crecimiento en el número de usuarios de transporte público y a una reducción en el

número de personas que optan por comprar automóviles (incluyendo la alternativa de vehículos nuevos). Esta articulación de políticas deberían estar consensuadas dentro de un plan metropolitano de movilidad para el Área Metropolitana de Asunción (AMA) que defina las inversiones en infraestructura y herramientas de gestión de transporte público y tráfico, y que al mismo tiempo establezca las reformas institucionales y el marco normativo necesario para asegurar la coordinación entre entidades nacionales (Viceministerio de Transporte, Agencia Nacional de Tráfico y Seguridad Vial) y los múltiples municipios del AMA.

# V. OPORTUNIDAD Y LIMITACIÓN DENTRO DEL CONTEXTO POLÍTICO Y JURISDICCIONAL

La renovación parcial (de casi 37%) de la flota de transporte y la incorporación de 685 buses 0 km con el apoyo del gobierno nacional entre 2014 y 2017 han dejado un menor número de buses antiguos. Esta reducción en el número de vehículos antiguos y el apoyo del estado en la compra de vehículos nuevos presenta una oportunidad para un mecanismo de control de emisiones, ya que también reduce el grado de oposición que el sector privado podría tener hacia controles y cargas impositivas. Al tener una parte reducida de su flota expuesta a esta medida y contar con recursos para la adquisición de nuevos vehículos, los operadores de transporte no tienen que cargar con un gasto tan alto. La eventual extensión de multas a vehículos particulares también podría ser implementada con el establecimiento de un fondo receptor, de esas mismas multas, que asista a la provisión de subsidios para renovación de flota.

Con lo relacionado al aspecto Jurisdiccional, es necesario reconocer que las legislaciones actuales limitan el potencial alcance de medidas de control de emisiones. De acuerdo con las normativas actuales, el municipio de Asunción solamente estaría habilitado a inspeccionar buses municipales y no a aquellos intermunicipales que transitan por sus calles. A su vez, el Viceministerio de Transporte, por medio de su Dirección Metropolitana de Transporte, solamente regula a las empresas metropolitanas que transitan por múltiples municipios del Área Metropolitana de Asunción pero no así sobre las empresas permisionarias municipales.

Esta multiplicidad de actores y descentralización de la regulación del transporte en un mismo territorio requiere reformas y un marco normativo e institucional nuevo que permitan que una misma institución pueda actuar como la autoridad de aplicación tanto sobre líneas municipales como metropolitanas en cuanto a emisiones.



## VI. RECOMENDACIONES

### a. Definición de una estrategia de implementación

Se recomienda definir una estrategia de implementación que incluya una etapa de análisis, instalación, calibración, monitoreo, divulgación y finalmente la aplicación de sanciones.

El proceso de implementación de los sensores remotos debe ser precedido por un análisis que determine los corredores específicos donde los sistemas serían instalados. El propósito de la instalación del sistema como una medida para incentivar la chatarrización, por medio del control y punición de emisiones, requiere de un análisis que determine como la localización de las instalaciones aseguraría el éxito del propósito inicial. La instalación de sensores en corredores claves asegurará el mayor retorno a la inversión, al incentivar al mayor número de líneas con flotas antiguas a renovarlas.

Algunos de los factores a considerar en un análisis previo a la instalación deberían ser la tipología y edad de vehículos por línea, correlaciones de emisiones con edad y tipo de vehículo, determinación de corredores de líneas con mayor número de vehículos antiguos/chatarras, e identificación de

corredores con altos niveles de contaminación.

En caso de que, a largo plazo, se tenga una visión de extender el control de emisiones a vehículos particulares, se deberían considerar los efectos que los sensores remotos podrían tener como medida de control de congestión: aquellos vehículos que quieran evadir una inspección de emisión adicional probablemente eviten transitar por aquellos corredores que cuenten con sensores remotos.

La implementación deberá contar con un periodo de calibración y monitoreo que aseguren funcionamiento correcto del sistema y provea de la información necesaria para establecer niveles máximos de emisión- de forma a no estipular niveles demasiado estrictos. Este periodo también serviría para calibrar discrepancias en el sistema de *remote sensing* con mediciones alternativas. Antecediendo a la aplicación de sanciones, se deben definir y hacer públicos los nuevos niveles máximos de emisiones, y en conjunto con las concesionarias, coordinar inspecciones antes del uso del sistema como un mecanismo de control.

### b. Promover la instalación de sensores remotos dentro de un marco legal de reducción de contaminantes del aire como una política de salud pública

Se identifican como principales instituciones capaces de implementar este tipo de sistemas el MADES, la Municipalidad de Asunción, y el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) a través del Viceministerio de Transporte (VMT), como autoridades competentes en el área de calidad del aire y transporte público respectivamente. Sin embargo, de modo a justificar

esta inversión, es necesario abarcar este proyecto de manera multidisciplinaria y plantearlo como una política de salud pública, involucrando a otras entidades como el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social o miembros de la academia en el proceso de implementación y divulgación del proyecto.

El involucrar a la academia y a otras entidades (ej. Ministerio de Salud y Bienestar Social) contribuirá a la aprobación pública de las nuevas regulaciones al divulgar los potenciales beneficios que los límites específicos, control y reducción de contaminantes en el aire tendrían en la salud y calidad de vida de los residentes del área metropolitana de Asunción.

A la vez, se deberían cuantificar los impactos económicos positivos resultantes de la mejora en la calidad del aire que permitan una evaluación de la implementación de tal política. Se deben incluir a estas entidades del área de la salud en la generación de métodos de monitoreo de casos de problemas cardio-respiratorios o relacionados a la exposición a contaminantes derivados de los procesos de combustión de los vehículos.

### c. Crear una red de evaluación de emisiones con las entidades encargadas del ITV para la obtención de un inventario de las emisiones de los vehículos en la comuna Asuncena

El municipio de Asunción cuenta con dos concesionarias de servicios de ITV que son condicionales para la expedición y renovación de habilitaciones de vehículos de transporte público municipal. Estas entidades están encargadas de detectar el nivel de emisión de gases, sin embargo, su único standard de emisión actual es el de la opacidad de las emisiones- las legislaciones existentes no requieren mediciones adicionales. Antecediendo a la instalación de los sensores remotos, por medio de una cooperación entre las instituciones implementando el sistema (el MADES, y la Municipalidad de Asunción) y las

concesionarias, se deberían iniciar mediciones adicionales que proporcionen un inventario de las emisiones de los vehículos de la comuna asuncena. La centralización del servicio de ITV en Asunción facilita la implementación de un sistema de medición de emisiones y recolección de datos estandarizado. Estos datos servirían para entender como las emisiones se relacionan con los diferentes tipos y edad de los vehículos. Mas adelante, esta base de datos centralizada seria complementaria a aquellos datos recabados por la tecnología de *remote sensing*.

# REFERENCIAS

---

- Adam, Fabiola E., Claudia Florentín, Mabel Noguera, y Alberto Grissetti. 2013. Diagnóstico de la contaminación del aire por óxidos de nitrógeno en la ciudad de Asunción. Asunción: Departamento de Ingeniería Civil, Industrial y Ambiental-Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”. [https://www.researchgate.net/publication/289994180\\_Diagnostico\\_de\\_la\\_contaminacion\\_del\\_aire\\_por\\_oxidos\\_de\\_nitrogeno\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Asuncion](https://www.researchgate.net/publication/289994180_Diagnostico_de_la_contaminacion_del_aire_por_oxidos_de_nitrogeno_en_la_ciudad_de_Asuncion)
- Aguilar-Gómez, José Andrés, Verónica Garibay-Bravo, Guadalupe Tzintzun-Cervantes, Ivonne Cruz-Jimate, and Georgina Echániz-Pellicer. 2009. “Mobile Source Emission Estimates Using Remote Sensing Data from Mexican Cities.” In 18th International Emission Inventory Conference, US Environmental Protection Agency: Baltimore, MD. Citeseer.
- Arden Pope III, C., y Douglas W. Dockery. 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that Connect. Journal of the Air & Waste Management Association. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Auckland Regional Council. (2006). Auckland air emissions inventory: 2004. In Auckland: Technical Publication (Vol. 292). [http://www.aucklandcity.govt.nz/council/documents/technicalpublications/TP292\\_Auckland\\_Air\\_Emissions\\_Inventory\\_2004.pdf](http://www.aucklandcity.govt.nz/council/documents/technicalpublications/TP292_Auckland_Air_Emissions_Inventory_2004.pdf)
- Bishop, Gary A. 2018. “On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Tulsa Area: Fall 2017.” Denver. [http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Oklahoma/CRC-123\\_Tulsa\\_2017\\_Final\\_report.pdf](http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Oklahoma/CRC-123_Tulsa_2017_Final_report.pdf)
- Bishop, Gary A., Daniel A. Burgard, and Donald H. Stedman. 2005. “On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Omaha Area: Year 2, September 2004.” Denver. [http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Nebraska/Omaha\\_report\\_year\\_2\\_CRC2004.pdf](http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Nebraska/Omaha_report_year_2_CRC2004.pdf)
- Bishop, Gary A., and Molly J. Haugen. 2017. “On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Chicago Area: Fall 2016.” Denver. [http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Illinois/Arhghts/Chicago\\_Year\\_9\\_CRC2016.pdf](http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Illinois/Arhghts/Chicago_Year_9_CRC2016.pdf)
- Bishop, Gary A., Ryan Stadtmuller, and Donald H. Stedman. 2007. “On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Phoenix Area: Year 6, November 2006.” Denver. [http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Ariz/Phoenix/Phoenix\\_report\\_year\\_6\\_CRC2006.pdf](http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Ariz/Phoenix/Phoenix_report_year_6_CRC2006.pdf)
- Bishop, Gary A., and Donald H. Stedman. 2014. “On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Denver Area: Winter 2013.” Denver. 2016. “Measuring Real-World Emissions from the On-Road Passenger Fleet.” Denver. [http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Cal/Univ\\_Denver\\_ARB\\_12\\_303\\_Final\\_report\\_2016.pdf](http://www.feat.biochem.du.edu/assets/databases/Cal/Univ_Denver_ARB_12_303_Final_report_2016.pdf)
- Bishop, Gary A., Donald H. Stedman, Julián de la Garza Castro, and Francisco J. Dávalos. 1997. “On-Road Remote Sensing of Vehicle Emissions in Mexico.” Environmental Science & Technology 31 (12): 3505-10. <https://doi.org/10.1021/es9702475>
- Bluett, J., G. Kuschel, S. Xie, M. Unwin, y J. Metcalfe. 2013. «The development, use and value of a long-term on-road vehicle emission database in New Zealand.» Air quality and climate change. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-development%2C-use-and-value-of-a-long-term-in-Bluett-Kuschel/d03e4f7a1e1762313fe147e85da18916215d0f71>
- Bluett, Jeff, Gerda Kuschel, and Martin Unwin. 2010. “Auckland Vehicle Emission Measurements : Light and Heavy Duty Diesel Vehicles.” Auckland: Auckland Regional Council. <https://www.nzta.govt.nz/assets/Highways-Information-Portal/Technical-disciplines/Air-and-climate/Monitoring/Remote-sensing/AucklandCouncil-TR2010-063-Light-and-heavy-duty-diesel-vehicle-emissions.pdf>
- Borken-Kleefeld, Jens. 2013. Guidance note about on-road vehicle emissions remote sensing. Vienna: International Council on Clean Transportation. [https://www.researchgate.net/publication/259952256\\_Guidance\\_note\\_about\\_on-road\\_vehicle\\_emissions\\_remote\\_sensing](https://www.researchgate.net/publication/259952256_Guidance_note_about_on-road_vehicle_emissions_remote_sensing)
- Borken-Kleefeld, Jens, and Tim Dallmann. 2018. Remote sensing of motor vehicle exhaust emissions. Washington: The International Council on Clean Transportation. [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Remote-sensing-emissions\\_ICCT-White-Paper\\_01022018\\_vF\\_rev.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Remote-sensing-emissions_ICCT-White-Paper_01022018_vF_rev.pdf)

- Carslaw, David, and Max Priestman. 2015. "Analysis of the 2013 Vehicle Emission Remote Sensing Campaigns Data." London. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/1511251131\\_Analysis\\_of\\_the\\_2013\\_vehicle\\_emission\\_remote\\_sensing\\_campaigns\\_data.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/1511251131_Analysis_of_the_2013_vehicle_emission_remote_sensing_campaigns_data.pdf)
- Carslaw, David, and Glyn Rhys-Tyler. 2013. "Remote Sensing of NO<sub>2</sub> Exhaust Emissions from Road Vehicles." A Report to the City of London Corporation and London Borough of Ealing, Version 16th July.
- Centro Mario Molina. 2011. Definition for the Protocol Test and Permissible Emission Values for Gasoline and Diesel Circulating Vehicles Through the Use of Remote Measuring Systems. [http://centromariomolina.org/english2/wp-content/uploads/2013/03/23a.DefiniciónProtocoloPruebaVehículosGasolinadieselUsoSistemasmediciónDistancia\\_english\\_fin.docx](http://centromariomolina.org/english2/wp-content/uploads/2013/03/23a.DefiniciónProtocoloPruebaVehículosGasolinadieselUsoSistemasmediciónDistancia_english_fin.docx)
- Centro Mario Molina. 2011. Plan de Acción para combustibles y vehículos más limpios en Paraguay. United Nations Environment Programme. [https://www.paho.org/par/index.php?option=com\\_docman&view=download&category\\_slug=ambiente-y-desarrollo&alias=268-plan-de-accion-para-combustibles-y-vehiculos-mas-limpios&Itemid=253](https://www.paho.org/par/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=ambiente-y-desarrollo&alias=268-plan-de-accion-para-combustibles-y-vehiculos-mas-limpios&Itemid=253)
- Centro Mario Molina. 2014. «Diagnóstico de Contaminación Atmosférica en Asunción y Recomendaciones para la Gestión De Calidad Del Aire.»
- Centro Mario Molina. 2016. Improving air quality in the Valley of Mexico is urgent and represents an enormous challenge for society. [http://centromariomolina.org/english2/wp-content/uploads/2016/03/PP-Calidad-del-Aire\\_29Feb2016\\_eng.docx](http://centromariomolina.org/english2/wp-content/uploads/2016/03/PP-Calidad-del-Aire_29Feb2016_eng.docx)
- Denne, Tim, Fraser Colegrave, Shane Vuletich, Gavin Fisher, y Mike O'Brien. 2005. Vehicle Fleet Emission Screening Programme: Social and Economic Impact Assessment. Auckland: COVEC . <https://www.transport.govt.nz/assets/Uploads/Report/emissions-soc-eco-impact-phase1-rpt.pdf>
- ESP. 2004. "Sri Lanka Remote Sensing Survey Report." Tuscon.
- ETEST Corp. 2018. "About RAPIDPASS." RAPIDPASS Virginia. 2018. <https://rapidpassvirginia.com/VaPublic/Home/About>
- International Council on Clean Transportation. 2018. Final Second-Phase Greenhouse Gas Emissions Standards for Heavy-Duty Engines and Vehicles in Canada. International Council on Clean Transportation. [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ECCC\\_Phase2\\_hdv\\_standard\\_20181109.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ECCC_Phase2_hdv_standard_20181109.pdf)
- Investigación para el Desarrollo. 2019. Producto 5- Consultoría para el desarrollo de borradores de regulaciones de emisiones de vehículos usados y protocolos de chatarización de buses. Consultoría, Asunción, Paraguay: Proyecto Asunción Ciudad Verde de las Américas- Vías a la Sustentabilidad.
- Jiménez, José L., Peter McClintock, David D. Nelson, y Mark S. Zahniser. 1999. «Vehicle Specific Power: A Useful Parameter for Remote Sensing and Emission Studies.» CRC On-Road Vehicle Emissions Workshop. San Diego. [http://cires1.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez\\_VSP\\_9thCRC\\_99\\_final.pdf](http://cires1.colorado.edu/jimenez/Papers/Jimenez_VSP_9thCRC_99_final.pdf)
- McClintock, Peter M. 2015. "The Colorado Remote Sensing Program January–December 2014." The Colorado Department of Public Health and Environment.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. 2014. «OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica.»
- Pan American Health Organization. 25 de 04. [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=En%20el%20caso%20de%20la,la%20del%20aire%20de%20interiores](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=135&lang=es#:~:text=En%20el%20caso%20de%20la,la%20del%20aire%20de%20interiores)
- Osses, M. (2003). Modelo de Emisiones Vehiculares - MODEM. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile.
- Pokharel, Sajal S., Gary A. Bishop, and Donald H. Stedman. 2002. "On-Road Remote Sensing of Automobile Emissions in the Los Angeles Area: Year 3 (Riverside)." Denver
- Posada, Francisco, David Vance Wagner, Gaurav Bansal, and Rocio Fernandez. 2015. Survey of best practices in reducing emissions through vehicle replacement programs. Washington: The International Council on Clean Transportation (ICCT). [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_HDVreplacement\\_bestprac\\_20150302.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_HDVreplacement_bestprac_20150302.pdf)

- Pujadas, Manuel, Aida Domínguez-Sáez, and Josefina De la Fuente. 2017. "Real-Driving Emissions of Circulating Spanish Car Fleet in 2015 Using RSD Technology." *Science of The Total Environment* 576: 193-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.049>
- Rivas, Maria Eugenia, Ancor Suárez-Alemán, and Tomás Serebrisky. 2019. Stylized Urban Transportation Facts in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, 14. <https://publications.iadb.org/en/stylized-urban-transportation-facts-latin-america-and-caribbean>
- Rojas Bracho, Leonora, Verónica Garibay Bravo, José Andrés Aguilar Gómez, Laura Elizabeth Ramos Canillas, y Guadalupe Tzintzun Cervantes. 2010. Estudio de emisiones y actividad vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey, N.L. Coyoacán: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - INECC. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195221/2010\\_CGCSA\\_RSD\\_Monterrey.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195221/2010_CGCSA_RSD_Monterrey.pdf)
- Romieu, I., Weitzenfeld, H., & Finkelman, J. 1990. Urban air pollution in Latin America and the Caribbean: health perspectives. *World health statistics quarterly. Rapport trimestriel de statistiques sanitaires mondiales*, 43(3), 153-167.
- Schifter, Isaac, Luis Díaz, R Rodríguez, J Durán, and O Chávez. 2007. "Trends in Exhaust Emissions from In-Use Mexico City Vehicles, 2000--2006. A Remote Sensing Study." *Environmental Monitoring and Assessment* 137 (1): 459. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9781-4>
- Secretaría de Gobernación de México, 2016. NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, (2016). [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440157&fecha=07/06/2016)
- Secretaría de Gobernación de México 2017. NORMA Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017, (2017). [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5496105&fecha=05/09/2017)
- Secretaría de Planificación de Transportes. (2015). Análisis y Desarrollo de Factores de Deterioro y Caracterización de las Emisiones de la Flota mediante el Sistema Remote Sensing Devices (RSD) - Informe Final. <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=3378>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno de México. (2016). Opera Semarnat sensores remotos en el valle de México para detectar vehículos altamente contaminantes. Gob.Mx. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/opera-semarnat-sensores-remotos-en-el-valle-de-mexico-para-detectar-vehiculos-altamente-contaminantes>
- Sjödin, Åke. 1994. "On-Road Emission Performance of Late-Model TWC-Cars as Measured by Remote Sensing." *Air & Waste* 44 (4): 397-404. <https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467261>
- St.Denis, M., and J. Roeschen. 2012. "Evaporative Emissions Reductions Using Remote Sensing" presented at the I/M Solutions, May 20, Sacramento/California, USA.
- Stedman, Donald H., Yi Zhang, Gary A. Bishop, Stuart P. Beaton, and Paul L. Guenther. 1994. "On-Road Carbon Monoxide and Hydrocarbon Remote Sensing in the Chicago Area in 1992." Final Report to American Petroleum Institute.
- Tietge, Uwe, Nikiforos Zacharof, Peter Mock, Vicente Franco, John German, Anup Bandivadekar, Norbert Ligterink, and Udo Lambrecht. 2015. From Laboratory to Road: A 2015 update of official and "real-world" fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe. Berlin: International Council on Clean Transportation Europe. [https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_LaboratoryToRoad\\_2015\\_Report\\_English.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2015_Report_English.pdf)
- Última Hora. 2016. «Vehículos usados acaparan el 60% de la importación.» *Última Hora*, 16 de Abril. <https://www.ultimahora.com/vehiculos-usados-acaparan-el-60-la-importacion-n983677.html>
- Viceministerio de Transporte, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de la República del Paraguay. Diciembre 2017.
- Virginia Department of Environmental Quality. n.d. "On-Road Emissions Program FAQ." Accessed July 7, 2018. <https://www.deq.virginia.gov/Programs/AirCheckVirginia/ForMotoristsVehicleOwners/OnRoadEmissionsProgramFAQ.aspx>
- Zhang, Yi, Donald H. Stedman, Gary A. Bishop, Paul L. Guenther, Stuart P. Beaton, and James E. Peterson. 1993. "On-Road Hydrocarbon Remote Sensing in the Denver Area." *Environmental Science & Technology* 27 (9): 1885-91. <https://doi.org/10.1021/es00046a018>

