

PLAN DECENAL DE DESCONTAMINACIÓN DE BOGOTÁ

ANEXOS PARTE B

ANEXOS SECCIÓN 1

ANEXO 1.1. Planes de descontaminación o sus equivalentes internacionales.

Tabla 1. Renovación de la flota vehicular del sector transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Renovación de los vehículos de transporte de pasajeros de baja capacidad.	Reducción de emisiones: 27% HC 24% NO _x 39% PM ₁₀	US\$800 millones, 10% financiado por el sector público y 90% por el sector privado.	Renovación de concesión solo a propietarios que sustituyan taxis actuales por vehículos nuevos.	10 años (2001-2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de satisfacción de especificaciones establecidas por la Secretaria de Transporte y Vialidad. - Cumplimiento de límites de emisión mexicanos vigentes.
	Sustitución de transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad.	Reducción de emisiones: 4% HC 24% NO _x 71% PM ₁₀	US\$744 millones 98% financiados por el sector privado y 2% financiados por el sector público.	<ul style="list-style-type: none"> - Programa de sustitución de microbuses por autobuses del Gobierno Distrital Federal. - Medidas de reordenamiento del transporte. 	6 años (2001-2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de microbuses sustituidos. - Pruebas de satisfacción de especificaciones de homologación establecidas por la Secretaria de Transporte y Vialidad. - Cumplimiento de límites de emisión mexicanos vigentes.
	Evaluación de la eficiencia de introducción y sustitución de buses con vehículos híbridos.	Reducción de emisiones: 96% de HC, CO, NO _x , PM ₁₀ , y SO ₂ respecto a las emisiones de los microbuses a gasolina.	US\$195 - 475 millones.	Determinación de un corredor para transporte con diferentes tecnologías y combustibles.	9 años (2002-2010)	Evaluación de eficiencia por parte de la Secretaria de Transporte y Vialidad.
	Renovación de autobuses de la RTP ¹ y STE ² .	Reducción de emisiones: 88% NO _x 94% HC 88% PM ₁₀	\$124 millones de pesos mexicanos.	<ul style="list-style-type: none"> - Calendario de sustitución y destrucción de vehículos removidos. - Asignación de nuevas concesiones y mejoramiento integral del servicio. 	4 años (2001-2004)	--

¹ RTP = Red de Transporte de Pasajeros

² STE = Servicio de Transportes Eléctricos

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
Madrid	Renovación intensiva de la flota de EMT ³ .	Reducción de emisiones: 20% NO _x 50% PT 80% CO CO ₂ , COVNM ⁴ y metales pesados.	€161 millones.	Vehículos adaptados a norma EURO.	5 años (2006-2010)	Consortio Regional de Transportes de la Comunidad de Madrid realiza seguimiento mediante cuantificación de número de líneas, paradas por línea, kilómetros abarcados por la red y plazas de autobús disponibles por línea.
Santiago de Chile	Metas de emisiones para licitación de recorridos.	Reducción de emisiones: 8.2% PM ₁₀ 12.28% NO _x 4.4% SO _x 9.9% CO 5.5% COV	US\$ 220,258,917 Si todos los buses con tecnología no certificada son reemplazados por similares a gas natural.	- Incentivos al uso del gas natural. - Cumplimiento de norma chilena NCh2538/Of.2001.	15 años (1997-2011)	Cumplimiento de metas de emisión proporcionadas por MTT ⁵ .
USA	Utilización de vehículos híbridos.	Reducción en emisiones: 71% NO _x 90% PM	US\$ 34,000-166,000 por vehículo.	Reemplazo de los buses diesel por buses híbridos.		

³ EMT = Empresa Municipal de Transportes de Madrid

⁴ COVNM = Compuestos Orgánicos Volátiles no Metálicos

⁵ MTT = Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones

Tabla 2. Mejoramiento del combustible utilizado por los vehículos de sector de transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Disminución de contenido de azufre en diesel hasta 30 ppm.	Introducción de tecnología avanzada de control de emisiones.	US\$1,500 millones.	Establecimiento de norma más estricta.	9 años (2002-2010)	
	Introducción de vehículos eléctricos.	Reducción de emisiones: 100% en todos los contaminantes de efecto local.	100% inversión del sector privado.	<ul style="list-style-type: none"> - Programa para la introducción de vehículos eléctricos. - Establecimiento de normas de control de emisión más estrictas y desarrollo de incentivos para la introducción. 	9 años (2002-2010)	Proyectos demostrativos a cargo de Instituto de ingeniería de la UNAM y fabricantes nacionales y desarrolladores de baterías.
Madrid	Fomento del empleo de combustibles más respetuosos con el medio ambiente.	Reducción de emisiones por GNC: 80% NO _x 88% HC 70% CO	€2'965,000 + €4'460,000 en estaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Ventajas fiscales para los usuarios de biocarburantes. - Campañas de concientización. - Creación de estaciones de servicio de combustibles alternativos. 	5 años (2006-2010)	Cambios en el consumo de combustibles poco contaminantes.
Santiago de Chile	Nuevo calendario de normas petróleo diesel.	Reducción de emisiones: 0.62% PM ₁₀ 17.82% SO _x	US\$63'181,948.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio realizado por CONAMA⁶, para mejora de calidad de combustible en contenido de azufre y número de cetano. - Modificación de DS 456/97 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 	3 años (1997-1999)	CONAMA.
USA	Modificación de parámetros en el diésel: densidad, índice de cetano, contenido de monoaromáticos y poliaromáticos.	Reducción de emisiones: 8.4% HC 8.4% NO _x .		Créditos a manufactureros.	8 años (1997-2004)	Sistemas de diagnóstico a bordo.
USA	Introducción del metanol como combustible.	Reducción de emisiones: 66% NO _x .	US\$ 123,353 por vehículo.			Test de dinamómetro de la Universidad de West Virginia.

⁶CONAMA = Comisión Nacional del Medio Ambiente

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
USA	Uso de GNC como combustible.	Reducción en emisiones: 87% PM 71% NO _x .	US\$ 85,000-1380,000 por vehículo.	Reemplazo de la flota de buses diesel por buses a GNC.		
Reino Unido	Diésel con menor cantidad de azufre (50ppm).	Reducción de emisiones: 96% SO ₂ 84% benceno.	Incremento de 2.5p/l en diesel. £7,812 millones.	- Instrumentos económicos. - Lograda en 3 fases (1996, 2000,2005).	10 años (1996-2005)	Estándar BS EN 590:1993.

Tabla 3. Tecnologías de control de emisiones para vehículos del sector de transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Sustitución de motores y trenes motrices, y retro adaptación de sistemas de control de emisiones.	Alcanzar niveles establecidos en norma EPA.	--	Evaluación de viabilidad técnica y económica.	9 años (2002-2010)	--
Madrid	Fomento del uso de sistemas de control de emisiones y minimización de gases de escape.	Reducción de emisión de NO _x , PS y CO.	€412,600.	Modificación de la normativa de determinación de límites de emisión.	--	- Protocolo de aprobación de las tecnologías admisibles por Ayuntamiento de Madrid. - Procedimiento voluntario de certificación de emisiones, controles obligatorios.

Tabla 4. Reconversión tecnológica de los vehículos del sector de transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Uso de combustibles alternativos (GNC y GLP ⁷).	Reducción de emisiones por cada vehículo convertido a GNC: 87% HC 99% CO 37% NO _x	--	<ul style="list-style-type: none"> - Promoción de los beneficios de la conversión. - Otorgamiento de financiamiento y beneficios fiscales. - Expansión de la red de estaciones de recarga de GNC. 	9 años (2002-2010)	Acuerdo para verificar conversiones y asegurar funcionamiento óptimo.
Madrid	Introducción de tecnologías y combustibles limpios en taxis (GNC y GLP).	Reducción de emisiones de NO _x , PS, CO, CO ₂ , COVNM y metales pesados.	€4.5 millones.	<ul style="list-style-type: none"> - Descuento en el pago anual del impuesto sobre vehículos de tracción mecánica. - Reducción en consumo de combustible. 	5 años (2006-2010)	Número de taxis que cumplen con normas EURO.
USA	Implementación de tecnologías avanzadas de recirculación del gas de escape.	Reducción de emisiones: 50% NO _x .	US\$ 242 millones en 2004.	<ul style="list-style-type: none"> - Créditos a fabricantes. - Mejora del desempeño del motor y eficiencia del combustible. 	8 años (1997-2004)	Sistemas de diagnóstico a bordo.
USA	Implementación de kits de reducción de emisiones de PM.	Reducción en emisiones: 25% PM (kit de reducción del 25%) 55 – 75% PM (kit de reducción completa).	Kit de reducción del 25%: US\$2,172. Kit de reducción completa: US\$8,625.	Conocimiento del modelo y tipo de motor.		<ul style="list-style-type: none"> • Enmienda del Acta del Aire Limpio (CAA) de 1990. • Certificación de fabricantes.

⁷ GLP = Gas Licuado de Petróleo

Tabla 5. Mejoramiento de la infraestructura del sector transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Establecimiento de red de trenes suburbanos.	Reducción de emisiones: 60% HC 43% CO 66% NO _x 83%PM ₁₀	US\$15 millones/km línea.	Uso de derechos de vía.	9 años (2002-2010)	Estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros.
	Ampliación de red de trolebuses y tren ligero.	--	\$14,164 millones de pesos mexicanos.	Consolidación de corredores de transporte.		
Madrid	Ampliación y mejora de la red de carriles bus.	Reducción de uso de transporte privado y con esto reducción de emisiones de NO _x , CO ₂ , PS, metales pesados y CO.	€1.6 millones.	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas de control del tráfico de vehículos privados. - Cumplimiento de normas de circulación y aparcamiento. 	5 años (2006-2010)	Medición de velocidad de la flota de autobuses, kilómetros de carriles bus construidos.

Tabla 6. Optimización de la operación de los vehículos de la flota del sector de transporte público - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Establecimiento de corredores de transporte; integración con el sistema metro.	Aumento de uso del transporte público.	--	Estudios de eficiencia económica y ambiental para selección de corredores.	9 años (2002-2010)	Estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros.
	Expansión del metro.	Reducción de emisiones : 60% HC 43% CO 66% NO _x 83% PM ₁₀	--	Programa operativo de construcción.	18 años (2002-2020)	
	Localización de taxis en bases.	Reducción de emisiones: 87% HC 34% CO 0.01% NO _x 0.001% PM ₁₀	\$130 millones de pesos mexicanos.	- Identificación de tramos factibles. - Normas para operación de las bases.	3 años (2002-2004)	
Madrid	Mejora del metro.	Reducción en CO ₂ , NO _x , CO, COVNM, PS y metales pesados.	--	Estudios de viabilidad en zonas que carecen de acceso a este servicio.	2 años (2006-2007)	Cuantificación de kilómetros de metro y accesibilidad de la población a la red.
	Mejora del servicio de tren de cercanías.	Reducción en CO ₂ , NO _x , CO, COVNM, PS y metales pesados.	--	Creación de nuevas líneas de ferrocarril a cargo del Ministerio de Fomento.	5 años (2006-2010)	Cuantificación de kilómetros de red, emisiones por pasajero/kilometro, emisiones por vehículo/kilometro.
	Extensión del carril BUS-VAO.	Reducción de emisiones en 6 años ⁸ : 35% PM 32% NO _x 9% CO CO ₂ , COVNM y metales pesados.	--	Estudios de ampliación del sistema realizados por el Ayuntamiento de Madrid.		Ministerio de Fomento y Dirección General de Carreteras de la Comunidad Autónoma de Madrid encargadas de conservación y mantenimiento de vías de la ciudad.

⁸ Porcentajes calculados a partir del promedio de porcentajes de reducción para diferentes tipos de vehículos de servicio público (Ver Estrategia local de la Calidad del Aire de la ciudad de Madrid)

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
Santiago de Chile	Política de taxis básicos y colectivos.	Reducción de emisiones: 1.51% PM ₁₀ 1.08% NO _x 0.35% SO _x 2.6% CO 1.81% COV	US\$23'772,957.	Estudios de CONAMA de evaluación de impactos en calidad de aire de la implementación de la política.	15 años (1997-2011)	Lineamientos de la política formulada por MTT y cumplimiento de metas de reducción de emisiones.

Tabla 7. Renovación de la flota del sector transporte privado - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Incorporación de vehículos nuevos a gasolina con nuevas tecnologías.	Reducción de emisiones: 83% NO _x 97% HC 99% CO 67% PM ₁₀	US\$340 millones.	Establecimiento de límites de emisión más estrictos.	8 años (2002-2010)	Sistemas de diagnóstico a bordo.
	Introducción de vehículos eléctricos.	Reducción de emisiones: 100% en todos los contaminantes de efecto local.	100% inversión del sector privado.	- Programa para la Introducción de de vehículos eléctricos. - Establecimiento de normas de control de emisión más estrictas y desarrollo de incentivos para la introducción.		Proyectos demostrativos a cargo de Instituto de ingeniería de la UNAM, fabricantes nacionales y desarrolladores de baterías.
	Eliminación de vehículos antiguos (modelo 1990 y anteriores).	Reducción de emisiones: 92% NO _x 93% HC 88% PM ₁₀ 91% CO	US\$4 mil millones.	Mecanismo de compensación indirecta de emisiones.		Retiro de vehículos de 4% anual.
Madrid	Sustitución de vehículos contaminantes.	Reducción de emisiones: NO _x , PS, CO, CO ₂ , COVNM y metales pesados.	€1.5 millones.	Descuentos en adquisición de vehículos nuevos.	3 años (2008-2010)	--
Santiago de Chile	Renovación del parque de vehículos estatales.	Reducción de emisiones: 0.02% PM ₁₀ 0.33% NO _x 0.01% SO _x 0.98% CO 0.46% COV	US\$10'625,933.	Adquisición de ambulancias, automóviles de servicios, entre otros, que cumplan con los decretos del MTT.	--	Cumplimiento de DS 211/91, DS 54/94, y DS 55/94 del MTT.
	Control homologación de modelos de vehículos importados.	Reducción de emisiones: 2.22% NO _x 0.01% SO _x 2.69% CO 1.39% COV PM	US\$2'128,275.	Sistema de información de calidad de los vehículos.	3 años (1997-1999)	Cumplimiento del DS 54/91 del MTT.

Tabla 8. Mejoramiento del combustible utilizado en el sector de transporte privado – Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Disminución de contenido de azufre en gasolina (50ppm).	Reducción de emisiones: 21-27% HC, NO _x y CO.	US\$3,000 millones.	Establecimiento de norma más estricta.	9 años (2002-2010)	--
Madrid	Fomento del empleo de combustibles más respetuosos con el medio ambiente.	Reducción en emisiones generadas por GNC: 80% NO _x 88% HC 70% CO	€2'965,000 + €4'460,000 en estaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Ventajas fiscales para los usuarios de biocarburantes. - Campañas de concientización. - Creación de estaciones de servicio de combustibles alternativos. 	5 años (2006-2010)	Cambios en el consumo de combustibles poco contaminantes.
Santiago de Chile	Nuevo calendario de normas para gasolina con plomo.	Reducción de emisiones: 0.56% PM ₁₀ 0.16% SO _x 5.06% COV	US\$52'628,489.	<ul style="list-style-type: none"> - Reformulación de la gasolina con plomo para reducir benceno, aromáticos, olefinas y RVP. - Modificación de DS 142/95 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 	3 años (1997-1999)	CONAMA.
	Nuevo calendario de normas para gasolina sin plomo.	Reducción de emisiones: 1.45% NO _x 10.84% CO 1.26% COV	US\$52'628,489.	<ul style="list-style-type: none"> - Reformulación de la gasolina sin plomo para reducir benceno, aromáticos, olefinas, azufre y RVP. - Modificación de DS 142/95 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 		CONAMA.

Tabla 9. Tecnologías de control de emisiones para la flota del sector de transporte privado - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Adaptación de convertidor catalítico a vehículos no equipados.	Reducción de emisiones: 81% NO _x 87% HC 87% CO	US\$ 200-300 /vehículo.	Acuerdo de cumplimiento voluntario.	--	Pruebas de aditivos y dispositivos anticontaminantes.
	Cambio de convertidor catalítico.		\$2,400 pesos mexicanos/vehículo.	Modificación de PIREC.	9 años (2001-2010)	PIREC ⁹ .
Madrid	Fomento del uso de sistemas de control de emisiones y minimización de gases de escape.	Reducción de emisión NO _x , PS y CO.	€412,600.	Modificación de la normativa de determinación de límites de emisión.	--	<ul style="list-style-type: none"> - Protocolo de aprobación de las tecnologías admisibles por Ayuntamiento de Madrid. - Procedimiento voluntario de certificación de emisiones y controles obligatorios. Estas dos medidas están diseñadas para categorías vehiculares no reguladas.
Santiago de Chile	Procedimiento de recambio del convertidor catalítico.	Reducción de emisiones: 3.93% NO _x	US\$7'729,012.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudios de antecedentes técnicos del procedimiento de recambio. - Introducción de control de emisiones de NO_x en revisiones técnicas de vehículos con convertidor catalítico. 	14 años (1997-2010)	Estado del convertidor catalítico.
	Revisión técnica semestral de vehículos sin convertidor catalítico.	Reducción de emisiones: -2,89 NO _x 18,19 CO 6,94 COV	US\$32'602,040.	Normativa de revisión técnica.	3 años (1997-1999)	--

⁹ PIREC=Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes.

Tabla 10. Mejoramiento de la infraestructura del sector transporte privado - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
Madrid	Modificación y ampliación del SER ¹⁰ . Esta medida busca disminuir el uso del vehículo particular.	Reducción de emisiones: NO _x , CO, PM, CO ₂ , COVNM y metales pesados.	€218 millones.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudios de viabilidad realizados por el Ayuntamiento de Madrid. - Orientación medioambiental al ciudadano como campaña de concientización. - Actualización de los métodos de pago. 		<ul style="list-style-type: none"> - Parquímetro para controlar el servicio, tickets y tarjetas monedero. - Distintivos para residentes.

¹⁰ SER = Servicio de Estacionamiento Regulado

Tabla 11. Optimización de la operación de los vehículos de transporte privado - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
Madrid	Establecimiento de ZEB ¹¹ .	Reducción de emisiones en 6 años: 47% NO _x 14% CO 37%PM 8% CO ₂ COVNM y metales pesados.	€1.6 millones.	Noma EURO.	5 años (2006-2010)	- Control por parte del Cuerpo de Agentes de Movilidad. - Sistemas automatizados de identificación de matriculas.
	Control de la velocidad de circulación. Busca aumentar la velocidad para buses públicos con el uso de carriles exclusivos para este modo.	Reducción de emisiones de NO _x , PS, CO, CO ₂ , COVNM y metales pesados.	- €1,000 cada dispositivo. - €453,000.	Proyecto PORSPER ¹² ; instalación de dispositivos en vías y en vehículos sancionados.	3 años (2008-2010)	Recepción de información de velocidad media diaria por parte del Ayuntamiento de Madrid.
Santiago de Chile	Definir zonas en la ciudad en donde no pueden circular vehículos.	--	--	--	--	--

¹¹ ZEB = Zona de Emisión Baja.

¹² PROSPER = Project for Research On Speed Adaptation Policies on European Roads.

Tabla 12. Renovación de la flota del sector transporte de carga - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Renovación de la flota de transporte de carga.	Reducción de emisiones: 72% NO _x 78% HC 80% PM ₁₀ 72% CO	US\$1,546 millones.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de esquemas de financiamiento para fomentar sustitución. - Destrucción de los vehículos sustituidos. 	8 años (2002-2010)	<ul style="list-style-type: none"> - Programa de retiro de camiones de carga de placa local. - Retiro del 4.4% al año.
Madrid	Inclusión de maquinaria moderna.	Reducción de emisiones de NO _x , CO ₂ y 50% de PS.	€150,000.	<ul style="list-style-type: none"> - Base normativa de Directiva 97/68/CE, 2001/63/CE, 2002/88/CE, 2004/26/CE. - Desarrollo de normativa específica y de guías de buenas prácticas. 	5 años (2006-2010)	Incremento de labores de inspección y vigilancia de la norma.

Tabla 13. Mejoramiento del combustible utilizado por los vehículos de carga - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Disminución de contenido de azufre en diésel hasta 30 ppm.	Introducción de tecnología avanzada de control de emisiones.	US\$1,500 millones.	Establecimiento de norma más estricta	9 años (2002-2010)	--
Madrid	Fomento del empleo de combustibles más respetuosos con el medio ambiente.	Reducción en emisiones generadas por GNC: 80% NO _x 88% HC 70% CO.	€2'965,000 + €4'460,000 en estaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Ventajas fiscales para los usuarios de biocarburantes. - Campañas de concientización. - Creación de estaciones de servicio de combustibles alternativos. 	5 años (2006-2010)	Cambios en el consumo de combustibles poco contaminantes.
Santiago de Chile	Mejoramiento de la calidad del combustible.	--	--	--	--	--

Tabla 14. Uso de tecnologías del control de emisiones en vehículos de carga - Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
Madrid	Fomento del uso de sistemas de control de emisiones y minimización de gases de escape.	Reducción de emisión de NO _x , PS y CO.	€412,600.	Modificación de la normativa de determinación de límites de emisión.	--	<ul style="list-style-type: none"> - Protocolo de aprobación de las tecnologías admisibles por Ayuntamiento de Madrid. - Procedimiento voluntario de certificación de emisiones, controles obligatorios.
Santiago de Chile	Incorporación de sistemas post-tratamiento.	Reducción de emisiones de PM.	--	--	--	--

Tabla 15. Optimización de la operación de vehículos de carga – Estrategias implementadas internacionalmente.

Caso	Objetivo	Metas	Costos	Herramientas de ejecución	Cronograma	Seguimiento
México	Regulación del horario de circulación.	Reducción de niveles de emisión. Agilizar tránsito vehicular.	--	Elaboración de un programa de horarios para la circulación de vehículos de transporte de carga.	--	--
	Programa integral para el transporte público de carga.	Reducción de niveles de emisión de SO _x , PST, NO _x , HC y CO.	\$9 millones de pesos mexicanos.	--	8 años (2002-2010)	--
Madrid	Reducción de emisiones asociadas al transporte y reparto de mercancías.	Reducción de emisiones de NO _x , PS, CO, CO ₂ , COVNM y metales pesados.	€210,000.	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de pautas actuales seguidas por el transporte de carga. - Modificación de horarios de reparto con consentimiento de comerciantes y empresarios. 	3 años (2007-2009)	Inspección de detenciones en lugares inapropiados.

ANEXO 1.2. Listado de capacidades de las empresas transportadoras.

Tabla 1. Listado de capacidades de las empresas transportadoras.

Código Empresa	Nombre Empresa	Capacidad Mínima	Capacidad Máxima	Parque Automotor	Plan Ajuste	Reducción necesaria
9000	BUSES AMARILLOS Y ROJOS SA	185	194	148	145	3
9010	BUSES ROJOS LTDA	67	70	52	50	2
9020	COOP. CONTINENTAL DE TRANSPORTADORES LTDA	365	383	383	335	48
9030	PROMOTORA DE TRANSPORTE UNIVERSO S.C.A.	360	378	305	274	31
9040	COOP DE TRANS LA NACIONAL LTDA	592	622	619	553	66
9050	COOP. DE BUSES VERDES LTDA	191	201	202	169	33
9060	COOP. NACIONAL DE TRANSPORTADORES LTDA	404	424	380	321	59
9065	COOP. INTEGRAL TRANSPORTADORES MIXTOS DE CORABASTOS	103	108	85	75	10
9070	COOTRANSNIZA LTDA	358	376	358	326	32
9080	CIA. METROPOLITANA DE TRANSPORTES S.A.	555	583	372	320	52
9090	CIA. NACIONAL DE MICROBUSES S.A.	724	760	720	651	69
9100	COOP. TRANSPORTES UNIDOS DEL D.E. LTDA	224	235	182	139	43
9110	EXPRESO BOGOTANO S.A.	216	227	175	160	15
9120	EMPRESA VECINAL DE SUBA S.A.	247	259	184	166	18
9130	COOP. DE LA CONFEDERACION DE TRABAJADORES DE COLOMBIA	44	46	44	39	5
9140	FLOTA USAQUEN S.A.	309	324	230	221	9
9150	NUEVA COOP. DE BUSES AZULES LTDA	100	105	93	83	10
9160	NUEVA TRANSPORTADORA DE BOGOTA S.A.	245	257	223	207	16
9170	REPUBLICANA DE TRANSPORTES S.A.	242	254	192	174	18
9180	TRANS. RAPIDO PENNSILVANIA S.A.	724	760	607	536	71
9190	SIDAUTO SOC IMP Y DIST AUTOMOTORA SA	937	984	636	589	47
9200	TRANS. BERMUDEZ S.A.	224	235	174	163	11
9210	TRANS. FLOTA BLANCA S.A.	185	194	145	139	6
9220	TRANS. PANAMERICANOS S.A.	1022	1073	982	871	111
9230	TRANS. URBAN SAMPER MENDOZA BUSES BLANCOS	640	672	626	564	62
9240	TRANS. SANTA LUCIA S.A.	254	267	260	196	64
9250	UNION COMERCIAL DE TRANSPORTES S.A.	439	461	382	300	82
9260	UNIVERSAL AUTOMOTORA DE TRANSPORTES S.A.	869	912	759	654	105
9280	EXPRESO SUR ORIENTE S.A.	357	375	324	274	50

Código Empresa	Nombre Empresa	Capacidad Mínima	Capacidad Máxima	Parque Automotor	Plan Ajuste	Reducción necesaria
9315	UNION AUTOMOTORA D.URBANOS ESPECIALES S.A	19	20	2	0	2
9340	COOP. DE TRANSPORTE BOGOTA KENNEDY LTDA	483	507	502	481	21
9360	SERVICIO TRANSPORTES URBANOS DE LUJO LTDA	50	52	35	35	0
9420	SOC. TRANSPORTADORA DE LOS ANDES S.A.	550	577	527	483	44
9470	TRANS. FONTIBON S.A.	555	583	583	554	29
9490	COOINTRACONDOR	376	395	377	356	21
9520	COOP. TRANSPORTADORES PENSILVANIA LTDA	1064	1117	1070	1013	57
9530	EXPRESO DEL PAIS S.A.	418	439	423	411	12
9570	COOP. INTEGRAL COCEVES LTDA	80	84	66	58	8
9590	TRANSPORTES NUEVO HORIZONTE S.A.	363	381	331	308	23
9635	TRANS. MODELO LTDA	66	69	69	58	11
9640	UNION COOP. DE TRABAJADORES DEL TRANSPORTE UCOTRANS	48	50	44	35	9
9670	COOPERATIVA DE TRANSPORTES MIXTOS SOCORRO	29	30	30	30	0
9700	COOP. DISTRITAL DE TRANSPORTES	146	153	148	143	5
9710	UNION COLOMBIANA DE BUSES S.A.	308	323	310	300	10
9760	COOP. INTEGRAL DE TRANSPORTADORES DE BOSA LTDA	124	130	121	117	4
9855	COOP. DE TRANSPORTES DEL NORTE	115	121	121	106	15
9910	EXPRESO IMPERIAL S.A.	106	111	110	104	6
9940	TRANS. RADIO TAXI CONFOR S.A.	242	254	218	183	35
9970	UNION TRANSPORTADORA NORTE Y SUR	80	84	86	83	3
9971	TRANSPORTES DISTRITO CAPITAL S.A.	200	210	181	167	14
9980	SOC. TRANSPORTADORA MIXTA URBANA DE BOGOTA S.A.	74	78	76	65	11
9981	COOP. DE TRANSPORTE ZONAL DE BOSA LTDA	52	55	55	51	4
9982	COOP. DE TRANSPORTES AURES LTDA	64	67	71	62	9
9983	COMUNITARIA DE TRANSPORTES DE SUBA S.A	70	73	74	63	11
9984	COOP. DE TRANSPORTES FONTIBON LTDA	34	36	36	33	3
9985	COOP. AHORRO/CREDITO TRANSPORTADORES PANAMERICANOS	21	22	22	22	0
9986	COOP DE TRANSP LOS MOLINOS	61	64	60	63	-3
9987	COOP. DE TRANSPORTES DE BOGOTA LTDA	42	44	41	40	1
9988	LINEAS ESP. DE TRANSP. ANDINO	110	115	108	102	6

Código Empresa	Nombre Empresa	Capacidad Mínima	Capacidad Máxima	Parque Automotor	Plan Ajuste	Reducción necesaria
9989	COOP. DE TRANSPORTES CERRONORTE LTDA	54	57	58	56	2
9991	COOP. DE TRANSPORTES CIUDAD BOLIVAR	66	69	69	64	5
9992	LINEAS ESP DE TRANS N MILENIO	53	56	57	55	2
9993	TRANS. CALERO LTDA	37	39	38	38	0
9994	TRANS. AUTOMOTOR MODERNO PUBL.ASOCIADO D.C	96	101	91	42	49
9996	COOP. INTEGRAL DE TRANSPORTES LA FLORIDA LTDA	147	154	142	129	13
9999	CARROS DEL SUR S.A. TRANSCARD S.A.	134	141	136	139	-3
13051	TRANSMOPAQ S.A	8	10	10	0	10
TOTAL				16,340	14,743	1,597

Fuente: SIM - Consorcio Servicios Integrados de Movilidad. Recuperada de <http://www.simbogota.com.co>

ANEXO 1.3. Proyección del crecimiento de los viajes en TP y de la composición modal de los mismos.

Tabla 1. Proyección del crecimiento de los viajes en TP y de la composición modal de los mismos.

Modo	Variable	Periodo 1				Periodo 2					Periodo 3			
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TRANSPORTE PÚBLICO	Número de viajes diarios	7,541,320	7,667,735	7,794,150	7,920,565	8,046,980	8,173,395	8,299,810	8,426,225	8,552,640	8,679,055	8,805,470	8,931,885	9,058,300
	Crecimiento		1.676%	1.649%	1.622%	1.596%	1.571%	1.547%	1.523%	1.500%	1.478%	1.457%	1.436%	1.415%
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO	Participación modal estimada	78%	76%	74%	72%	70%	67%	63%	60%	56%	53%	52%	51%	50%
	Número de viajes diarios	5,882,230	5,827,479	5,767,671	5,702,807	5,632,886	5,443,481	5,245,480	5,038,883	4,823,689	4,599,899	4,578,844	4,555,261	4,529,150
	Factor de actividad de la flota (Km/día)	3,676,394	3,531,805	3,392,748	3,258,747	3,129,381	2,895,469	2,676,265	2,470,040	2,275,325	2,090,863	2,081,293	2,070,573	2,058,705
	Factor de actividad vehicular (Km/año veh)	82,996	81,616	80,236	78,856	77,476	76,170	74,864	73,558	72,252	70,946	70,946	70,946	70,946
	Número de vehículos del parque	16,168	15,795	15,434	15,084	14,743	13,875	13,048	12,257	11,494	10,757	10,708	10,653	10,592
			-2.31%	-2.28%	-2.27%	-2.26%	-5.89%	-5.96%	-6.07%	-6.22%	-6.42%	-0.46%	-0.52%	-0.57%
	Índice de Pasajeros por Kilómetro - IPK	1.6	1.65	1.70	1.75	1.8	1.88	1.96	2.04	2.12	2.2	2.2	2.2	2.2
TRANSPORTE MASIVO TRANSMILENIO	Participación modal estimada	22%	24%	26%	28%	30%	33%	37%	40%	44%	45%	43%	42%	40%
	Número de viajes diarios	1,659,090	1,840,256	2,026,479	2,217,758	2,414,094	2,729,914	3,054,330	3,387,342	3,728,951	3,862,179	3,786,352	3,706,732	3,623,320
	Factor de actividad de la flota (Km/día)	325,312	360,835	397,349	434,855	473,352	535,277	598,888	664,185	731,167	772,436	772,926	772,926	772,926
	Factor de actividad vehicular (Km/año veh)	110,971	118,531	126,090	133,650	141,210	148,770	156,330	163,889	171,449	179,009	179,009	179,009	179,009
	Número de vehículos del parque	1,070	1,111	1,150	1,188	1,224	1,313	1,398	1,479	1,557	1,575	1,576	1,576	1,576
			3.85%	3.52%	3.25%	3.03%	7.34%	6.47%	5.79%	5.23%	1.18%	0.06%	0.00%	0.00%
	Índice de Pasajeros por Kilómetro - IPK	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5	4.90	4.80	4.69
METRO	Participación modal estimada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3%	5%	8%	10%
	Número de viajes diarios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216,976	440,274	669,891	905,830

ANEXO 1.4. Beneficios ambientales derivados de la implementación de las medidas de descontaminación.

Tabla 1. Proyección del número de viajes y la participación en la oferta de los mismos por parte de las categorías de TP en el escenario SITP.

	CATEGORÍAS	COD.	AÑO												
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Proporción de la flota	Microbus	MBg	7.2%	6.6%	6.0%	5.4%	4.8%	4.2%	3.6%	3.0%	2.4%	1.8%	1.2%	0.6%	0.0%
	Buses y Busetas	B3	2.9%	2.7%	2.5%	2.2%	2.0%	1.7%	1.5%	1.2%	1.0%	0.7%	0.5%	0.2%	0.0%
		B4	4.8%	4.4%	4.0%	3.6%	3.2%	2.8%	2.4%	2.0%	1.6%	1.2%	0.8%	0.4%	0.0%
	Microbuses Colectivos	MC	4.1%	3.8%	3.4%	3.1%	2.7%	2.4%	2.1%	1.7%	1.4%	1.0%	0.7%	0.3%	0.0%
	Buses y busetas	B1	34.5%	32.8%	31.1%	29.4%	27.7%	26.0%	24.3%	22.6%	20.9%	19.2%	17.5%	15.8%	14.1%
		B2	24.6%	28.2%	31.8%	35.4%	39.0%	42.6%	46.1%	49.7%	53.3%	56.9%	60.5%	64.1%	67.7%
Número de vehículos	Microbuses	MB	21.9%	21.6%	21.3%	21.0%	20.7%	20.4%	20.1%	19.8%	19.4%	19.1%	18.8%	18.5%	18.2%
	Microbus	MBg	1159	1038	922	811	705	580	468	366	275	193	128	64	0
	Buses y Busetas	B3	476	426	379	333	289	238	192	150	113	79	53	26	0
		B4	774	693	616	542	471	387	312	244	183	129	85	42	0
	Microbuses Colectivos	MC	666	596	530	466	405	333	269	210	158	111	74	37	0
	Buses y busetas	B1	5570	5174	4794	4430	4080	3605	3169	2770	2403	2066	1876	1686	1496
		B2	3981	4456	4907	5337	5745	5905	6021	6095	6128	6121	6477	6826	7166
	Microbuses	MB	3542	3412	3286	3165	3048	2826	2617	2421	2235	2058	2016	1973	1929
Factor de actividad	TOTAL		16,168	15,795	15,434	15,084	14,743	13,875	13,048	12,257	11,494	10,757	10,708	10,653	10,592
	Microbus	MBg	96,192,672	84,708,732	73,975,909	63,948,723	54,586,745	44,193,222	35,012,181	26,928,541	19,844,592	13,676,836	9,076,156	4,514,705	0
	Buses y Busetas	B3	39,506,223	34,789,781	30,381,823	26,263,669	22,418,715	18,150,107	14,379,463	11,059,522	8,150,152	5,617,061	3,727,567	1,854,184	0
		B4	64,239,110	56,569,939	49,402,376	42,706,049	36,453,961	29,512,988	23,381,732	17,983,340	13,252,558	9,133,625	6,061,212	3,014,997	0
	Microbuses Colectivos	MC	55,275,513	48,676,459	42,509,021	36,747,066	31,367,362	25,394,897	20,119,165	15,474,037	11,403,364	7,859,165	5,215,462	2,594,300	0
	Buses y busetas	B1	462,289,201	422,277,117	384,679,579	349,343,209	316,131,668	274,604,248	237,272,625	203,721,314	173,597,548	146,599,869	133,063,965	119,580,004	106,169,296
		B2	330,408,135	363,648,063	393,744,277	420,852,760	445,112,163	449,745,559	450,731,982	448,335,001	442,778,398	434,253,407	459,511,724	484,250,699	508,425,199
	Microbuses	MB	293,972,774	278,438,812	263,659,906	249,581,087	236,153,492	215,245,039	195,939,673	178,063,015	161,467,006	146,025,123	143,015,826	139,950,380	136,832,664
	TOTAL (Km/año)		1,341,883,628	1,289,108,902	1,238,352,891	1,189,442,561	1,142,224,106	1,056,846,059	976,836,822	901,564,770	830,493,618	763,165,086	759,671,912	755,759,269	751,427,159
	TOTAL (Km/día)		3,676,394	3,531,805	3,392,748	3,258,747	3,129,381	2,895,469	2,676,265	2,470,040	2,275,325	2,090,863	2,081,293	2,070,573	2,058,705

Tabla 2. Proyección del número de viajes y la participación en la oferta de los mismos por parte de las categorías de TP sin el escenario tendencial (sin SITP).

Tabla 2.1. Proyección del número de viajes y la participación en la flota de los mismos por parte de las categorías de VN en el secundario tondocense (en CMV).																
	CATEGORÍAS	COD.	AÑO													
			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Proporción de la flota	Microbus	MBg	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	7.2%	
	Buses y Busetas	B3	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	
		B4	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	4.8%	
	Microbuses Colectivos	MC	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	4.1%	
	Buses y busetas	B1	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	34.5%	
		B2	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	24.6%	
Número de vehículos	Microbuses	MB	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	21.9%	
	Microbus	MBq	1159	1178	1198	1217	1237	1256	1276	1295	1314	1334	1353	1373	1392	
	Buses y Busetas	B3	476	484	492	500	508	516	524	532	540	548	556	564	572	
		B4	774	787	800	813	826	839	852	865	878	891	904	917	930	
	Microbuses Colectivos	MC	666	677	688	699	711	722	733	744	755	766	778	789	800	
	Buses y busetas	B1	5570	5663	5756	5850	5943	6037	6130	6223	6317	6410	6503	6597	6690	
		B2	3981	4048	4114	4181	4248	4314	4381	4448	4515	4581	4648	4715	4782	
	Microbuses	MB	3542	3601	3661	3720	3779	3839	3898	3957	4017	4076	4136	4195	4254	
	TOTAL			16,167	16,438	16,709	16,980	17,251	17,522	17,793	18,064	18,335	18,606	18,877	19,148	19,419
	Factor de actividad	Microbus	MBq	96,192,672	97,805,148	99,417,624	101,030,100	102,642,576	104,255,052	105,867,528	107,480,003	109,092,479	110,704,955	112,317,431	113,929,907	115,542,383
Buses y Busetas		B3	39,506,223	40,168,465	40,830,707	41,492,949	42,155,191	42,817,433	43,479,675	44,141,917	44,804,159	45,466,401	46,128,643	46,790,885	47,453,127	
		B4	64,239,110	65,315,949	66,392,788	67,469,627	68,546,466	69,623,305	70,700,143	71,776,982	72,853,821	73,930,660	75,007,499	76,084,338	77,161,177	
Microbuses Colectivos		MC	55,275,513	56,202,095	57,128,678	58,055,260	58,981,842	59,908,425	60,835,007	61,761,590	62,688,172	63,614,754	64,541,337	65,467,919	66,394,501	
Buses y busetas		B1	462,289,201	470,038,546	477,787,891	485,537,236	493,286,581	501,035,926	508,785,270	516,534,615	524,283,960	532,033,305	539,782,650	547,531,995	555,281,340	
		B2	330,408,135	335,946,760	341,485,385	347,024,010	352,562,635	358,101,260	363,639,885	369,178,510	374,717,136	380,255,761	385,794,386	391,333,011	396,871,636	
Microbuses		MB	293,972,774	298,900,634	303,828,494	308,756,354	313,684,213	318,612,073	323,539,933	328,467,793	333,395,653	338,323,513	343,251,373	348,179,233	353,107,092	
TOTAL (Km/año)			1,341,883,628	1,364,377,597	1,386,871,566	1,409,365,535	1,431,859,504	1,454,353,473	1,476,847,442	1,499,341,411	1,521,835,380	1,544,329,349	1,566,823,318	1,589,317,287	1,611,811,256	
TOTAL (Km/día)			3,676,394	3,738,021	3,799,648	3,861,275	3,922,903	3,984,530	4,046,157	4,107,785	4,169,412	4,231,039	4,292,667	4,354,294	4,415,921	

Tabla 3. Beneficios obtenidos por la implementación del SITP.

Escenario Tendencial (Ton/año)		AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
		CO ₂	733,524	745,820	758,116	770,412	782,708	795,004	807,301	819,597	831,893	844,189	856,485	868,781	881,077		
		CO	24,359	24,767	25,175	25,584	25,992	26,400	26,808	27,217	27,625	28,033	28,442	28,850	29,258		
		NO _x	12,420	12,628	12,837	13,045	13,253	13,461	13,669	13,878	14,086	14,294	14,502	14,710	14,919		
		THC	2,734	2,780	2,826	2,872	2,918	2,963	3,009	3,055	3,101	3,147	3,193	3,238	3,284		
		PM	536	545	554	563	572	581	590	599	608	617	626	635	644		
		Medida SITP-Modo 1		Emisiones (Ton/año)		CO ₂	733,524	718,859	704,180	689,454	674,652	635,851	598,461	562,265	527,079	492,745	498,848
CO	24,359					22,264	20,296	18,447	16,708	14,527	12,567	10,804	9,220	7,800	7,095	6,392	5,693
NO _x	12,420					12,309	12,187	12,054	11,909	11,328	10,757	10,192	9,631	9,074	9,255	9,428	9,594
THC	2,734					2,577	2,427	2,285	2,150	1,948	1,762	1,592	1,434	1,288	1,252	1,217	1,180
PM	538					537	529	514	491	445	394	345	308	269	249	230	199
Diferencia con Esc. tendencial				CO ₂	0.0%	-3.6%	-7.1%	-10.5%	-13.8%	-20.0%	-25.9%	-31.4%	-36.6%	-41.6%	-41.8%	-41.9%	-42.1%
				CO	0.0%	-10.1%	-19.4%	-27.9%	-35.7%	-45.0%	-53.1%	-60.3%	-66.6%	-72.2%	-75.1%	-77.8%	-80.5%
				NO _x	0.0%	-2.5%	-5.1%	-7.6%	-10.1%	-15.8%	-21.3%	-26.6%	-31.6%	-36.5%	-36.2%	-35.9%	-35.7%
				THC	0.0%	-7.3%	-14.1%	-20.4%	-26.3%	-34.3%	-41.4%	-47.9%	-53.8%	-59.1%	-60.8%	-62.4%	-64.1%
				PM	0.3%	-1.4%	-4.5%	-8.7%	-14.1%	-23.4%	-33.2%	-42.3%	-49.3%	-56.4%	-60.2%	-63.7%	-69.2%
Medida SITP-Modo 2		Emisiones (Ton/año)		CO ₂	733,524	718,859	704,180	689,454	674,652	635,851	598,461	562,265	527,079	492,745	498,848	504,594	509,969
				CO	24,359	22,264	20,296	18,447	16,708	14,527	12,567	10,804	9,220	7,800	7,095	6,392	5,693
				NO _x	12,420	12,309	12,187	12,054	11,909	11,328	10,757	10,192	9,631	9,074	9,255	9,428	9,594
				THC	2,734	2,577	2,427	2,285	2,150	1,948	1,762	1,592	1,434	1,288	1,252	1,217	1,180
				PM	538	537	456	387	320	210	136	92	85	74	71	64	45
		Diferencia con Esc. tendencial		CO ₂	0.0%	-3.6%	-7.1%	-10.5%	-13.8%	-20.0%	-25.9%	-31.4%	-36.6%	-41.6%	-41.8%	-41.9%	-42.1%
				CO	0.0%	-10.1%	-19.4%	-27.9%	-35.7%	-45.0%	-53.1%	-60.3%	-66.6%	-72.2%	-75.1%	-77.8%	-80.5%
				NO _x	0.0%	-2.5%	-5.1%	-7.6%	-10.1%	-15.8%	-21.3%	-26.6%	-31.6%	-36.5%	-36.2%	-35.9%	-35.7%
				THC	0.0%	-7.3%	-14.1%	-20.4%	-26.3%	-34.3%	-41.4%	-47.9%	-53.8%	-59.1%	-60.8%	-62.4%	-64.1%
				PM	0.3%	-1.4%	-17.6%	-31.3%	-44.1%	-63.8%	-76.9%	-84.7%	-86.0%	-88.0%	-88.7%	-89.9%	-93.0%

Tabla 4. Emisiones anuales y diferencias porcentuales con respecto al escenario tendencial tras la instalación de sistema de control de emisiones.

AÑO			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DOC+SITP	T/año	THC	2,734	2,216	1,747	1,325	946	584	529	477	430	386	376	365	354
		PM	538	497	451	398	344	278	246	216	193	168	156	144	124
	Dif.	THC	0.0%	-20.3%	-38.2%	-53.9%	-67.6%	-80.3%	-82.4%	-84.4%	-86.1%	-87.7%	-88.2%	-88.7%	-89.2%
		PM	0.3%	-8.7%	-18.6%	-29.3%	-39.9%	-52.2%	-58.2%	-63.9%	-68.3%	-72.8%	-75.1%	-77.3%	-80.7%
CC+SITP	T/año	THC	2,734	2,577	2,427	2,285	2,150	1,948	1,762	1,592	1,434	1,288	1,252	1,217	1,180
		PM	538	529	512	489	460	409	363	318	283	247	229	212	183
	Dif.	THC	0.0%	-7.3%	-14.1%	-20.4%	-26.3%	-34.3%	-41.4%	-47.9%	-53.8%	-59.1%	-60.8%	-62.4%	-64.1%
		PM	0.3%	-3.0%	-7.5%	-13.1%	-19.6%	-29.6%	-38.5%	-46.9%	-53.4%	-59.9%	-63.4%	-66.6%	-71.6%
DPF+SITP	T/año	THC	2,734	2,206	1,728	1,298	911	545	493	446	401	361	351	341	331
		PM	538	446	349	252	157	67	59	52	46	40	37	35	30
	Dif.	THC	0.0%	-20.7%	-38.9%	-54.8%	-68.8%	-81.6%	-83.6%	-85.4%	-87.1%	-88.5%	-89.0%	-89.5%	-89.9%
		PM	0.3%	-18.2%	-37.0%	-55.3%	-72.5%	-88.5%	-90.0%	-91.3%	-92.4%	-93.5%	-94.0%	-94.6%	-95.4%
FP+SITP	T/año	THC	2,734	2,206	1,728	1,298	911	545	493	446	401	361	351	341	331
		PM	538	489	434	375	314	245	217	190	169	148	137	127	109
	Dif.	THC	0.0%	-20.7%	-38.9%	-54.8%	-68.8%	-81.6%	-83.6%	-85.4%	-87.1%	-88.5%	-89.0%	-89.5%	-89.9%
		PM	0.3%	-10.3%	-21.7%	-33.4%	-45.0%	-57.9%	-63.2%	-68.3%	-72.1%	-76.0%	-78.1%	-80.0%	-83.0%
SCR+SITP	Ton/año	NO _x	12,420	10,340	8,287	6,268	4,287	2,266	2,151	2,038	1,926	1,815	1,851	1,886	1,919
		THC	2,734	2,164	1,650	1,188	774	390	352	318	287	258	250	243	236
		PM	538	510	476	437	393	334	296	259	231	202	187	173	149
	Dif.	NO _x	0.0%	-18.1%	-35.4%	-52.0%	-67.6%	-83.2%	-84.3%	-85.3%	-86.3%	-87.3%	-87.2%	-87.2%	-87.1%
		THC	0.0%	-22.1%	-41.6%	-58.6%	-73.5%	-86.9%	-88.3%	-89.6%	-90.8%	-91.8%	-92.2%	-92.5%	-92.8%
		PM	0.3%	-6.4%	-14.0%	-22.4%	-31.3%	-42.6%	-49.9%	-56.7%	-62.0%	-67.3%	-70.2%	-72.8%	-76.9%

DOC: Catalizador oxidativo para vehículos diesel; CC: Control de emisiones en el Carter; DPF: Filtro de partículas para vehículos diesel (en este caso corresponde a filtros pasivos, los cuales son menos restrictivos para el contenido de azufre); FTF: Filtros de paso; SCR: Sistemas de reducción con catálisis reductiva; Dif.: Diferencia porcentual con respecto al escenario tendencial; T/año: Toneladas anuales emitidas.

Tabla 5. Emisiones anuales y diferencias porcentuales con respecto al escenario tendencial tras la instalación de sistema de control de emisiones.

AÑO			2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DOC	T/año	THC	2,734	2,780	2,430	2,068	1,692	1,304	903	917	930	944	958	972	985
		PM	536	545	513	478	443	407	369	374	380	386	391	397	402
	Dif.	THC	0.0%	0.0%	-14.0%	-28.0%	-42.0%	-56.0%	-70.0%	-70.0%	-70.0%	-70.0%	-70.0%	-70.0%	-70.0%
		PM	0.0%	0.0%	-7.4%	-15.0%	-22.5%	-30.0%	-37.5%	-37.5%	-37.5%	-37.5%	-37.5%	-37.5%	-37.5%
CC	T/año	THC	2,734	2,780	2,826	2,872	2,918	2,963	3,009	3,055	3,101	3,147	3,193	3,238	3,284
		PM	536	545	545	545	544	544	543	551	559	567	576	584	592
	Dif.	THC	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		PM	0.0%	0.0%	-1.6%	-3.2%	-4.8%	-6.4%	-8.0%	-8.0%	-8.0%	-8.0%	-8.0%	-8.0%	-8.0%
DPF	T/año	THC	2,734	2,780	2,419	2,045	1,657	1,256	843	855	868	881	894	907	920
		PM	536	545	460	372	280	186	88	90	91	93	94	95	97
	Dif.	THC	0.0%	0.0%	-14.4%	-28.8%	-43.2%	-57.6%	-72.0%	-72.0%	-72.0%	-72.0%	-72.0%	-72.0%	-72.0%
		PM	0.0%	0.0%	-17.0%	-34.0%	-51.0%	-68.0%	-85.0%	-85.0%	-85.0%	-85.0%	-85.0%	-85.0%	-85.0%
FP	T/año	THC	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		PM	12,420	12,628	12,837	13,045	13,253	13,461	13,669	13,878	14,086	14,294	14,502	14,710	14,919
	Dif.	THC	536	545	504	462	417	372	324	329	334	339	344	349	354
		PM	0.0%	0.0%	-9.0%	-18.0%	-27.0%	-36.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%	-45.0%
SCR	Ton/año	NO _x	12,420	12,628	10,783	8,870	6,892	4,846	2,734	2,776	2,817	2,859	2,900	2,942	2,984
		THC	2,734	2,780	2,374	1,953	1,517	1,067	602	611	620	629	639	648	657
		PM	536	545	526	507	486	465	442	449	456	463	469	476	483
	Dif.	NO _x	0.0%	0.0%	-16.0%	-32.0%	-48.0%	-64.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%
		THC	0.0%	0.0%	-16.0%	-32.0%	-48.0%	-64.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%	-80.0%
		PM	0.0%	0.0%	-5.0%	-10.0%	-15.0%	-20.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%	-25.0%

DOC: Catalizador oxidativo para vehículos diesel; CC: Control de emisiones en el Carter; DPF: Filtro de partículas para vehículos diesel (en este caso corresponde a filtros pasivos, los cuales son menos restrictivos para el contenido de azufre); FTF: Filtros de paso; SCR: Sistemas de reducción con catálisis reductiva; Dif.: Diferencia porcentual con respecto al escenario tendencial; T/año: Toneladas anuales emitidas.

ANEXO 1.5. Matrices de renovación y chatarrización.

Tabla 1. Variación de número de vehículos según modelo sin política de renovación permanente

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TC*	2.8%	2.9%	3.0%	3.0%	3.1%	3.2%	3.4%	3.5%	3.6%	3.7%	3.9%	4.0%	4.2%
1980	412												
1981	547	508	57										
1982	496	496	496	102									
1983	290	290	290	290									
1984	364	364	364	364	305								
1985	113	113	113	113	113								
1986	9	9	9	9	9								
1987	10	10	10	10	10								
1988	62	62	62	62	62	48							
1989	166	166	166	166	166	166							
1990	236	236	236	236	236	236							
1991	336	336	336	336	336	336	335						
1992	544	544	544	544	544	544	544	428					
1993	870	870	870	870	870	870	870	870	847	396			
1994	473	473	473	473	473	473	473	473	473	473	418		
1995	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767	734	283
1996	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370	370
1997	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
1998	584	584	584	584	584	584	584	584	584	584	584	584	584
1999	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383	383
2000	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101	1101
2001	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
2002	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190	1190
2003	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899	1899
2004	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1752
2005	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416
2006	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424	424
2007	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139	139
2008	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
2009													
2010													
2011													
2012													
2013													
2014													
2015													
2016													
2017													
2018													
2019													
2020													
Total	16168	15717	15266	14815	14364	13913	13462	13011	12560	12109	11658	11207	10756

*TC: Tasa de Chatarrización usada.

Tabla 2. Variación de número de vehículos según modelo con política de renovación permanente.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TC*	5.3%	5.5%	5.6%	5.8%	6.0%	6.2%	6.4%	6.6%	6.9%	7.1%	7.4%	7.7%	8.0%
TI**	2.5%	2.6%	2.7%	2.8%	2.9%	2.9%	3.0%	3.2%	3.3%	3.4%	3.5%	3.7%	3.8%
1980	412	0											
1981	547	98											
1982	496	496											
1983	290	290	23										
1984	364	364	364										
1985	113	113	113										
1986	9	9	9										
1987	10	10	10										
1988	62	62	62										
1989	166	166	166										
1990	236	236	236	122									
1991	336	336	336	336									
1992	544	544	544	544	141								
1993	870	870	870	870	870	50							
1994	473	473	473	473	473	767							
1995	767	767	767	767	767	370	163						
1996	370	370	370	370	370	350	350						
1997	350	350	350	350	350	584	584	73					
1998	584	584	584	584	584	383	383	383					
1999	383	383	383	383	383	1101	1101	1101	533				
2000	1101	1101	1101	1101	1101	700	700	700	700				
2001	700	700	700	700	700	1190	1190	1190	1190	856			
2002	1190	1190	1190	1190	1190	1899	1899	1899	1899	1899	1188		
2003	1899	1899	1899	1899	1899	1752	1752	1752	1752	1752	1752	1373	
2004	1752	1752	1752	1752	1752	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1416	1222
2005	1416	1416	1416	1416	1416	424	424	424	424	424	424	424	424
2006	424	424	424	424	424	139	139	139	139	139	139	139	139
2007	139	139	139	139	139	165	165	165	165	165	165	165	165
2008	165	165	165	165	165	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0
2009		410.0	410.0	410.0	410.0	410	410	410	410	410	410	410	410
2010			410	410	410	410	410	410	410	410	410	410	410
2011				410	410	410	410	410	410	410	410	410	410
2012					410	410	410	410	410	410	410	410	410
2013						573	573	573	573	573	573	573	573
2014							573	573	573	573	573	573	573
2015								573	573	573	573	573	573
2016									573	573	573	573	573
2017										1116	1116	1116	1116
2018											1116	1116	1116
2019												1116	1116
2020													1116
Total	16168	15717	15266	14815	14364	13913	13462	13011	12560	12109	11658	11207	10756

*TC: Tasa de Chatarrización usada.

**TI: Tasa de ingreso de nuevos vehículos al parque.

ANEXO 1.6. Reducciones en las emisiones según el porcentaje de biodiesel en la mezcla diésel-biodiesel.

Fórmulas para el cálculo del potencial de reducción en las emisiones vehiculares de vehículos de carga pesada debido a la implementación de mezclas diesel-biodiesel (EPA, 2002):

NO_x:

$$\% \text{Cambio NO}_x = \{\exp[+0.0010375 \times (\% \text{vol biodiesel})] - 1\} \times 100\%$$

PM:

$$\% \text{Cambio PM} = \{\exp[-0.0047395 \times (\% \text{vol biodiesel})] - 1\} \times 100\%$$

THC:

$$\% \text{Cambio HC} = \{\exp[-0.0118443 \times (\% \text{vol biodiesel})] - 1\} \times 100\%$$

CO₂:

$$\% \text{Cambio CO}_2 = \{\exp[+0.0000177 \times (\% \text{vol biodiesel})] - 1\} \times 100\%$$

Tabla 1. Resultados de los cálculos según porcentajes de mezcla.

Porcentaje de Mezcla [%]	Reducción en las Emisiones [%]			
	NO _x	PM	HC	CO ₂
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.10	-0.47	-1.18	0.00
2	0.21	-0.94	-2.34	0.00
3	0.31	-1.41	-3.49	0.01
4	0.42	-1.88	-4.63	0.01
5	0.52	-2.34	-5.75	0.01
6	0.62	-2.80	-6.86	0.01
7	0.73	-3.26	-7.96	0.01
8	0.83	-3.72	-9.04	0.01
9	0.94	-4.18	-10.11	0.02
10	1.04	-4.63	-11.17	0.02
11	1.15	-5.08	-12.22	0.02
12	1.25	-5.53	-13.25	0.02
13	1.36	-5.98	-14.27	0.02
14	1.46	-6.42	-15.28	0.02
15	1.57	-6.86	-16.28	0.03
16	1.67	-7.30	-17.26	0.03
17	1.78	-7.74	-18.24	0.03
18	1.89	-8.18	-19.20	0.03
19	1.99	-8.61	-20.15	0.03
20	2.10	-9.04	-21.09	0.04
20	2.10	-9.04	-21.09	0.04

ANEXO 1.7. Listado de categorías vehiculares con los criterios de clasificación, los factores de actividad y los factores de emisión asociados.

Categoría Vehicular	Cat.	Criterio de Clasificación	Combustible usado	No de vehículos	FA (Km/año)	Factores de emisión (g km ⁻¹)				
						CO ₂	CO	NOx	THC	PM
Vehículos de pasajeros	VP1	TWC ; < 1400 c.c.	Gasolina	180.977	13.140	232,00	7,20	0,73	0,90	0,003
Vehículos de pasajeros	VP2	TWC ; >1400 c.c.	Gasolina	119.819	18.250	312,00	8,50	0,90	0,90	0,003
Vehículos de pasajeros	VP3	No TWC ; < 1400 c.c.	Gasolina	123.771	9.490	218,00	58,00	1,20	7,20	0,003
Vehículos de pasajeros	VP4	No TWC ; > 1400 c.c.	Gasolina	103.048	9.490	312,00	69,00	2,20	9,00	0,003
Vehículos de pasajeros	VP5	-	GNV	9.567	12.593	241,00	13,00	3,70	5,00	0,003
Camperos y camionetas	CC1	TWC	Gasolina	99.778	21.900	379,00	11,00	1,00	0,70	0,003
Camperos y camionetas	CC2	No TWC ; < 2500 c.c.	Gasolina	48.026	12.331	385,00	73,00	3,00	10,00	0,003
Camperos y camionetas	CC3	No TWC ; > 2500 c.c.	Gasolina	42.296	12.540	460,00	85,00	4,00	7,50	0,003
Camperos y camionetas	CC4	-	GNV	26.568	13.140	442,00	34,00	3,50	4,00	0,023
Camperos y camionetas	CC5	< 2500 c.c.	ACPM	4.543	21.900	236,92	1,39	1,01	0,79	0,097
Camperos y camionetas	CC6	> 2500 c.c.	ACPM	7.830	12.436	310,00	1,39	1,01	0,79	0,097
Taxis	T1	Gasolina	Gasolina	30.600	73.000	258,00	8,40	2,00	0,86	0,003
Taxis	T2	GNV	GNV	20.400	73.000	241,00	13,00	3,70	5,00	0,003
Motos	M1	2 tiempos	Gasolina	15.477	25.000	28,09	7,56	0,03	4,33	0,148
Motos	M2	4 tiempos	Gasolina	101.000	25.000	33,11	6,67	0,27	1,67	0,090
Microbuses	MBg	-	Gasolina	4.680	65.700	415,99	65,20	3,90	3,70	0,042
Buses y busetas	B1	< 5000 c.c.	ACPM	7.866	65.700	561,16	5,87	9,78	1,22	0,256
Buses y busetas	B2	> 5000 c.c.	ACPM	5.622	65.700	787,03	9,08	15,21	1,88	1,210
Buses y busetas	B3	< 6000 c.c.	Gasolina	1.696	65.700	487,70	88,08	5,24	5,33	0,041
Buses y busetas	B4	> 6000 c.c.	Gasolina	2.755	65.700	494,40	105,94	6,23	12,00	0,041
Bus articulado	TM	-	ACPM	1.070	69.350	685,16	1,84	7,33	0,73	0,294
Microbuses	MB	-	ACPM	5.304	65.700	367,19	3,32	5,99	0,70	0,029
Buses escolares	ET1	< 5000 c.c.	ACPM	125	63.000	561,16	5,87	9,78	1,22	0,612
Categoría Vehicular	Cat.	Criterio de Clasificación	Combustible usado	No de vehículos	FA (Km/año)	Factores de emisión (g km ⁻¹)				
Buses escolares	ET2	> 5000 c.c.	ACPM	243	63.000	787,03	9,08	15,21	1,88	0,612
Microbuses Colectivos	MC	-	GNV	7.829	65.700	272,83	20,12	2,27	0,11	0,013

Categoría Vehicular	Cat.	Criterio de Clasificación	Combustible	No de	FA	Factores de emisión (g km ⁻¹)				
Camiones	C1	< 1997; < 6000 c.c.	ACPM	4.992	31.025	490,87	6,26	9,66	1,24	0,869
Camiones	C2	< 1997; > 6000 c.c.	ACPM	6.381	31.025	702,57	9,49	14,69	1,87	0,845
Camiones	C3	> 1997	ACPM	13.624	31.025	503,20	1,21	5,00	0,49	0,311
Camiones	C4	<6000 c.c.	Gasolina	8.685	31.025	438,92	85,74	4,79	4,64	0,051
Camiones	C5	≥6000 c.c.	Gasolina	3.594	31.025	474,77	108,49	6,00	5,87	0,051
Camiones	C6	<6000 c.c.	GNV	6.089	31.025	377,61	32,46	2,01	0,15	0,003
Camiones	C7	≥6000 c.c.	GNV	4.349	31.025	430,37	40,84	2,51	0,19	0,003

Anexo 1.8. Metodología empleada para complementar la línea base de emisiones de fuentes móviles.

Durante la estructuración del plan decenal de descontaminación, se complementó la línea base de emisiones estimada en la fase anterior del proyecto. En la Figura 1 se presenta la diferencia entre los resultados de los dos ejercicios. Las modificaciones a la línea base ocasionaron que el valor de emisión total para algunos contaminantes se redujera (CO_2 , NO_x , PM) y para otras especies se aumentara (CO, THC).

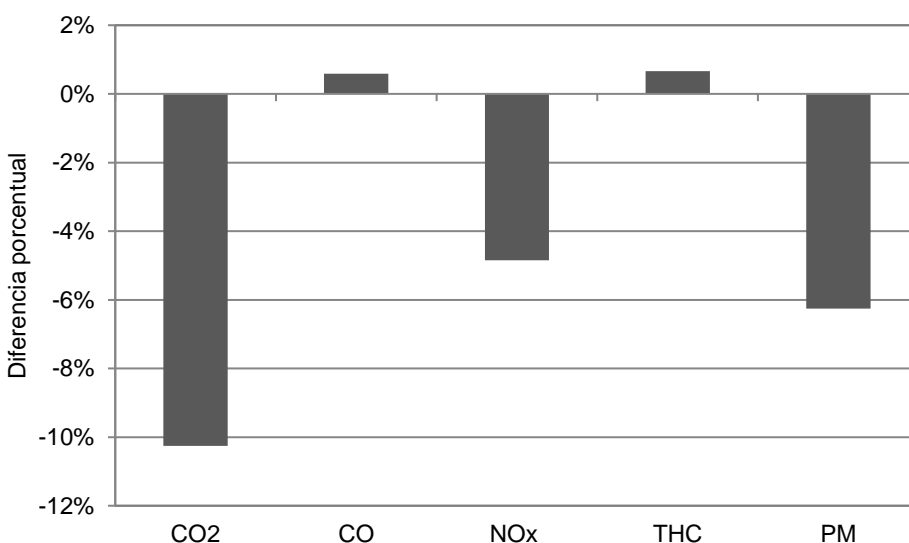


Figura 1. Diferencias porcentuales entre las emisiones de los contaminantes estimadas en la fase anterior del proyecto y el inventario validado para la línea base de la elaboración del PDDB.

A pesar de que las diferencias entre los resultados no fueron muy importantes, se hacen las siguientes aclaraciones:

1. El número de vehículos particulares se incrementó 15% a raíz de la inclusión de aquellos vehículos que circulan en la ciudad sin ser matriculados en ella, por ejemplo, por pobladores de suburbios (municipios albergue).
2. En lo que corresponde a vehículos que prestan el servicio de transporte público colectivo la información disponible en la etapa preliminar señalaba que para el año 2008 se tenían más de 25,000 vehículos de los cuales el 46% eran buses y busetas y el 54% restante microbuses. Esta información también indicaba que el 30% de la flota en consideración operaba. Sin embargo, con base en información obtenida en el Observatorio de Movilidad de Bogotá y la Secretaría Distrital de Movilidad a través del consorcio SIM (Servicios Integrales para la movilidad) se llegó a una cifra de 16,200 vehículos en total aproximadamente.

Como complemento a esta cifra se encontró además que:

- Tan solo el 40% de los buses y busetas registrados que operan con gasolina prestan servicio de transporte público. El 60% restante corresponden a vehículos de servicio particular u oficial.
- El 45% del total de los microbuses registrados que operan con gasolina prestan servicio de transporte particular.

- El número de vehículos de transporte público colectivo que operan con GNV equivale aproximadamente al 5% del número de vehículos de la misma flota que operan con combustible diésel.
 - El 6% de los microbuses que operan con combustible diésel son vehículos de servicio particular u oficial.
 - El 88% de los vehículos que aparecen como microbuses que operan con gas natural vehicular corresponden en realidad a transporte particular colectivo y no a transporte público colectivo.
3. Las motocicletas se incluyeron en la estimación de la línea base.
 4. Los factores de actividad de la flota de transporte público colectivo y transporte masivo (Transmilenio) fueron ajustados de acuerdo al cálculo del IPK (índice de pasajeros por kilómetro) para cada uno de estos medios de transporte y de acuerdo a las estimaciones del número de viajes transportados por los mismos, reseñados en el documento “El transporte como soporte al desarrollo del país. Una visión al 2040” (Acevedo et al., 2008).
 5. Para los factores de actividad de vehículos particulares se usó un factor de corrección según el cual los vehículos más viejos son menos usados que los nuevos, variando de 7,000 km/año para vehículos con 30 años de antigüedad, hasta 17,500 km/año para vehículos nuevos.
 6. Se complementaron los factores de emisión para las categorías vehiculares y para los contaminantes para los que no se cuenta con factores de emisión propios (e.d; medidos en campaña de campo para las condiciones de la ciudad en la fase anterior del proyecto). Los factores de emisión que se encontraban faltantes corresponden entonces a PM en vehículos que operan con gasolina y gas natural vehicular; y CO₂, CO, THC y NO_x en vehículos que operan con combustible diésel. Para estas categorías y contaminantes se utilizaron factores de emisión del modelo IVE de la EPA.

ANEXO 1.9. Esquema de implementación del SITP proyectado para la estimación de beneficios del Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá.

Para la formulación del SITP se supuso un escenario más conservador que el esperado por la Administración Distrital. La diferencia fundamental radica en que, en el marco del plan decenal de descontaminación, se consideró que los grandes cambios que sufrirá la ciudad en materia de transporte público colectivo ocurrirán de forma paulatina y progresiva. De esta forma, de darse los plazos originalmente esperados, las desviaciones de los resultados aquí reportados irán a favor de los beneficios documentados por el PDDB.

En la Figura 1 se muestran las proyecciones de las emisiones de los tres escenarios de implementación del SITP analizados, a saber:

- 1. SITP - Gerencia:** Es el escenario definido por la gerencia del SITP, en el cual se contempla un ajuste inmediato del número de vehículos que harán parte del sistema en el primer año de implementación del mismo (esto es, unos 10,800 vehículos). De esta forma en el año 2011 saldrían de circulación cerca de 5,400 buses, busetas y microbuses, y a lo largo del decenio serían adquiridos 7,500 vehículos para lograr mantener la edad promedio de la flota entre 5 y 6 años.
- 2. SITP I - Uniandes:** En este escenario de implementación se retirarían paulatinamente los vehículos más viejos de la flota hasta que en el año 2020 se logre obtener un parque de 10,600 vehículos, sin que exista un programa de renovación de la flota remanente. A pesar de que este sería el escenario más económico, la disminución de las emisiones estaría limitada por la vejez del parque automotor que podría ascender a 17 años en el 2020.
- 3. SITP II - Uniandes:** Escenario fue propuesto como una modificación del anterior, en el cual se fija como objetivo la disminución paulatina de la edad promedio de la flota, hasta alcanzar los 6.5 años al final del decenio. Se mantendría, sin embargo, la política de fijar en 10,600 vehículos el tamaño ideal del parque. En este escenario sería necesario adquirir alrededor de 8,000 vehículos.

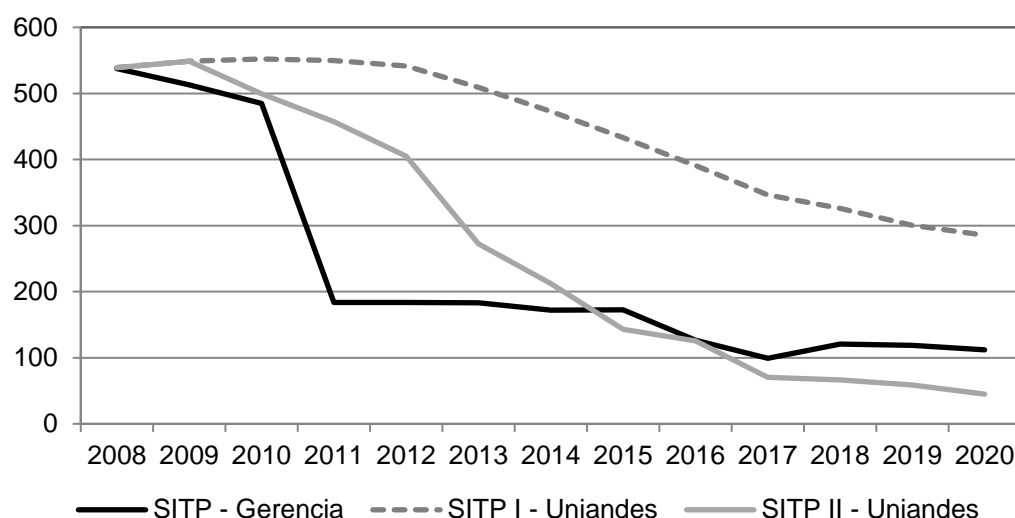


Figura 1. Proyección de las emisiones de material particulado provenientes de la flota de TPC para los tres escenarios de análisis.

Por su parte, en la Figura 2 se presenta la evolución de las edades promedio de la flota según los planes de adquisición y chatarrización de vehículos de cada uno de estos tres esquemas de implementación.

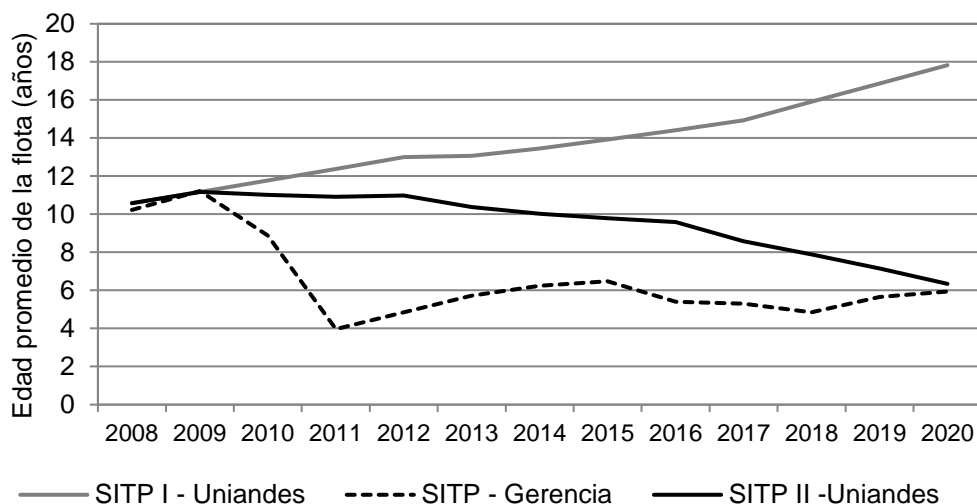


Figura 2. Promedio de edad de la flota de transporte público colectivo en los tres escenarios de implementación del SITP.

Es necesario aclarar que la participación modal de la categoría “Transporte público” se mantiene constante para todos los escenarios, así como la proyección de viajes para la ciudad en los próximos diez años. Esto implica que las diferencias en términos del tamaño del parque entre los tres escenarios se traducen en cambios del índice de pasajeros por kilómetro (IPK) y en el factor de actividad del parque. En la Tabla 1 se presentan los valores de estos indicadores para los escenarios.

Nótese como, en el escenario de la gerencia del SITP, el incremento del factor de actividad en los últimos años (derivados de un aumento de la flota) se traduce en unos niveles de emisión más altos al final del decenio (ver Figura 1).

Tabla 1. Parámetros de movilidad de la flota de TPC.

Año		2010	2012	2014	2016	2018	2020
Viajes/día del TPC		5,767,671	5,632,886	5,245,480	4,823,689	4,578,844	4,529,150
Proyección Uniandes	Km/día	3,392,748	3,129,381	2,676,265	2,275,325	2,081,293	2,058,705
	Número de vehículos	15,434	14,743	13,048	11,494	10,708	10,592
	IPK	1.70	1.80	1.96	2.12	2.20	2.20
Proyección gerencia SITP	Km/día	3,544,891	2,305,592	2,256,374	2,206,552	2,212,152	2,231,978
	Número de vehículos	16,126	10,862	11,001	11,147	11,381	11,483
	IPK	1.63	2.44	2.32	2.19	2.07	2.03

En la Tabla 2 se presentan los costos estimados para cada uno de los escenarios. Adicionalmente, se presentan los beneficios asociados a cada escenario en términos de toneladas de PM reducidas en el decenio.

Tabla 2. Comparación de costos y beneficios de los tres escenarios de implementación.

Escenarios	Emisiones PM en todo el decenio (Ton PM)	Diferencia con el escenario tendencial* (Ton PM)	Costo de la medida (millones pesos)	Relación costo/beneficio (millones/ton PM reducida)
SITP I - Uniandes	5,465	2,204	223,040	101
SITP II - Uniandes	3,617	4,052	1,261,220	311
SITP - Gerencia SITP	2,210	5,459	1,457,920	267

***Escenario tendencial:** representa en escenario base, el cual se tendría si no se adelantara ninguna acción para mejorar el desempeño del transporte público, ni reestructurar su oferta, se estima que a lo largo del decenio 2010-2020 esta flota emitiría unas 7,670 toneladas de PM.

ANEXOS SECCIÓN 2

ANEXO 2.1. Clasificación de los sectores productores según la clasificación CIIU.

Tabla 1. Clasificación CIIU de los sectores productores que aportan emisiones por combustión externa – Aproximación 3 códigos.

Sector	Descripción
D151	Producción , procesamiento y conservación de carne y pescado
D152	Procesamiento de frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas
D153	Elaboración de productos lácteos
D154	Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón, y de alimentos preparados para animales
D155	Elaboración de productos de panadería
D156	Elaboración de productos de café
D158	Elaboración de otros productos alimenticios
D159	Elaboración de Bebidas
D171	Preparación e hilatura de fibras textiles
D172	Tejedura de productos textiles no producidos en la misma unidad de producción
D173	Acabado de productos textiles no producidos en la misma unidad de producción
D174	Fabricación de otros productos textiles
D175	Fabricación de tejidos y artículos de punto y anchillo
D181	Confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel
D191	Curtido y adobo de cueros
D192	Fabricación de calzado
D201	Aserrado, acepillado e impregnación de la madera
D203	Fabricación de partes y piezas de carpintería para edificios y construcciones
D209	Fabricación de otros productos de madera; fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería
D210	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón
D221	Actividades de edición
D222	Actividades de impresión
D223	Actividades de servicios relacionadas con la impresión
D232	Fabricación de productos de la refinación del petróleo
D241	Fabricación de sustancias químicas básicas
D242	Fabricación de otros productos químicos
D251	Fabricación de productos de caucho
D252	Fabricación de productos de plásticos
D269	Fabricación de productos minerales no metálicos ncp
D271	Industrias básicas de hierro de metales preciosos y de metales no ferrosos
D272	Industrias básicas de metales preciosos y de metales no ferrosos
D281	Fabricación de productos metálicos para uso estructural, tanques, depósitos y generadores de vapor
D289	Fabricación de otros productos elaborados de metal ncp
D291	Fabricación de maquinaria de uso general
D292	Fabricación de maquinaria de uso especial
D293	Fabricación de aparatos de uso doméstico ncp
D311	Fabricación de motores, generadores y transformadores eléctricos
D312	Fabricación de aparatos de distribución y control de la energía eléctrica
D315	Fabricación de lámparas eléctricas y equipo de iluminación
D319	Fabricación de otros tipos de equipo eléctrico ncp
D331	Fabricación de aparatos e instrumentos médicos y de aparatos para medir, verificar, ensayar, navegar y otros fines, excepto instrumentos de óptica
D341	Fabricación de vehículos automotores y sus motores
D342	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques
D343	Fabricación de partes, piezas (autopartes), accesorios (lujos) para vehículos

Sector	Descripción
	automotores y para sus motores
D359	Fabricación de otros tipos equipos de transporte ncp
D361	Fabricación de muebles
D369	Industrias manufactureras ncp
D182	Adobo y teñido de pieles; fabricación de artículos de piel
D202	Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles
D243	Fabricación de Fibras sintéticas
D273	Fundición de metales
D314	Fabricación de acumuladores y de pilas eléctricas
D322	Fabricación de transmisores de radio y televisión y de aparatos para telefonía y telegrafía
D371	Reciclaje de desperdicios y de desechos metálicos
A012	Producción específicamente pecuaria
A014	Actividades de Servicios agrícolas y ganaderos, excepto las actividades veterinarias
G502	Mantenimiento y reparación de vehículos automotores
G515	Comercio al por mayor de productos intermedios, desperdicios y desechos no agropecuarios
N851	Actividades de las instituciones prestadoras de servicios de salud, con internación
O900	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares
O921	Actividades de cinematografía, radio y televisión y otras actividades artísticas
O930	Otras actividades de servicio

Tabla 2. Clasificación CIIU de los sectores productores que aportan emisiones por combustión externa – Aproximación 2 códigos.

Sector	Descripción
A01	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas
D15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas
D17	Fabricación de productos textiles
D18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles
D19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería
D20	Transformación de Madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería
D21	Fabricación de Papel, cartón y productos de papel y cartón
D22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones
D23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear
D24	Fabricación de sustancias y productos químicos
D25	Fabricación de productos de caucho y de plástico
D26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
D27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos
D28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo
D29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp
D31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp
D32	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones
D33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes
D34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
D35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte
D36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras ncp
D37	Reciclaje
G50	Comercio, mantenimiento y reparación de vehículos automotores y motocicleta, sus partes, piezas y accesorios; comercio al por menor de combustibles y lubricantes para vehículos automotores
G51	Comercio al por mayor y en comisión o por contrato, excepto el comercio de vehículos automotores y motocicletas; mantenimiento y reparación de maquinaria y equipo
N85	Servicios sociales y de salud
O90	Eliminación de desperdicios y aguas residuales; saneamiento y actividades similares
O92	Actividades de esparcimiento y actividades culturales y deportivas
O93	Otras actividades de servicios

ANEXO 2.2. Estimación de la tasa de crecimiento del PIB real de Bogotá.

En la Tabla 1 se presentan los datos oficiales del PIB de Colombia para los años 1994- 2007 y los datos sobre la participación del PIB de Bogotá en el PIB nacional para cada uno de los años. Asimismo, se presentan los resultados sobre la tasa de crecimiento logarítmica para cada periodo y la tasa media de crecimiento logarítmica utilizada para proyectar las emisiones del sector industrial de la ciudad.

Tabla 1. Tasa de crecimiento del PIB real de Bogotá.

Año	PIB Colombia (Millones de pesos ¹)	Participación de Bogotá en el PIB nacional	PIB Bogotá (Millones de pesos ¹)	Tasa crecimiento Logarítmica
1994	67,532,862	24%	163,743	0.026
1995	71,046,217	24%	168,073	-0.014
1996	72,506,824	23%	165,777	0.032
1997	74,994,021	23%	171,203	0.017
1998	75,421,325	23%	174,118	-0.115
1999	72,250,601	21%	155,249	0.036
2000	74,363,831	22%	160,979	0.013
2001	75,458,108	22%	163,113	0.042
2002	76,917,222	22%	170,073	0.032
2003	79,884,490	22%	175,669	0.066
2004	83,772,433	22%	187,722	0.054
2005	87,727,925	23%	198,057	0.212
2006	93,730,891	26%	244,899	0.075
2007	100,777,524	26%	263,977	
			Media	0.037
			Desviación	0.071

¹ Precios constantes de 1994

ANEXO 2.3. Características de los sistemas de control de emisiones.

Tabla 1. Características de los sistemas de control de emisiones: eficiencia de remoción y costos.

Código EPA	Tecnología	Mecanismo	Remoción (%)					Efectividad de costo (\$ por m³/seg)	Costo promedio de capital (\$ por m³/seg)	Costo promedio de operación y mantenimiento (\$ por m³/seg)	Costo promedio anualizado (\$US por m³/seg)
			PM	NO _x	COT	CO	SO _x				
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	Captura/disposición	99	NA	NA	NA	NA	575,000	66,000	111,000	163,000
EPA-452/F-03-005	Ciclones	Fuerzas centrífugas e inerciales	80	NA	NA	NA	NA	677,000	18,000	30,000	49,000
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	Gravedad	10	NA	NA	NA	NA	30,000	61,000	11,000	16,000
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Centrífuga/inercia	30	NA	NA	NA	NA	1,066,000	75,000	169,000	271,000
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	Gravedad/inercia	5	NA	NA	NA	NA	4,000	11,000	10,000	18,000
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Reducción velocidad de gas	10	NA	NA	NA	NA	7,000	17,000	742,000	2,138,000
EPA-452/F-03-010	Depurador por Condensación	Interceptación	99	NA	NA	NA	NA	191,000	33,000	13,000	18,000
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Interceptación/inercia	85	NA	85	NA	NA	1,606,000	18,000	238,000	257,000
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/Torre de bandejas	Interceptación/inercia	75	NA	NA	NA	90	2,000	48,000	153,000	248,000
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	Interceptación	90	NA	NA	NA	NA	4,000	91,000	372,000	384,000

Código EPA	Tecnología	Mecanismo	Remoción (%)					Efectividad de costo (\$ por m³/seg)	Costo promedio de capital (\$ por m³/seg)	Costo promedio de operación y mantenimiento (\$ por m³/seg)	Costo promedio anualizado (\$US por m³/seg)
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Interceptación/inercia	90	NA	NA	NA	NA	3,000	99,000	336,000	350,000
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	Absorción	73	NA	85	NA	85	3,000	209,000	309,000	311,000
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo	Absorción	85	NA	73	NA	NA	1,539,000	26,000	103,000	165,000
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Interceptación/inercia	85	NA	NA	NA	NA	4,000	77,000	405,000	647,000
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	Destrucción por oxidación	62	NA	95	NA	NA	9,000	366,000	95,000	188,000
EPA-452/F-03-019	Antorcha	Destrucción por oxidación	NA	NA	98	NA	NA	10,000	3,122,000,000	202,000	10,000
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	Destrucción por oxidación	85	NA	99	NA	NA	3,000	364,000	97,000	172,000
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	Destrucción por oxidación	NA	NA	97	98	NA	32,000	623,000	45,000	134,000
EPA-452/F-03-022	Incinerador termal	Destrucción por oxidación	62	NA	99	NA	NA	6,000	374,000	263,000	263,000
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	Captura/disposición	99	NA	NA	NA	NA	EA	27,000	EA	EA
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	577,000	265,000	93,000	163,000
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	521,000	105,000	94,000	148,000
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Captura/disposición	97	NA	NA	NA	NA	662,000	319,000	111,000	188,000

Código EPA	Tecnología	Mecanismo	Remoción (%)					Efectividad de costo (\$ por m³/seg)	Costo promedio de capital (\$ por m³/seg)	Costo promedio de operación y mantenimiento (\$ por m³/seg)	Costo promedio anualizado (\$US por m³/seg)
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo tubo-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	1,163,000	464,000	42,000	114,000
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo placa-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	458,000	140,000	124,000	139,000
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	862,000	552,000	36,000	132,000
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	Captura/disposición	95	NA	NA	NA	NA	1,893,000	386,000	291,000	361,000
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNRC)	Reducción química	NA	55	NA	NA	NA	5,000	6,000	1,074,000	2,000
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	Reducción química	NA	80	NA	NA	NA	17,000	60,000	6,000	14,000
EPA-452/F-03-033	Recintos totales permanentes	Captura/disposición	NA	NA	100	NA	NA	EA	488,000	12,000	86,000
EPA-452/F-03-034	Desulfuración gas chimenea	Absorción	NA	NA	NA	NA	74	6,000	237,000	46,000	77,000

Tabla 2. Características de los sistemas de control de emisiones: requisitos de operación y aplicaciones más comunes.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	Trata también los contaminantes peligrosos del aire en forma particulada, tales como la mayoría de los metales (excepción del mercurio).	≤10 y 2.5	0.1 – 5	95 - 200	1 – 23	NO	Industria de productos de metal; de esmerilado y fresado de pigmento; de productos minerales; manufactura de asfalto y molienda de granos.
EPA-452/F-03-005	Ciclones	Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	>10 , ≤10 y 2.5	0.5 -12	540	2.3 -230	NO	Operaciones de secado por aspersión en la industria química y de alimentos; en operaciones de trituración, molienda y calcinación en las industrias químicas; en la industria de metales ferrosos y no ferrosos; y en las unidades industriales y comerciales de combustión.
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	>10	0.25 -4	540	20 – 4500	NO	Los elutriadores se diseñan para aplicaciones específicas, no son adecuados para cumplir regulaciones, se utilizan en procesos de plástico granulado, operaciones metálicas secundarias, procesos agrícolas o de alimentos y en la industria petroquímica.
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	8 - 10	0.75 – 10	370	10 – 250	SI	Industria de alimentos, farmacéutica, y labrado de maderas.
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	>10	0.5 – 10	540	20 – 4500	NO	Se usan en una amplia variedad de procesos, sin embargo han sido reemplazados por los ciclones.
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Son conocidos colectivamente como “pre-limpiadores,” debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de PM.	>10	0.25 - 0.5	540	20 – 4500	NO	Se usan en la industria de refinación de metales, en las plantas generadoras de calor y de electricidad.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	
EPA-452/F-03-010	Depurador por Condensación	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	0.25 - 10	10	20 - 26		SI	Para uso en el control de las corrientes de gas - residuales que contienen PM (fracción fina).
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	0.25	0.5 – 47	60	0.2 – 11	SI	Se usan en el control de emisiones de aerosoles de la industria química, de plásticos, de asfalto, de ácido sulfúrico y de recubrimiento de superficies.
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/Torre de bandejas	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.47 – 35	4 - 370		SI	Son utilizados en la industria agrícola, alimenticia y en las fundiciones de acero.
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.47 – 24	150	4.5	SI	Industria de alimentos (cereal, harina, arroz, sal, azúcar, etc.), papel, productos farmacéuticos y químicos, plásticos, tabaco, fibra de vidrio, cerámica y fertilizantes.
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.47 – 24	150	23	SI	Industria de alimentos (cereal, harina, arroz, sal, azúcar, etc.), papel, productos farmacéuticos y químicos, plásticos, caucho, cerámica y fertilizantes.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.25 - 0.35	4 – 38	0.45	SI	Usados en la industria química, de aluminio, coque y aleaciones ferrosas, alimentos, agrícola y cromado por electro-plateado.
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.7 -47	4 - 370		SI	Son usados para el control de emisiones de la combustión de carbón y aceite provenientes de empresa de servicios públicos eléctricos y de fuentes industriales. En los procesos de las industrias de metales primarios no ferrosos, plantas de ácido sulfúrico o azufre elemental.
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Este tipo de tecnología hace parte del grupo de controles para los contaminantes del aire llamados colectivamente “depuradores en húmedo”.	≤10 y 2.5	0.2 - 0.47	4 - 400	1 – 115	NO	Controla las emisiones provenientes de las calderas termoeléctricas, industriales, comerciales, e institucionales que son alimentadas con carbón, aceite, madera y residuos líquidos. En industrias químicas, de productos minerales, madera, pulpa y papel, productos de piedra, y manufactureras de asfalto, las industrias de plomo, aluminio, hierro y acero y a los incineradores municipalidades de residuos sólidos.
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	A este tipo de incinerador también se le conoce como oxidador catalítico o reactor catalítico.	10	0.33 – 24	320 -430		NO	Son utilizados para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Controlan las emisiones de las siguientes fuentes: calderas para la cocción de barnices, hornos para fundición, hornos para el procesamiento de papel filtro, secadoras de barniz, válvulas de purga en la industria manufacturera de químicos orgánicos sintéticos, productos de caucho y manufactura de polímeros y de resinas de polietileno, poliestireno y poliéster.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	
EPA-452/F-03-019	Antorcha	No elimina los COV de tipo halogenados, puede ser fuente de SOx, NOx y CO.	N.A	Depende de las propiedades de la corriente del gas de desecho y de la configuración de la antorcha.	500 - 1100	Dependiendo del tipo de configuración de la antorcha.	SI	Industrias del petróleo, petroquímica, refinerías y química.
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en fracción fina.	10	0.24 -24	590 y 650		NO	Son utilizados para reducir las emisiones de las fuentes de COV (respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes y operaciones realizadas en hornos y secadoras).
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	A este tipo de incinerador también se le conoce como oxidador térmico regenerativo (OTR) u oxidador catalítico regenerativo (OCR) si se utiliza un catalizador.	N.A	2.4 - 240	760 - 820	100 ppmv	NO	Para reducir las emisiones provenientes de una variedad de fuentes estacionarias. Es aplicable para controlar COV proveniente del manejo de metales y recubrimientos, manufactura de automóviles y manufactura de productos forestales y de madera.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	Aplicación
EPA-452/F-03-022	Incinerador térmico	A este tipo de incinerador también se le conoce como incinerador de llama directa, oxidador térmico, o quemador auxiliar.	hollín	0.24 – 24	590 y 650		NO	Reducen las emisiones provenientes de todas las fuentes de COV (respiraderos de reactores, respiraderos de destilación, operaciones con solventes y operaciones realizadas en hornos y secadoras). Almacenamiento, carga y descarga de productos de petróleo, limpieza de recipientes, válvulas de purga en la industria de manufactura de químicos orgánicos sintéticos, manufactura de pinturas, productos de caucho y manufactura de polímeros, manufactura de maderas, operaciones de recubrimiento de superficies, recubrimientos flexibles de vinilo, industria de artes gráficas, instalaciones para el tratamiento, almacenamiento y desecho de residuos tóxicos.
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	A este tipo de incinerador también se le conoce como incinerador de llama directa, oxidador térmico, o quemador auxiliar.	≥0.12 y 0.3	0.10 - 1.0	93	1 – 30	SI	Son aplicados donde se requieren altas eficiencias de recolección de PM fino, en aplicaciones que involucren PM de origen químico, biológico y radioactivo. Son comúnmente usados en industrias incineradoras de residuos, y en la manufactura de productos farmacéuticos y micro-electrónicos.
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como fino.	≤10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, procesamiento de metales no ferrosos, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento y asfalto, explotación y procesamiento de piedra.
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en su fracción fina.	≤10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, calderas industriales y comerciales, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto y molienda de grano.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	Aplicación
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para PM en su fracción fina.	≤10 y 2.5	0.1 – 50	260	1 – 23	NO	Los filtros de tela pueden funcionar muy efectivamente en muchas aplicaciones tales como: calderas de termoeléctricas, calderas industriales y comerciales, procesamiento de metales ferrosos, productos minerales, manufactura de cemento, limpieza de carbón, explotación y procesamiento de piedra, manufactura de asfalto y molienda de grano.
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES)- Tipo tubo-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤10 y 2.5	0.5 – 50	700	1 – 10	SI	Se utilizan en la industria textil, papelera y procesos de pulpa de madera, industria metalúrgica, incineradores de residuos peligrosos y producción de ácido sulfúrico.
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES)- tipo placa-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤10 y 2.5	100 – 500	700	2 – 110	SI	Se utilizan en la industria de servicios eléctricos públicos. Son utilizados en industrias papeleras y pulpas de madera, cementera y otros minerales y de metales no ferrosos.
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤10 y 2.5	0.5 – 50	< 80 - 90	1 – 10	SI	Son utilizados en la industria textil, las industrias de productos de la madera, la industria metalúrgica incluyendo los hornos de coque y en plantas de producción de ácido sulfúrico.

Código EPA	Tecnología	Observaciones generales	Características de la corriente				Requisitos	Aplicación
			Tamaño de partícula (µm)	Flujo de aire (m³/seg)	Temperatura (°C)	Carga de contaminante (g/m³)	Pretratamiento	
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	Un PE es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas encauzadas dentro de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección.	≤10 y 2.5	50 – 250	< 80 - 90	2 – 110	SI	Son utilizados en la manufactura química, procesamiento de metales no ferrosos, procesamiento de materiales ferrosos.
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNRC)	Reducción química de un contaminante por medio de un agente reductor.	N.A	N.A	870 - 1150	200 - 400 ppm	NO	Calderas de fondo seco, de pared de fuego y de fuego tangencial, unidades de fondo húmedo, de fuego atizado y unidades de lecho fluidizado. Incineradores térmicos, unidades de combustión de residuos sólidos municipales y peligrosos, hornos de cemento, calentadores de procesos y chimeneas de vidrio.
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	Reducción química de un contaminante por medio de un agente reductor.	N.A	N.A	250 - 427		SI	Unidades de combustión de combustible fósil, tales como calderas generadoras de electricidad, calderas industriales, calentadores de procesos con turbinas a gas y motores de combustión interna.
EPA-452/F-03-033	Recintos totales Permanentes	Dispositivo de captura - recolección y descarga de los contaminantes hacia un dispositivo de abatimiento tal como un incinerador.	N.A	N.A		No debe exceder los límites permisibles de exposición.	NO	Cualquier proceso u operación donde la captura total de las emisiones es requerida. Son comúnmente usados en impresión, recubrimientos y laminado.
EPA-452/F-03-034	Desulfurador gas chimenea (DGC)	Dispositivo de control - absorción y reacción usando un reactivo alcalino para producir un compuesto sólido.	N.A	N.A	150 - 370	2000 ppm	SI	Unidades fijas de combustión de carbón y combustóleo tales como las calderas industriales y las utilizadas para la generación de la electricidad, así como otras unidades de combustión industriales, tales como incineradores de residuos municipales y los de residuos hospitalarios, hornos para cal y cemento, fundidoras de metal, refinerías de petróleo, hornos para vidrio y plantas de manufactura de ácido sulfúrico. Aproximadamente el 85% de los sistemas de DGC instalados en los EEUU son sistemas húmedos, 12% son de aspersión en seco y 3% son sistemas secos.

Tabla 3. Características de los sistemas de control de emisiones: ventajas y desventajas.

Código EPA	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-004	Filtros de cartucho	La eficiencia aumenta si aumenta la velocidad de filtración y el tamaño de partícula. Los factores que determinan la eficiencia de recolección de los filtros de cartucho son la velocidad de filtración, las características de las partículas, las características del medio filtrante y el mecanismo de limpieza.	Proporcionan altas eficiencias de recolección tanto para PM grueso como para fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de salida del filtro está muy limpio y en muchos casos puede ser recirculado a la planta. No presenta problemas la corrosión ni la oxidación de los componentes. La operación es relativamente simple. No requieren de altos voltajes.	Para temperaturas muy por encima de los 95°C (200°F), se requieren medios filtrantes especiales. Tienen requisitos de mantenimiento relativamente alto. La vida de los filtros puede ser reducida a altas temperaturas y en presencia de constituyentes ácidos o alcalinos que puedan estar presentes como gases o partículas. Los filtros de cartucho no pueden operarse en ambientes húmedos. Se requiere una caída de presión mediana.
EPA-452/F-03-005	Ciclones	La eficiencia de los ciclones aumenta con el tamaño de la partícula (densidad), la velocidad en el conducto de la entrada, longitud y diámetro del cuerpo del ciclón, del diámetro del conducto de salida del gas, la carga del polvo y el pulimiento de la superficie de la pared interior del ciclón. Los ciclones trabajan más eficientemente con cargas de contaminantes más altas, siempre y cuando no se obstruyan.	Bajos costos de capital. Bajos requerimientos de mantenimiento. Caída de presión relativamente baja. Limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.	Eficiencias de colección de PM relativamente bajas. No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes. Las unidades de alta eficiencia pueden tener altas caídas de presión.
EPA-452/F-03-006	Elutriadores	La eficiencia de remoción aumenta con el tamaño de la partícula (densidad), disminución de la velocidad de flujo y número de tubos verticales o torres. Los elutriadores se diseñan para remover partículas de tamaño >10 µm, la eficiencia de recolección para PM ₁₀ es muy baja, menor del 10%. La entrada del aire frío al elutriador puede causar condensación y por ende corroe el material del mismo, esto genera acumulación del polvo y obstrucción de la tolva.	Bajos costos de capital, de energía y bajos requerimientos de operación. Falta de partes móviles. Excelente funcionamiento. Baja caída de presión. Bajas velocidades del gas. Proporciona enfriamiento de la corriente de gas. Las limitaciones de la temperatura y presión son dependientes únicamente de los materiales de construcción. Colección y disposición en seco.	Eficiencias de colección de PM relativamente bajas. Inadecuado para materiales pegajosos o aglutinantes. Gran tamaño físico.
EPA-452/F-03-007	Separadores con ayuda mecánica	Tienen un gran consumo de energía lo cual incrementa los costos de operación, requiere un dispendioso mantenimiento, no puede manejar flujos pegajosos o aglutinantes y están más sujetos a la abrasión. Es posible que ya no se fabriquen.	Diseño compacto y requerimientos de espacios pequeños. Mayores eficiencias en la recolección de pequeñas partículas que las de los otros diseños de prelimpiadores. Recolección y disposición en seco y no requieren mucho espacio.	Mayores requerimientos de energía y costos de operación que los otros diseños de prelimpiadores. Mayores requerimientos de mantenimiento. No pueden manejar materiales pegajosos o aglutinantes. Están más sujetos a la abrasión que otros prelimpiadores.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-008	Separadores de momento	La eficiencia aumenta cuando aumenta el tamaño de diámetro de la partícula (densidad), la velocidad de la corriente del gas y el número de vueltas de los deflectores. La entrada de aire frío puede causar condensación y esto a su vez puede ocasionar corrosión, lo que genera la acumulación de partículas y la obstrucción de la tolva.	Bajos costos de capital. Bajos costos de operación. Requiere menos espacio que otros sistemas. Caídas de presión bajas. Limitaciones de T° y P en los materiales de construcción. Recolección y disposición en seco	Eficiencias de recolección de PM bajas. Incapaz de manejar materiales peligrosos y pegajoso.
EPA-452/F-03-009	Cámaras de asentamiento	Las cámaras de asentamiento han sido reemplazadas por ciclones y las cámaras de asentamiento de bandejas múltiples nunca han sido ampliamente usadas.	Bajos costos de capital. Costos bajos de energía. Bajos costos de operación. Excelente funcionamiento. Baja caída de presión. No está sujeto a la abrasión. Enfía la corriente de gas. Recolección y disposición en seco. Los materiales de construcción dependen de las T° y P que se manejen.	Eficiencias de recolección de PM bajas. No puede manejar materiales pegajosos, ni aglutinantes. Ocupan mucho espacio. Las bandejas de las cámaras de bandejas múltiples se pueden deformar a altas temperaturas.
EPA-452/F-03-010	Depurador por Condensación	Estos sistemas no están disponibles comercialmente. Requiere un eliminador de neblina. El gas de desecho generalmente debe ser enfriado para que alcance condiciones de saturación.	Capacidad para reducir emisión de partículas finas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Los gases y polvos corrosivos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El gas de salida puede requerir recalentamiento para evitar pluma visible. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable. La disposición del residuo puede ser costosa.
EPA-452/F-03-011	Depurador con lecho de fibra	Las corrientes del gas a menudo deben enfriarse para entrar a los depuradores con lecho de fibra.	Capacidad para reducir partículas finas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Los gases y polvos corrosivos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento.
EPA-452/F-03-012	Depurador placa de impacto/Torre de bandejas	No son recomendables para reducir PM fino.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Proveen adsorción de gases y recolección de polvo en una sola unidad. Pueden manejar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Proveen enfriamiento a los gases calientes. Los gases corrosivos y polvos pueden ser neutralizados. Mejoran el contacto entre el gas y una pasta aguada para la remoción de SO ₂ .	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-013	Depurador con ayuda mecánica	El empleo de los depuradores con ayuda mecánica se ve limitado por el alto mantenimiento que estos equipos requieren.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Puede tratar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Debe tener un sistema de enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvo pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El PM recolectado puede estar contaminado puede no ser reciclable. La disposición de residuos puede ser muy costosa. La acumulación de polvo puede provocar un desequilibrio. Las partículas pueden raspar los rotores.
EPA-452/F-03-014	Depurador de orificio	Los depuradores en húmedo generan residuos en forma de una pasta aguada que requiere un tratamiento tanto de aguas residuales como de disposición de residuos sólidos.	Capacidad de manejar polvos inflamables y explosivos. Puede tratar neblinas. La eficiencia de recolección puede ser variada. Debe tener un sistema de enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvo pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede ocasionar problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de corrosión. Se requiere protección contra el congelamiento. El material particulado recolectado puede estar contaminado y puede ser no reciclable. La disposición final de los residuos puede ser costosa.
EPA-452/F-03-015	Depurador con lecho empacado	En un depurador de lecho empacado las concentraciones altas de PM pueden obstruir el lecho, esta es una limitación de estos dispositivos al uso de corrientes con cargas de polvo bajas. Para el tratamiento de PM se requiere un dispendioso mantenimiento.	Requiere una caída de presión baja. La construcción en plástico reforzado con fibra de vidrio permite su operación en atmósferas corrosivas. Capaz de lograr eficiencias de transferencia de masa altas. La altura y/o tipo de empaque pueden ser cambiados para mejorar la transferencia de masa sin la adquisición de equipo nuevo. Bajo costo de capital. Requisitos de espacio bajos. Capacidad de reducir tanto partículas como gases.	Puede crear problemas por desechos de agua (o líquidos). El producto residual se recolecta en húmedo. El PM puede causar la obstrucción de los lechos o placas. Su uso es sensible a la temperatura. Costos de mantenimiento altos.
EPA-452/F-03-016	Depurador en húmedo		Requiere una caída de presión baja. La construcción en plástico reforzado con fibra de vidrio permite su operación en atmósferas corrosivas. Capaz de lograr eficiencias de transferencia de masa altas. La altura y/o tipo de empaque pueden ser cambiados para mejorar la transferencia de masa sin la adquisición de equipo nuevo. Bajo costo de capital. Requisitos de espacio bajos. Capacidad de reducir tanto partículas como gases.	Puede crear problemas por desechos de agua (o líquidos). El producto residual se recolecta en húmedo. Es ineficiente para remover PM fino. Su uso es sensible a la temperatura. Costos de mantenimiento altos. Eficiencias de transferencia de masa bajas.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-017	Depurador tipo Venturi	Son aplicables para controlar las fuentes de emisiones con altas concentraciones de PM de tamaño menor a una micra. Cuando el gas de desecho contiene partículas y gases, los depuradores venturi son utilizados como un dispositivo de pre-tratamiento.	Pueden manejar polvos inflamables y explosivos. Pueden tratar neblinas. Requiere un mantenimiento bajo. Simple diseño y fáciles de instalar. La eficiencia de recolección puede ser variada. Proporcionan enfriamiento para los gases calientes. Los gases corrosivos y polvos pueden ser neutralizados.	El líquido efluente puede crear problemas de contaminación del agua. El producto de desecho se recolecta en húmedo. Alto potencial de problemas de corrosión. Se requiere protección de congelamiento. El PM recolectado puede estar contaminado y puede no ser reciclado. Tratamiento de los desechos del lodo residual puede ser muy costoso.
EPA-452/F-03-018	Incinerador catalítico	Las características de la corriente de entrada deben ser evaluadas ya que el catalizador se puede desactivar.	Menores requisitos de combustible. Menores temperaturas de operación. Pocos o ningún requisito de aislamiento. Peligros de incendio reducidos. Menor volumen/tamaño requerido.	Costo inicial alto. Es posible el envenenamiento del catalizador. El catalizador usado que no puede ser regenerado puede requerir ser desechado.
EPA-452/F-03-019	Antorcha	La corriente de gas de desecho debe poseer un valor de calentamiento mayor de 11 MJ/m ³ . Si este mínimo no es cubierto por el gas de desecho se debe introducir un gas auxiliar que complete la diferencia.	Pueden ser una manera económica de tratar descargas repentinas de cantidades grandes de gas. En muchos casos no requieren un combustible auxiliar para sostener la combustión y pueden ser utilizadas para controlar las corrientes de desecho intermitentes.	Pueden producir ruido, radiación solar de calor y luz indeseables. Pueden ser una fuente de SO _x , NO _x y CO. No pueden ser utilizados para tratar corrientes de desecho con compuestos halogenados y se pierde el calor liberado proveniente de la combustión.
EPA-452/F-03-020	Incinerador tipo recuperativo	La eficiencia de destrucción de COV depende de los criterios de diseño (temperatura de cámara entre 870 y 1100 °C), el tiempo de residencia (0.75 seg.), la concentración de COV en la entrada, el tipo de compuesto y el grado de mezclado.	Los incineradores son uno de los métodos más positivos y comprobados para destruir COV, son más económicos que los incineradores térmicos, ya que recuperan el 70% del calor y pueden ser usados para precalentar los gases de entrada.	Los costos de un incinerador son altos debido al costo de combustible adicional. No están bien indicados para corrientes que tiene un flujo altamente variable debido al tiempo reducido de residencia y al mezclado deficiente, lo cual causa disminución de la temperatura de las cámaras de combustión.
EPA-452/F-03-021	Incinerador tipo regenerativo	Para usar un oxidador catalítico regenerativo siempre se debe remover antes el PM, ya que si no se hace puede ocasionar la desactivación del catalizador.	Requieren menos combustible debido a la alta recuperación de energía. Capacidad para altas temperaturas (hasta 1100 °C). Menos susceptibles a problemas con compuestos clorados. Emisiones de NO _x generalmente bajas. Requisitos más bajos de combustible que los sistemas debido a que requiere menor temperatura. El catalizador también destruye CO en la corriente de desecho y emisiones de NO _x menores a los de otros sistemas.	Alto costo inicial. Instalación difícil y costosa. Gran peso y tamaño y alta demanda de mantenimiento para las partes en movimiento y el monitoreo del catalizador. El envenenamiento del catalizador es posible, los catalizadores de metales preciosos son más resistentes. El catalizador gastado que no puede ser regenerado puede necesitar ser desechado.

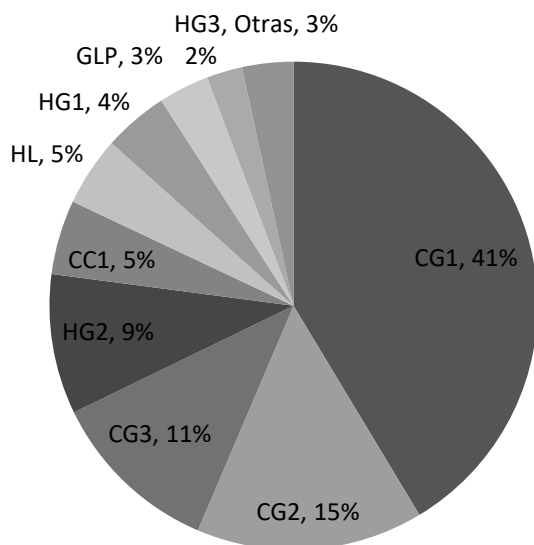
Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-022	Incinerador térmico		Los incineradores son uno de los mejores métodos y de los más utilizados para destruir COV.	Los costos de operación son altos debido a los costos del combustible adicional. No son recomendados para corrientes con flujo variable debido al tiempo reducido de residencia y al mezclado deficiente que ocasionan la reducción en la temperatura en las cámaras de combustión.
EPA-452/F-03-023	Filtro de aire de alta eficiencia	Acepta humedad hasta el 95%. Estos filtros requieren concentraciones de polvo mayores a 0.03 gramos/cm ² . Son útiles para recolectar partículas cuya resistividad sea baja o alta para ser recolectadas por precipitadores electrostáticos.	Estos filtros son usados específicamente para la recolección de PM fino con altas eficiencias de recolección. Son mejor utilizados en aplicaciones con bajas proporciones de flujo y bajas concentraciones del contaminante. No requieren del uso de alto voltaje. Pueden recolectar polvos inflamables.	Requieren que se mantenga integridad de los sellos del filtro. El medio filtrante está sujeto a daños físicos por los esfuerzos mecánicos. La concentración de algunos polvos eventualmente puede representar un peligro de explosión si accidentalmente se produce una chispa. La vida de los filtros puede acortarse en presencia de altas temperaturas, con compuestos ácidos o alcalinos en el gas, con presencia de altas cargas. No pueden operarse en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-024	Filtro (sacudimiento mecánico)	Para el diseño debe considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinas. No pueden ser operados en ambientes húmedos.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-025	Filtro (chorro pulsante)	Para el diseño debe considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa. Pueden ser buenos para recolectar las cenizas de los carbones bajos en azufre o de la ceniza que contenga altos niveles de carbón sin quemar.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinas. No pueden ser operados en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-026	Filtro (aire invertido)	Para el diseño deben considerarse el contenido de humedad y de corrosivos de la corriente gaseosa. Pueden ser buenos para recolectar las cenizas de los carbones bajos en azufre o de la ceniza que contenga altos niveles de carbón sin quemar. Los filtros de tela son útiles para recolectar partículas con resistividades demasiado bajas o altas como para ser recolectadas por un precipitador electrostático.	Los filtros de tela proporcionan altas eficiencias tanto para partículas de tamaño grande como fino. Son relativamente insensibles a las fluctuaciones en las condiciones de la corriente de gas. El aire de la salida del filtro es bastante limpio y en muchos casos puede ser recirculado.	Para temperaturas muy por encima de los 290 °C, se requiere el uso de telas metálicas o de mineral refractario. Requiere telas tratadas para reducir la percolación. Las concentraciones de los polvos en el colector pueden representar un peligro de explosión, si se presenta una chispa accidentalmente cerca a éstos. Las telas pueden arder si se recolecta polvo rápidamente oxidable. La vida de la tela puede ser reducida a temperaturas altas y en presencia de constituyentes gaseosos o partículas ácidas o alcalinos. No pueden ser operados en ambientes húmedos.
EPA-452/F-03-027	Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo tubo-alambre	Operan más eficientemente con resistividades de polvo entre 5×10^3 - 2×10^{10} ohm-cm. Las partículas más difíciles de recolectar son aquellas de diámetros aerodinámicos entre 0.1 y 1 μm . Las partículas entre 0.2 - 0.4 μm por lo general presentan la mayor penetración.	Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas aún con partículas muy pequeñas. Pueden ser diseñadas para un rango amplio de temperaturas hasta de 700 °C. Los costos de operación son relativamente bajos. Las velocidades de flujo son relativamente grandes.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-028	Precipitador electrostático seco (PES) - tipo placa-alambre	Operan más eficientemente con resistividades de polvo entre 5×10^3 - 2×10^{10} ohm-cm. Las partículas más difíciles de recolectar son aquellas de diámetros aerodinámicos entre 0.1 y 1 μm . Las partículas entre 0.2 - 0.4 μm por lo general presentan la mayor penetración.	Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas aún con partículas muy pequeñas. Pueden ser diseñadas para un rango amplio de temperaturas hasta de 700 °C. Los costos de operación son relativamente bajos. Las velocidades de flujo son relativamente grandes.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-029	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo-alambre	La resistividad del polvo no es un factor limitante para los precipitadores electrostáticos húmedos. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas debido a que la resistividad no importa.	Tiene caídas de presión muy pequeñas. Son capaces de alcanzar eficiencias muy altas, aún con partículas muy pequeñas. Se pueden recolectar partículas pegajosas y neblinas, así como polvos explosivos o con alta resistividad. Reducir las fugas al pasar todo el caudal gaseoso a través del campo de recolección y la capacidad de estar sellada herméticamente, para prevenir fugas de materiales especialmente valiosos o peligrosos.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-030	Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo placa-alambre	La resistividad del polvo no es un factor limitante para los precipitadores electrostáticos húmedos. Se pueden recolectar eficientemente partículas mucho más pequeñas debido a que la resistividad no importa.	Tienen caídas de presión muy pequeñas, los requisitos energéticos y los costos de operación tienden a ser bajos. Los costos de operación son relativamente bajos.	Los costos de capital generalmente son altos. Los electrodos requieren altos niveles de mantenimiento. Puede presentarse corrosión cerca de la parte superior de los alambres por efecto de fugas de gas y la condensación ácida.
EPA-452/F-03-031	Reducción selectiva no catalítica (SNCR)	El óxido nitroso es un subproducto formado durante la SNCR. La reducción con base de urea genera más N_2O que los sistemas de base en amoníaco. El óxido nitroso no contribuye a la formación de ozono ni de ácido a nivel del suelo.	Los costos de capital y de operación están entre los más bajos entre todos los métodos de reducción de NO_x . La reducción de la SNCR es relativamente simple y requiere poco tiempo de "descanso" en unidades grandes y medianas.	La corriente de gas debe estar dentro de un rango de temperatura específico. No es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NO_x tales como las turbinas de gas. Se obtienen menores reducciones de NO_x que con la reducción selectiva catalítica (SCR). Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo. Producción de amoníaco en la corriente del gas residual.
EPA-452/F-03-032	Reducción catalítica selectiva	La optimización del proceso después de la instalación puede disminuir los niveles de escape de amoníaco que se produce en este proceso. Las emisiones de gas de combustión con altos niveles de PM pueden requerir un soplador de hollín con el fin de reducir la deposición de PM en el catalizador. También reduce el ensuciamiento del equipo corriente abajo a causa de los sulfatos de amoníaco. La presión del gas residual disminuye significativamente mientras fluye a través del catalizador.	Reducciones más altas de NO_x en comparación a los quemadores de bajo NO_x y la reducción selectiva no catalítica. Es aplicable a fuentes con bajas concentraciones de NO_x . Las reacciones ocurren dentro de un rango de temperatura más bajo y más amplio que en la SNCR. No requiere modificaciones a la unidad de combustión.	Costos de capital y de operación significativamente más altos que los quemadores de bajo NO_x y la SNCR. La reconversión de la SCR en calderas industriales es difícil y costosa. Se requieren grandes cantidades de reactor y catalizador. Puede requerir limpieza del equipo corriente abajo. Producción de amoníaco en la corriente del gas residual.
EPA-452/F-03-033	Recintos totales Permanentes (RTP)	La concentración de los contaminantes dentro del recinto puede variar por factores de 1 para sistemas de ventilación bien diseñados a 10 para sistemas mal diseñados.	Construcción simple. Captura de 100 por ciento. Una vez el diseño es aprobado, no se necesitan pruebas de eficiencia de captura.	Difícil proveer comodidad al trabajar y cumplir con las normas OSHA. Puede requerir aire adicional para evitar la acumulación considerable de calor. Una vez que el RTP ha sido construido, es difícil modificar la configuración del proceso. El RTP es solamente un dispositivo de captura, la cantidad de contaminante removido depende del dispositivo de abatimiento instalado.

Código	Tecnología	Observaciones	Ventajas	Desventajas
EPA-452/F-03-034	Desulfuración gas chimenea	La cantidad de cloro en el gas de combustión afecta la cantidad de agua evaporada por el sistema debido a la formación de sales. El contenido de cloro mejora la remoción de SO ₂ , pero también resulta en la deposición de sales en el absorbedor y en el equipo corriente abajo. Puede requerirse un ventilador de tiro inducido o uno adicional para compensar la caída de presión a través del absorbedor.	Altas eficiencias de remoción de SO ₂ , de 50% hasta 98%. Los productos de la reacción pueden ser reutilizables. La dificultad de reconversión es moderada o baja. Los reactivos son económicos y están fácilmente disponibles.	Altos costos capitales y de operación y mantenimiento. Incrustación y disposición de sólidos húmedos en el absorbedor y en el equipo corriente abajo. Los sistemas húmedos generan un producto de desecho húmedo y pueden causar una pluma visible. No pueden ser usados para concentraciones de SO ₂ en gases residuales mayores a 2000 ppm. La disposición de los residuos aumenta significativamente los costos de operación y mantenimiento.

ANEXO 2.4. Participación de las categorías industriales según el número de fuentes y según su consumo energético.



CC1: Caldera a carbón > 100 BHP; CC2: Caldera a carbón ≤ 100 BHP; CG1: Caldera a gas natural > 100 BHP (año fabricación ≤ 1997); CG2: Caldera a gas natural > 100 BHP (año fabricación > 1997); CG3: Caldera a gas natural ≤ 100 BHP; HG1: Horno de alimentos a gas natural; HG2: Horno de secado y curado a gas natural; HG3: Horno de fundición y cremación a gas natural; HL: Horno ladrillero a carbón; HC: Horno a carbón; GLP: Horno y caldera a GLP .

Figura 1. Participación de las industrias según su consumo energético.

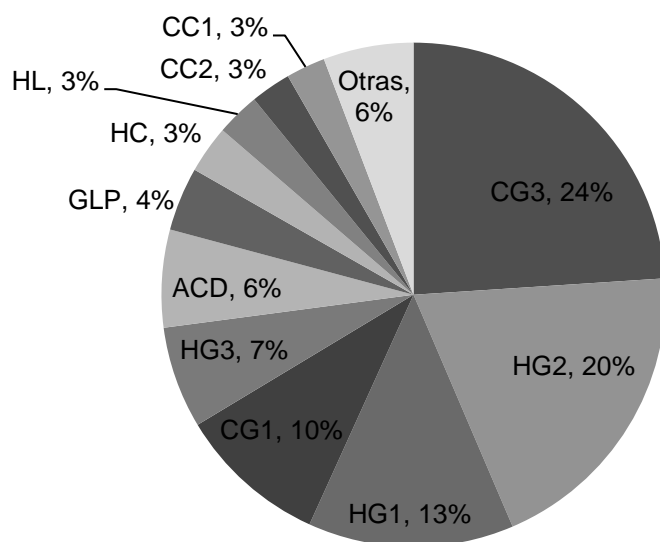


Figura 2. Participación de las industrias según el número de fuentes.

ANEXO 2.5. Coeficientes de emisión para material particulado, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos totales y dióxido de carbono.

NOTA: Los coeficientes de emisión se presentan en pesos 2006.

Tabla 1. Coeficientes de emisión de material particulado.

Clasificación CIIU	Sectores industriales	Coeficiente de Emisión de PM (ton/billón pesos de producción bruta)
D17	Fabricación de productos textiles	2,050
D20	Transformación de madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	644
D26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	240
D15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	66
D36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras no clasificado previamente (ncp)	33
D18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	19
D34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	18
D27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	13
D24	Fabricación de sustancias y productos químicos	9
D21	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	7
D19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería	5
D25	Fabricación de productos de caucho y de plástico	4
D28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	1
D31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp	1
D23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	1
D22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	0.6
D33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	0.3
D29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp	0.2
D35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte	0.04
A01	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas	0.003

Tabla 2. Coeficientes de emisión de dióxido de nitrógeno.

Clasificación CIIU	Sectores industriales	Coeficiente de emisión de NOx (ton/billón pesos de producción bruta)
D17	Fabricación de productos textiles	3,525
D15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	413
D20	Transformación de Madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	261
D26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	86
D34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	71
D24	Fabricación de sustancias y productos químicos	66
D21	Fabricación de Papel, cartón y productos de papel y cartón	57
D25	Fabricación de productos de caucho y de plástico	41
D31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp	31
D28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	30
D18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	30
D19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería	23
D27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	18
D36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras ncp	15
D23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	5
D22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	4
D33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	2
D29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp	2
D35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte	1
A01	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas	0.0610

Tabla 3. Coeficientes de emisión de compuestos orgánicos totales.

Clasificación CIIU	Sectores industriales	Coeficiente de emisión de COT (ton/billón pesos de producción bruta)
D17	Fabricación de productos textiles	134
D15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	18
D20	Transformación de Madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	15
D26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	9
D34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	5
D31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp	4
D24	Fabricación de sustancias y productos químicos	2
D25	Fabricación de productos de caucho y de plástico	2
D28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	2
D21	Fabricación de Papel, cartón y productos de papel y cartón	2
D27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	2
D18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	1
D19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería	1
D36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras ncp	1
D22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	1
D33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	0.2
D29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp	0.2
D23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	0.1
D35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte	0.1
A01	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas	0.01

Tabla 4. Coeficientes de emisión de dióxido de carbono.

Clasificación CIIU	Sectores industriales	Coeficiente de emisión de CO ₂ (ton/billón pesos de producción bruta)
D17	Fabricación de productos textiles	1,811,326
D15	Elaboración de productos alimenticios y bebidas	207,502
D20	Transformación de Madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería	157,570
D34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	59,086
D26	Fabricación de otros productos minerales no metálicos	44,345
D31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos ncp	40,154
D24	Fabricación de sustancias y productos químicos	28,115
D25	Fabricación de productos de caucho y de plástico	26,730
D28	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	26,556
D21	Fabricación de Papel, cartón y productos de papel y cartón	23,191
D18	Confección de prendas de vestir; adobo y teñido de pieles	15,548
D19	Curtido y adobo de cueros; fabricación de calzado; fabricación de artículos de viaje, maletas, bolsos de mano y similares; artículos de talabartería y guarnicionería	14,809
D27	Fabricación de productos metalúrgicos básicos	14,800
D36	Fabricación de muebles; industrias manufactureras ncp	10,642
D22	Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	5,743
D23	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	2,999
D33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión y fabricación de relojes	2,587
D29	Fabricación de maquinaria y equipo ncp	2,114
D35	Fabricación de otros tipos de equipos de transporte	806
A01	Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexas	109

ANEXO 2.6. Proyección de emisiones para los tres escenarios de crecimiento del PIB.

A continuación se presentan los tres escenarios de proyección considerados en el análisis del PDDb para el sector industrial. El Escenario 1 corresponde a la proyección de las emisiones con la tasa media de crecimiento del PIB real, según la metodología descrita en el informe. Los escenarios 2 y 3 corresponden a la proyección de las emisiones considerando un punto por encima y uno por debajo de la tasa media de crecimiento del PIB, respectivamente (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tasas de crecimiento del PIB utilizadas en la proyección de las emisiones.

Escenario	Tasa de crecimiento del PIB
Escenario 1	1.037
Escenario 2	1.047
Escenario 3	1.027

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la proyección de las emisiones hasta el año 2020. En esta tabla se presentan las emisiones totales, por lo tanto se incluyen tanto las emisiones del sector formal como las emisiones del sector informal de la industria.

Tabla 2. Proyección de emisiones.

Año	Emisión (ton año-1)											
	Material Particulado			Óxidos de nitrógeno			Compuestos orgánicos totales			Dióxido de carbono		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
2008	1,068	1,068	1,068	2,105	2,105	2,105	101	101	101	1,061,738	1,061,738	1,061,738
2009	1,108	1,119	1,097	2,184	2,206	2,162	105	106	104	1,101,467	1,112,537	1,090,507
2010	1,149	1,172	1,126	2,265	2,311	2,221	109	111	107	1,142,682	1,165,766	1,120,056
2011	1,192	1,228	1,157	2,350	2,422	2,281	113	117	110	1,185,440	1,221,542	1,150,405
2012	1,237	1,287	1,188	2,438	2,538	2,343	118	122	113	1,229,797	1,279,986	1,181,576
2013	1,283	1,349	1,220	2,529	2,659	2,406	122	128	116	1,275,815	1,341,227	1,213,592
2014	1,331	1,413	1,253	2,624	2,786	2,471	126	134	119	1,323,554	1,405,398	1,246,476
2015	1,381	1,481	1,287	2,722	2,920	2,538	131	141	122	1,373,079	1,472,639	1,280,251
2016	1,432	1,552	1,322	2,824	3,059	2,607	136	147	126	1,424,458	1,543,097	1,314,941
2017	1,486	1,626	1,358	2,930	3,206	2,678	141	155	129	1,477,759	1,616,926	1,350,570
2018	1,542	1,704	1,395	3,039	3,359	2,750	147	162	133	1,533,055	1,694,288	1,387,166
2019	1,599	1,785	1,433	3,153	3,520	2,825	152	170	136	1,590,420	1,775,351	1,424,752
2020	1,659	1,871	1,472	3,271	3,688	2,901	158	178	140	1,649,931	1,860,292	1,463,358

ANEXO 2.7. Competitividad del gas natural en la industria.

En un estudio realizado para industrias (sectores alimentos y bebidas, fibras, metalmecánica, químicos, cerámicas, asfaltos y vidrio) de la zona central de Colombia (Barros y Cadena, 2004), se evaluó la competitividad del gas natural frente a los combustibles sustitutos en tres aspectos: **1)** Costos de operación y mantenimiento; **2)** Costo del combustible para suplir los mismos requerimientos energéticos y **3)** Costos de inversión.

En las tablas 1-3 se presentan las diferencias porcentuales en los costos de industrias que utilizan GLP, carbón mineral y ACPM, frente a los costos que tendrían si utilizaran gas natural como combustible. En estas tablas, las celdas sombreadas indican los casos en que el cambio a gas natural resulta favorable.

En este estudio acerca de la competitividad del gas natural frente a combustibles sustitutos se encontró:

- El gas natural presenta mayor competitividad frente a combustibles como el ACPM y gas propano en todos los sectores, usos y rangos de consumo (0-5,000; >5,000-25,000; >25,000 MBTU/año).
- El gas natural en general presenta un menor grado de competitividad frente al fuel oil y crudos. Sin embargo, existen casos de industrias en los que se aceptaría hasta un 5% de costo adicional en el uso de un combustible, si esto le significa mayor comodidad en el manejo de un combustible frente a otro de menor valor. Además, existen procesos que exigen un combustible limpio para poder garantizar la calidad del producto final. Por estas dos razones, se presentan casos en los cuales el gas natural puede llegar a ser competitivo frente al fuel oil y crudos.
- La competitividad del gas natural frente al carbón es baja, excepto en las industrias con un rango de consumo energético bajo (entre 0 y 5,000 MBTU/año), en el cual para una industria no es rentable consumir carbón mineral por las altas inversiones iniciales y su bajo consumo energético. Es importante resaltar que para todos los casos los costos de operación y mantenimiento cuando se utiliza gas natural son inferiores en comparación a los costos cuando se utiliza carbón.

En este mismo estudio se resaltan las siguientes ventajas del uso de gas natural frente a otros combustibles en los procesos industriales:

- Fácil manejo y comodidad. No se requiere personal o equipos adicionales para el transporte y alimentación del combustible, como sí es necesario en el caso del carbón. Además, la operación del gas natural se hace sencilla gracias a los procesos de automatización.
- No se requiere almacenamiento, lo que hace que no se generen costos por inventario.
- Debido a que no hay producción de hollín, se mejora la eficiencia de los equipos debido a que se aumenta la eficiencia en la transferencia de calor.
- Tiene menor riesgo de explosividad (entre el 5 y 15%) frente a otros combustibles.
- Mejora la calidad de los productos tratados, disminuyendo el porcentaje de unidades defectuosas, al eliminar la eventualidad de producción de manchas y decoloraciones de los artículos durante cada cocción y secado, además por estar libre de azufre y de impurezas.
- Alta homogeneidad en el calentamiento con un total ajuste de las temperaturas para las necesidades requeridas. En el horno posibilita una excelente regulación en la mezcla aire-gas.

Tabla 1. Porcentaje de reducción o aumento en los costos asociados al consumo de combustible.

Industria	Uso	GLP			Carbón mineral			ACPM		
		0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000- 25,000	> 25,000
Alimentos	VAP	-0.16	-0.11		0.21	0.38	0.32	-0.19	-0.13	-0.08
	AD		-0.14	-0.13						
Fibras	VAP		-0.07					-0.18	-0.1	
	AD		-0.1							
Química	VAP	-0.24	-0.06		0.17			-0.25	-0.14	
	AD	-0.15	-0.12		0.3			-0.23	-0.13	
Institucional	VAP	-0.23	-0.17		0.25			-0.19	-0.1	
	AD							-0.09		
Cerámicos	VAP		-0.06					-0.23		
	AD		-0.08		0.25	0.31	0.18			
Metalmecánica	VAP		-0.22							
	AD	-0.22	-0.06	-0.06				-0.22	-0.07	-0.04

AD: industrias en las que el combustible se utiliza para generar calor en forma directa por medio de quemadores y hornos.

VAP: industrias en las que el combustible se utiliza para generar vapor por medio de calderas.

Los valores negativos hacen referencia a una reducción en los costos cuando se cambia a gas natural, los valores positivos se refieren a un aumento en los costos.

Tabla 2. Porcentaje de reducción o aumento en los costos asociados a la operación y mantenimiento.

Industria	USO	GLP			Carbón mineral			ACPM		
		0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000- 25,000	> 25,000
Alimentos	VAP	0.01		0.06	-0.41	-0.35	-0.47	-0.1	0.02	0.03
	AD		0.01	0.04						
Fibras	VAP			0.04				0.03		0.03
	AD			0.12						
Química	VAP	0.07		0.03	-0.38			-0.02		0.03
	AD	0.06		0.01	-0.47			0		0.03
Institucional	VAP	0.05		0.06	-0.41			-0.12		-0.05
	AD							-0.31		
Cerámicos	VAP			0.03				0.03		
	AD			0.02	-0.43	-0.22	-0.43			
Metalmecánica	VAP			0.05						
	AD	0.05	0.02	0.01				-0.05	0.01	0.01

AD: industrias en las que el combustible se utiliza para generar calor en forma directa por medio de quemadores y hornos.

VAP: industrias en las que el combustible se utiliza para generar vapor por medio de calderas.

Los valores negativos hacen referencia a una reducción en los costos cuando se cambia a gas natural, los valores positivos se refieren a un aumento en los costos.

Tabla 3. Porcentaje de reducción o aumento en los costos asociados a la inversión inicial.

Industria	USO	GLP			Carbón mineral			ACPM		
		0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000-25,000	> 25,000	0-5,000	5,000- 25,000	> 25,000
Alimentos	VAP	0.08	0.02		0.05	0.04	0.02	0.25	0.09	0.05
	AD		0.02	0.1						
Fibras	VAP		0.01					0.12	0.06	
	AD		0.02							
Química	VAP	0.05	0.01		0.06			0.24	0.09	
	AD	0.04	0.06		0.02			0.18	0.09	
Institucional	VAP	0.08	0.05		0.03			0.27	0.13	
	AD							-0.05		
Cerámicos	VAP		0.01					0.18		
	AD		0.02		0.05	0.07	0.02			
Metalmecánica	VAP		0.11							
	AD	-0.01	0.01	-0.01				0.15	0.05	0.02

AD: industrias en las que el combustible se utiliza para generar calor en forma directa por medio de quemadores y hornos.

VAP: industrias en las que el combustible se utiliza para generar vapor por medio de calderas.

Los valores negativos hacen referencia a una reducción en los costos cuando se cambia a gas natural, los valores positivos se refieren a un aumento en los costos.

ANEXO 2.8. Proyección de las emisiones para la medida de uso masivo de gas natural en la industria más la formalización del 50% de las fuentes industriales.

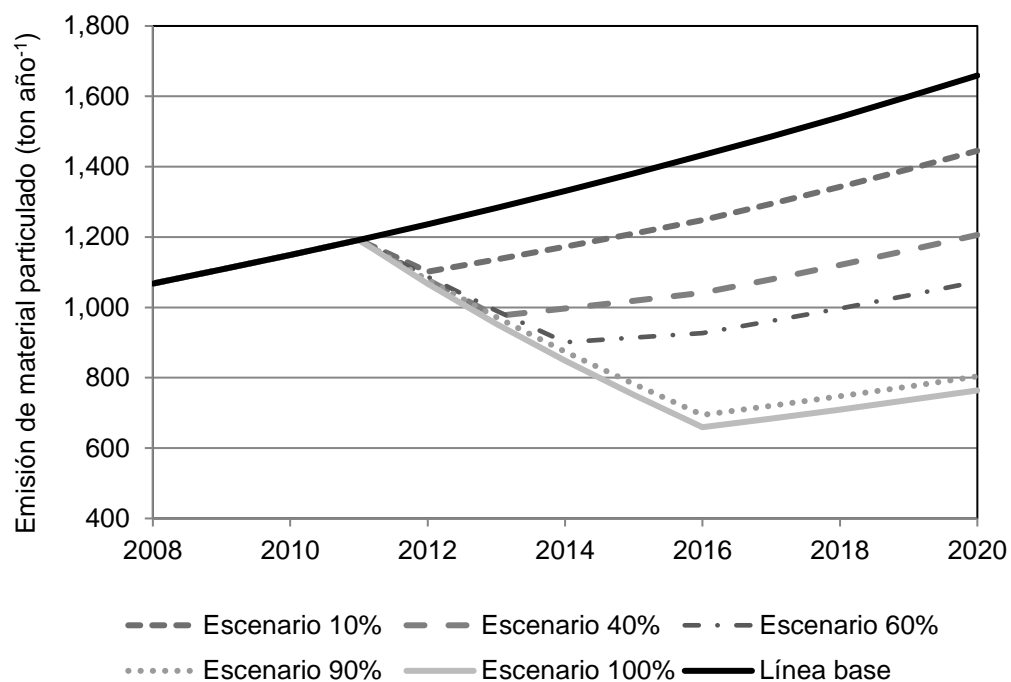


Figura 1. Proyección de las emisiones de material particulado.

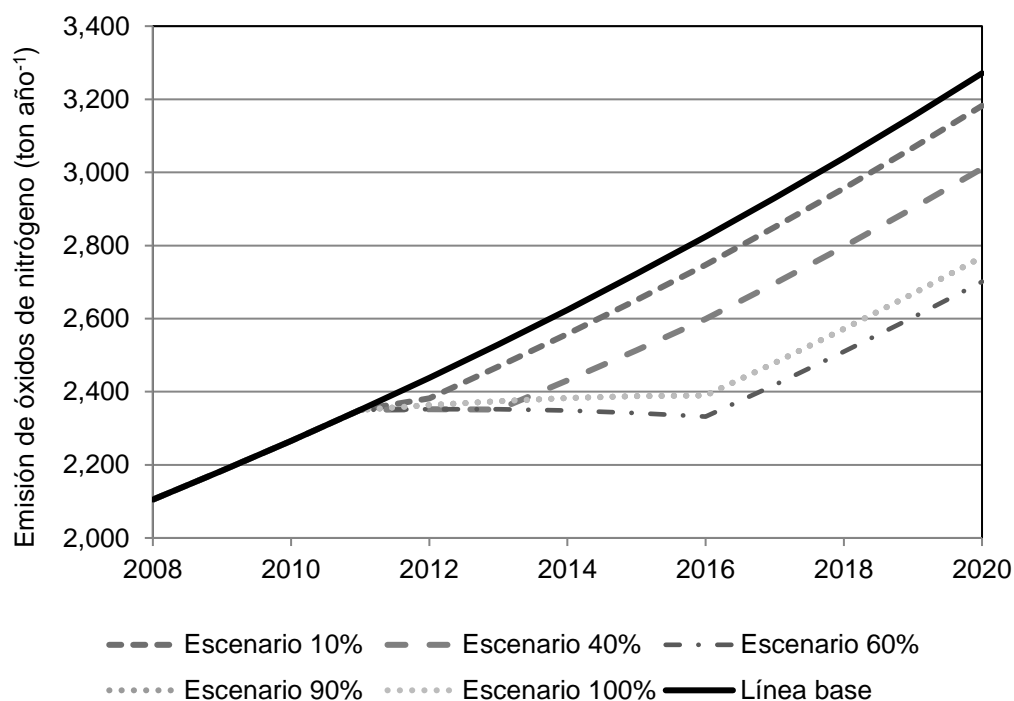


Figura 2. Proyección de las emisiones de óxidos de nitrógeno.

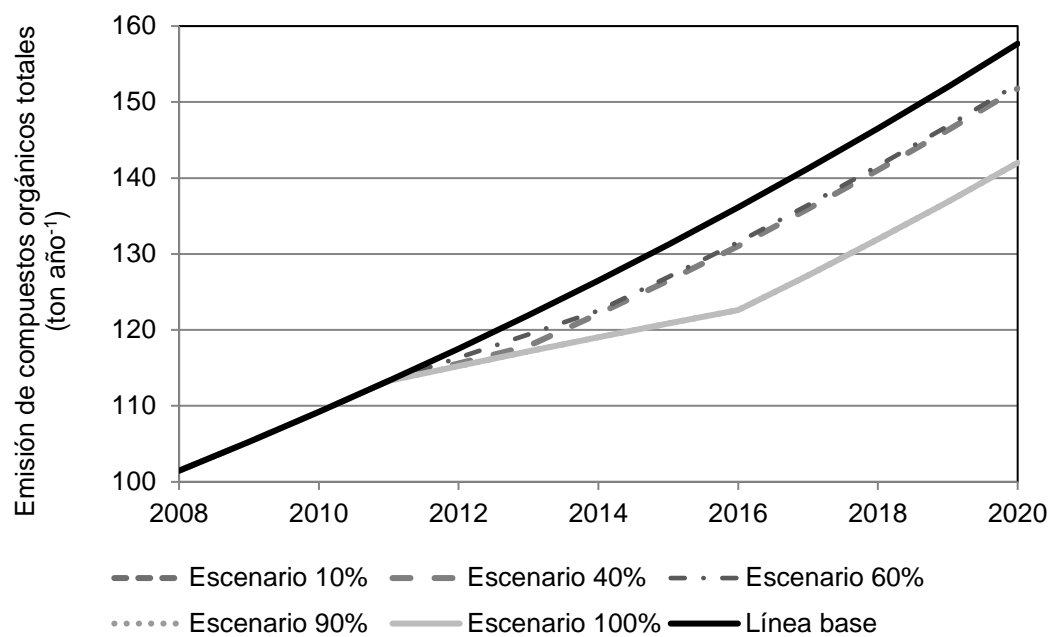


Figura 3. Proyección de las emisiones de compuestos orgánicos totales.

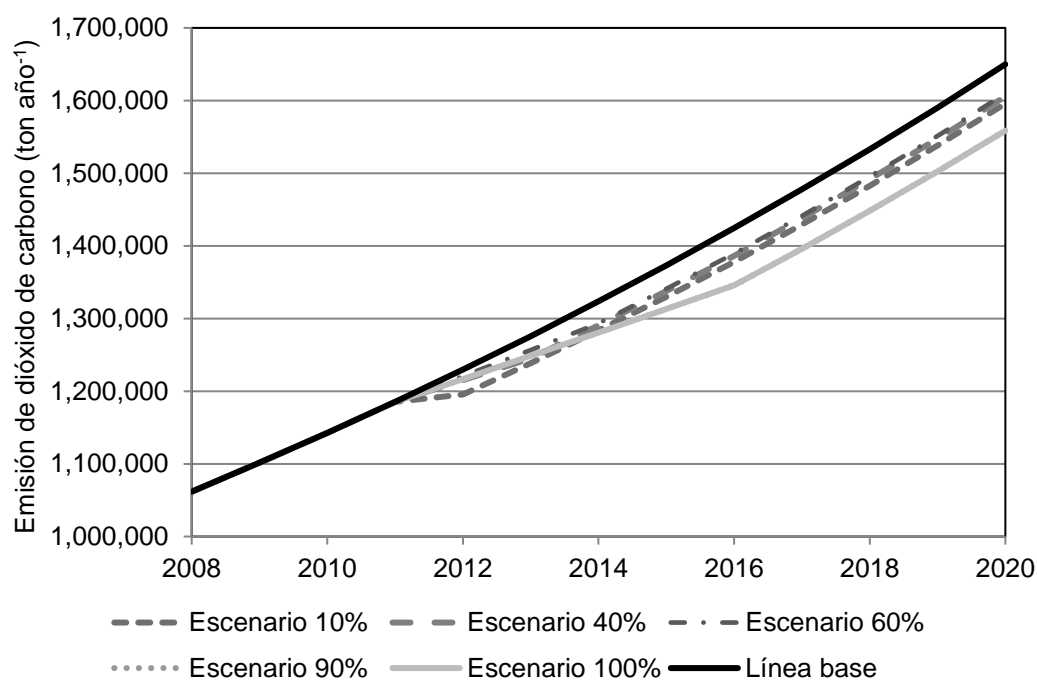


Figura 4. Proyección de las emisiones de dióxido de carbono.

ANEXO 2.9. Metodología empleada para complementar la línea base de emisiones del sector industrial.

La línea base de emisiones del sector industrial para la elaboración del PDDB se estimó con base en los resultados de la fase anterior del proyecto (SDA-SUR, 2008).

Esta información se completó haciendo uso de los factores de emisión reportados en la Metodología AP-42 de la EPA, con el fin de complementar los factores de emisión de las categorías industriales para las cuales no se contaba con información medida en campo para las condiciones de la ciudad.

Específicamente se utilizaron factores de emisión teóricos para determinar las emisiones de las fuentes que utilizan combustibles líquidos tales como fuel oil, ACPM y GLP y de las fuentes asociadas con procesos de fundición, incineración y cremación que operan hornos a gas natural. Adicionalmente, se utilizaron factores de la Metodología AP-42 para estimar las emisiones de CO, COT y CO₂ de todas las categorías industriales.

Para determinar las emisiones totales se realizó un proceso de maximización en dos etapas siguiendo la metodología utilizada en la fase anterior del proyecto. El primer ejercicio de maximización considera el aporte a las emisiones de las fuentes para las que no se cuenta con información acerca del consumo de combustibles. Se supuso que el aporte a las emisiones totales de estas fuentes, es proporcional al número de fuentes (para el 3.7% de las fuentes no se cuenta con información del consumo de combustible).

El segundo ejercicio de maximización considera el aporte que tiene el sector informal de la industria en las emisiones de la ciudad. Este se realizó considerando la información que se obtuvo del censo de chimeneas de Bogotá realizado mediante fotografías aéreas en la fase anterior del proyecto. En dicho ejercicio se identificó un número un 30% de fuentes adicionales a las encontradas registradas en la base de industrias de la Cámara de Comercio de Bogotá, y que por lo tanto podrían ser parte del sector informal industrial de la ciudad. Se supuso que el aporte de las fuentes adicionales a las emisiones, es proporcional al número de fuentes.

Este ejercicio dio como resultado emisiones de PM y NO_x para la línea base (año 2008) inferiores en un 20% aproximadamente a las emisiones que se habían determinado en la fase anterior del proyecto. Este efecto se dio como consecuencia del uso de factores de emisión teóricos para las categorías de las industrias que no cuentan con factores de emisión propios, para las cuales en la fase anterior se supuso que el aporte a las emisiones de estas industrias era proporcional al número de fuentes.

ANEXOS SECCIÓN 3

ANEXO 3.1. Modelo matemático para pasar de unidades de emisión a unidades de concentración.

Para relacionar las emisiones de PM con los valores de concentración que estas generan, se estimó una función matemática relacionando la información histórica de calidad del aire registrada por la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB) con información estimada para el inventario de emisiones de la ciudad para diferentes años.

Para el análisis de la información de los niveles de PM₁₀ se validó la información contenida en las bases de datos generadas a partir de los registros de la RMCAB. Entre los criterios que se tuvieron en cuenta para la validación de los datos se encuentran: identificación de valores negativos, ceros y valores fuera de la tendencia; consideración de las estaciones que cuentan con más del 75% de los datos válidos para el periodo de tiempo seleccionado para el análisis.

Asimismo, para estimar los valores históricos de concentración de PM representativos para toda la ciudad, se tuvo en cuenta el resultado de la metodología de PCA con la cual se dio un peso específico para los valores de PM según las diferentes estaciones de monitoreo (la metodología y los resultados del análisis de los datos de calidad del aire por PCA se presentan de manera detallada en la Sección 5 del Documento de Trabajo).

Con el fin de relacionar la calidad del aire de años anteriores al 2008 con inventarios de emisiones para esos mismos años, se estimó el inventario de emisiones (en retrospectiva) siguiendo una metodología consiste con la que se utilizó en la proyección de las emisiones (2010-2020) para la elaboración del PDDB. Se supuso que el crecimiento económico de la ciudad durante los últimos años fue proporcional al crecimiento de las emisiones de material particulado y de esta manera se estimaron las emisiones a partir de indicadores económicos de la ciudad.

Los indicadores económicos que se utilizaron para la proyección del inventario de emisiones (en retrospectiva) fueron obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2009) y del banco de la República (BANREP, 2009).

En la Tabla 1 se presentan los valores de crecimiento económicos utilizados en la proyección del inventario de emisiones.

Tabla 1. Variación trimestral del PIB de Bogotá.

Año	Trimestre	Variación
2005	1	0,49%
2005	2	2,03%
2005	3	0,38%
2005	4	-0,25%
2006	1	19,34%
2006	2	2,55%
2006	3	2,09%
2006	4	0,41%
2007	1	3,28%
2007	2	1,19%
2007	3	2,04%
2007	4	1,66%

Una vez proyectado el inventario en retrospectiva se aplicó un modelo de regresión para determinar la ecuación que mejor describiera la concentración atmosférica de material particulado en función de la emisión total anual del mismo.

ANEXOS SECCIÓN 4

ANEXO 4.1. Estado del arte en la evaluación de beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica, estudios desarrollados para Colombia.

Larsen (2004) realiza la estimación de los efectos de la contaminación atmosférica, usando como indicador el $PM_{2.5}$ para mortalidad y el PM_{10} para morbilidad. En la evaluación se incluyen funciones dosis-respuesta para siete efectos en la salud: mortalidad, bronquitis crónica en adultos, admisiones hospitalarias por problemas respiratorios, visitas a sala de urgencias, días de actividad restringida, aparición de síntomas respiratorios en niños y presencia de síntomas respiratorios en adultos. Los resultados son convertidos a años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) para permitir la comparación de los datos frente a los de otras enfermedades.

La valoración económica de los efectos en mortalidad estimada por Larsen se realizó utilizando dos metodologías: 1) Enfoque de capital humano (HCA) que se basa en la contribución a la actividad económica de un individuo a la sociedad y 2) Valor estadístico de la vida (VSL) entendido como la valoración del riesgo de mortalidad. Esto da como resultado un amplio rango económico (0.2 -1.7 billones de pesos). Los efectos en morbilidad se valoran mediante la suma del costo del tratamiento de la enfermedad, costo del tiempo perdido por enfermedad y una estimación del costo del dolor y la incomodidad asociados a la enfermedad, este último se calcula como una valoración del AVAD sobre el PIB per cápita. Los costos en morbilidad se estimaron en 520 mil millones de pesos.

Debido a la insuficiente información local en Colombia, Larsen realiza diversos supuestos y estimaciones para: realizar el cálculo de la concentración de material particulado en ciudades que no cuentan con redes de monitoreo, estimar la relación entre $PM_{2.5}/PM_{10}$, factores para estimar funciones dosis-respuesta y valores de elasticidad para la evaluación del VSL en Colombia.

Otro estudio que se cita con frecuencia es el realizado por el IDEAM como soporte para la implementación de la Resolución 601 de 2006 (norma nacional vigente de calidad del aire). El estudio de IDEAM se realizó con el objetivo de estimar los beneficios en salud correspondientes a realizar un cambio en la norma de calidad del aire y consecuentemente una disminución en la concentración de contaminantes en la atmósfera. Como indicador de calidad del aire se usó la concentración anual de PM_{10} . En esta valoración se establecieron tres escenarios de reducción de material particulado (10, 20 y $30 \mu g/m^3$).

Se adoptaron las funciones dosis-respuesta determinadas por autores internacionales, las cuales a su vez habían sido adoptadas por Chile en la evaluación de los beneficios en salud del plan de descontaminación de Santiago de Chile. Debido a las limitaciones en la información solo se usaron como criterios de morbilidad los días de actividad restringida, síntomas respiratorios agudos y ataques de asma. La estimación de morbilidad fue complementada con la tasa calculada por Solarte (1999) y los datos de admisiones hospitalarias y consultas de la Secretaría Distrital de Salud.

La valoración económica de la mortalidad se realizó con el VSL estimado por Larsen (306 millones). Los costos en morbilidad se calcularon con los costos de tratamiento para las enfermedades analizadas y el costo de los días de actividad restringida. Los resultados muestran que una reducción en $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} genera una disminución en costos de 0.24 billones de pesos al año por concepto de muertes evitadas. La reducción en la morbilidad se estimó en un beneficio de 1 billón de pesos.

La Subdirección de Estudios Ambientales del IDEAM realizó en el año 2005 una revisión de los estudios técnicos realizados en Colombia para la estimación de los daños en salud por la contaminación atmosférica y su valoración económica (IDEAM, 2005a). Un estudio similar había sido

realizado por Ibáñez (2003) en un proyecto para el Banco Mundial. Entre los estudios más representativos de esta revisión se encuentran los realizados por Solarte (1999), Lozano (2004) y una estimación de la disponibilidad a pagar realizada por Ibáñez (Ibáñez 2001 en IDEAM 2005a).

La investigación realizada por Solarte (1999) se realizó con el objetivo de determinar la relación entre la concentración de PM_{10} y la morbilidad por enfermedad respiratoria en la población menor de 14 años, en cinco zonas de Bogotá. Adicionalmente, se estimaron los costos en salud asociados con la contaminación. El seguimiento a la población de estudio se realizó durante seis meses. Se incluyeron encuestas de seguimiento al grupo cohorte, registros de admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria en el sector y se realizó un análisis multivariado de la información.

Los resultados obtenidos permitieron concluir que el número de consultas por enfermedad respiratoria en menores de 14 años está relacionado con la concentración de PM_{10} en los días precedentes. Se concluyó también que un aumento en $10 \mu g/m^3$ en los días precedentes produce un aumento de al menos 8% en el número de consultas por enfermedad respiratoria en este grupo etario. La estimación económica se hizo con base en los costos de atención de las instituciones de salud y se estimó en aproximadamente 1,200 millones de pesos (1999).

Por su parte Lozano (2004) centró su investigación en encontrar una función dosis-respuesta para admisiones hospitalarias diarias por enfermedad respiratoria (RHA, por sus siglas en inglés) asociadas con la contaminación atmosférica de Bogotá. Para tal fin, utilizó un modelo logarítmico en el que se consideran como variables la lluvia media diaria, la temperatura, la concentración promedio del contaminante y una variable binaria para cada trimestre del año. Los contaminantes evaluados fueron PM_{10} , NO_2 , O_3 y SO_2 . La información se analizó con los registros de admisiones diarias al hospital por IRA.

Entre las conclusiones encontradas se puede mencionar que los grupos con mayor probabilidad de contraer IRA son los niños entre los 0-6 años. Se encontró también que un aumento del 25% en concentración de PM_{10} , implica un aumento del 22% en el número de RHA.

En dicho estudio la estimación de costos se realizó mediante la evaluación de la DAP (disponibilidad a pagar). Para calcular la DAP en Colombia se adoptaron los valores de DAP por costos de RHA en Estados Unidos mediante transferencia de beneficios. Según este estudio una reducción del 25% en la concentración de PM_{10} evitaría costos entre 69,000 y 106,000 dólares al año (US\$ 1995).

Otra estimación de la DAP es la realizada por Ibáñez y McConnell (Ibáñez 2001 en IDEAM 2005a) mediante el uso de una función Poisson. En este estudio los autores estimaron la disponibilidad a pagar por reducir un día de episodio fuerte de enfermedad respiratoria aguda en US\$ 27 (2002) y para uno de episodio suave en US\$ 23 (2002).

Según los estudios revisados, se considera que es posible realizar una estimación económica de los efectos en salud debidos a la contaminación atmosférica. Con la actual información disponible en el país, conviene trabajar un enfoque similar al usado por Larsen y el IDEAM (2005), el cual permite una aproximación integral al problema complementada con modelos internacionales, estimaciones e información validada para el caso colombiano.

En la Tabla1 se presenta la información resumida de los estudios analizados. Se presentan los costos originales del estudio y los costos equivalentes pesos constantes del año 2000, para facilitar la comparación entre ellos. Es importante decir que las condiciones específicas de los estudios hacen que regularmente los mismos no sean comparables entre sí. El estudio de Larsen y el del IDEAM presentan un enfoque integral al evaluar diferentes efectos sobre la población general, no obstante el área de aplicación de los mismos es diferente.

El IDEAM incluye también una revisión sobre las experiencias actuales de monitoreo del impacto en salud por contaminación del aire en diferentes ciudades del país (IDEAM - MAVDT, 2007).

Se destaca para Bogotá la investigación realizada por la SDS (Hernández, 2009) en cual se estima la relación entre contaminación del aire extramural e intramural por PM_{10} y su asociación con síntomas respiratorios en niños menores de 5 años en tres localidades de la ciudad.

Ibáñez (Ibañez, 2003) realizó una recopilación de estudios realizados en el país, la cual es complementada por (IDEAM, 2005a). Un cuadro resumen de los estudios evaluados en estos documentos y del desarrollado por Bustillo (Bustillo, 2009) se presenta en la Tabla 2. En esta se presentan los costos reportados por el estudio en las unidades originales y adicionalmente se presenta el valor equivalente en pesos constantes del año 2000.

Tabla 1. Cuadro resumen de los casos de estudio analizados.

Autor	Objetivo	Efectos en salud (Número de casos)			Costo evitado		
		Morbilidad ¹	Mortalidad ¹	Metodología	Morbilidad	Mortalidad	Metodología
IDEAM (2005)	Estimación de beneficios en salud de la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá ²	Días de actividad restringida: 2'500,000 Síntomas respiratorios: 15'000,000 Ataques de asma: 9'600,000 Consultas por síntomas respiratorios: 2'250,000 Hospitalizaciones por síntomas respiratorios: 675,000 Consultas por ataques de asma: 1'440,000 Hospitalizaciones por asma: 430,000	760 casos	Funciones dosis-respuesta (valores internacionales y nacionales Solarte)	1.0 billón de pesos 2004 0.75 billones de pesos 2000	0.24 billones de pesos 2004 0.18 billones de pesos 2000	<u>Morbilidad:</u> costos del tratamiento + días de actividad restringida <u>Mortalidad:</u> VSL
LARSEN (2004)	Estimación de efectos y costos en salud asociados a la contaminación atmosférica en el país	Bronquitis crónica: 740 Admisiones hospitalarias: 12,970 Admisiones a urgencias: 255,000 Días de actividad restringida: 42'000,000 Síntomas respiratorios en sistema respiratorio inferior en niños: 585,000 Síntomas respiratorios: 135'000,000	6,040 casos	Funciones dosis-respuesta (valores internacionales)	0.52 billones de pesos 2004 0.39 billones de pesos 2000	0.2-1.765 billones de pesos 2004 0.15-1.32 billones de pesos 2000	<u>Morbilidad:</u> costos tratamiento + días actividad restringida + dolor e incomodidad <u>Mortalidad:</u> HCA ³ y VSL ⁴
SOLARTE (1999)	Determinación de relación PM ₁₀ y morbilidad por ERA ⁵ en niños menores de 14 años en Bogotá y estimación de costos	Un aumento de 10 µg/m ³ de PM ₁₀ genera un aumento del 8% en las consultas por síntomas respiratorios en niños menores de 14 años	---	Estudio de cohorte	1,200 millones de pesos 1999 1,310 millones de pesos 2000	---	Costos de tratamiento
IBÁÑEZ (2001)	DAP ⁶ por evitar episodios de ERA en Bogotá	Encuesta sobre síntomas respiratorios agudos. Episodio suave - episodio fuerte	---	---	22.77 - 26.85 US\$ 2002 / habitante-día 40,000-47,000 pesos 2000/ habitante-día	---	DAP ⁶ calculado para Colombia por medio de encuestas
LOZANO (2004) ⁶	Estimación de función dosis respuesta para HRA en Bogotá	Un aumento del 25% en la concentración de PM ₁₀ , implicaría en un aumento del 22% en el número de admisiones hospitalarias por síntomas respiratorios. Estimación a partir de función dosis respuesta	---	Bases de datos, función logarítmica	69,000-106,000/día US\$ 1995 50,000-77,000/año millones pesos 2000	---	DAP ⁶ (valores de EEUU corregidos por PIB)

¹Para el caso de Larsen corresponde al número de casos (en morbilidad y mortalidad) atribuibles anualmente a la contaminación atmosférica. En el caso de IDEAM 2005 corresponde al número de casos evitados por una reducción de 10 µg/m³ en la concentración de PM₁₀. ²Se consignan en la tabla los resultados de la evaluación la reducción de 10 µg/m³ en la concentración de PM₁₀. ³Enfoque en capital humano (Human capital approach). ⁴ Valor estadístico de la vida (Statistical value of life-SVL). ⁵Enfermedad respiratoria aguda. ⁶El año del estudio es 1998. La referencia bibliográfica es 2004. ⁷Admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria. ⁸ Disponibilidad a pagar.

Tabla 2. Otros estudios de valoración en salud realizados en Colombia.

Autor	Título	Análisis realizado	Efectos en salud (Número de casos)			Valoración económica		
			Morbilidad	Mortalidad	Metodología	Resultados		Metodología
Bustillo (2008)	Valoración del impacto del material particulado en enfermedades asociadas con la contaminación del aire	Valoración económica de los efectos en salud de la contaminación en Bogotá. Análisis para los años 2004 – 2007 por una disminución en 10 ug/m ³ de PM ₁₀	Causas respiratorias: 401,003 Causas cardiovasculares: 211,658	Causas respiratorias: 222 Causas cardiovasculares: 785	Función dosis-respuesta a partir de bases de datos.	Morbilidad ¹ : 0.9 billones 2006 0.6 billones de pesos año 2000	Mortalidad ¹ : 1.7 billones 2006/año 1.2 billones de pesos año 2000	Morbilidad: costos de tratamiento Mortalidad: VSL ² (VSL de Chile)
Rodriguez (1999)	Valoración económica de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los habitantes de Santafé de Bogotá	Valoración de la DAP ³ de los habitantes de Bogotá por la reducción en los niveles de contaminación del aire	----	----	----	Disminución de 1 µg PST: \$4,283 pesos/hogar/año	Disminución de 1 ppb SO ₂ : \$6,602 pesos/hogar/año	DAP
Urdaneta (1998)	Mortalidad por infecciones respiratorias agudas (IRA) y contaminación del aire: una estimación de funciones dosis-respuesta para Santafé de Bogotá	Estimación de la relación entre PM ₁₀ y la mortalidad por IRA por grupos etarios en Bogotá	----	Establece una relación positiva entre concentración partículas suspendidas y su incidencia en la muerte por IRA	Análisis a partir de bases de datos	----	----	----
Calixto y Díaz (1995)	Valoración económica de la contaminación del aire: impactos sobre la salud de los niños menores de 5 años de edad en Santa Fe de Bogotá	Valoración del impacto en la salud (IRA, neumonía, influenza, bronquitis, enfisema y asma) de los niños menores de 5 años por efecto de los contaminantes en el ambiente. Se analizan mediante un promedio ponderado de los contaminantes en unidades estandarizadas	Aumento del 1% en el nivel de los contaminantes genera aumento de 3.3% en morbilidad (niños menores de 5 años)	----	Análisis de función dosis-respuesta a partir de bases de datos. Se evalúan de forma integrada los contaminantes	Morbilidad: \$184 - \$915 millones de pesos 1995 \$400 - \$2,000 millones de pesos año 2000		Costo Social Marginal
Montealegre (1993)	Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, una aplicación de la regresión Lave-Seskin	Establecer la relación entre la contaminación del aire y morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio. Análisis de contaminantes criterio	Reducción del 1% en PST reduce: 0.05% hospitalización, 0.04% neumonía, 0.04% bronquitis, enfisema y asma	Reducción de 1% en sulfuros y PST: reducción de 0.12% en mortalidad.	Análisis a partir de bases de datos usando función Lave-Seskin.	\$1,200 millones de pesos ⁴ 1993 \$3,900 millones de pesos año 2000		Costos de Tratamiento

¹Morbilidad y Mortalidad asociadas a una disminución de 10 µg/m³ en la concentración de PM₁₀. ²Valor estadístico de la vida – Statical Value of Life. ³Disposición a pagar (WTP – Willingness to Pay ⁴Estimando una reducción del 40% en la concentración de PM₁₀ esto equivale al cumplimiento de la norma.

ANEXO 4.2. Revisión del capítulo de salud de los planes de descontaminación de Santiago de Chile, Barcelona y la Zona Metropolitana del Valle de México.

Estimación de los beneficios en salud del plan de descontaminación de Santiago de Chile

El plan de descontaminación de la Región Metropolitana de Santiago de Chile, se oficializa en 1998 en respuesta a la declaratoria de la Región Metropolitana como zona de aire saturado (equivalente al concepto de área fuente de la legislación colombiana) en el año de 1996.

El plan considera la reducción progresiva y lineal de las emisiones hasta cumplir con las metas en un horizonte de quince años. En la construcción del escenario base, se supone que en caso de no implementarse las medidas del plan, se esperaría un tendencia de crecimiento en las emisiones del 1% anual.

Para la estimación de los beneficios en salud, se construyó un escenario base (escenario base y la evolución del mismo sin la implementación del plan de descontaminación bajo tres escenarios de crecimiento de emisiones), el cual se comparó con la situación meta, definida con la reducción de las emisiones derivada de la aplicación de las medidas del plan de descontaminación.

Usando la información de la red de monitoreo, el modelo de calidad de aire y la densidad poblacional de la Región Metropolitana, se definieron los niveles de exposición a PM_{10} y O_3 . El objetivo de calidad del aire se calculó mediante el promedio ponderado para cumplir la norma de $50 \mu g/m^3$.

Definidos el PM_{10} y el O_3 como los contaminantes de evaluación, se recurrió al uso de funciones dosis-respuesta para evaluar los efectos en salud de los cambios en la concentración de estos contaminantes. Debido a que el desarrollo de funciones dosis respuesta propias para la región de estudio era aún incipiente, se usaron para la mayoría de efectos evaluados, funciones de aceptación internacional, que cumplieran los criterios de selección definidos por el equipo técnico del plan (Ostro 1996).

El estudio realizado por Ostro et. al., (1995) para estimar los efectos en mortalidad por PM_{10} y O_3 en la Región Metropolitana de Santiago de Chile, fue utilizado para estimar los efectos en mortalidad por exposición aguda. Los resultados de este estudio estuvieron dentro de los rangos encontrados en estudios de Estados Unidos y Europa (Sánchez et al., 1998).

Los efectos evaluados para PM_{10} fueron: mortalidad, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (CIE¹ 460,480-486, 490-494, 496), admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares (CIE 410,413, 427 y 428), visitas a sala de emergencia por enfermedades respiratorias, días de actividad restringida en adultos, enfermedades del sistema respiratorio bajo en niños, bronquitis crónica, síntomas respiratorios agudos y ataques de asma. Por su parte, los efectos evaluados para ozono fueron: mortalidad, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (CIE 460,480-486, 490-494, 496), visitas a sala de emergencia por enfermedades respiratorias, días de actividad restringida, ataques de asma y síntomas respiratorios agudos.

Las variables de entrada de las funciones evaluadas corresponden generalmente a información primaria de la Región Metropolitana. Sin embargo debido a la falta de información, algunas tasas de incidencia utilizadas en las funciones seleccionadas no correspondían a la población de Santiago.

¹ CIE: Clasificación Internacional de Enfermedades.

En este estudio se encontró que la mortalidad evitada por el cumplimiento de la norma de PM₁₀ sería de 735 personas al año. La valoración económica de la mortalidad alcanzó los 12,700 millones de USD (2005). Por la metodología utilizada, el informe reporta este dato como una subestimación del total de los beneficios.

Beneficios para la salud pública por la reducción de la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de Barcelona

El Área Metropolitana de Barcelona (constituida en el enfoque de este estudio como la ciudad de Barcelona y 56 municipios de influencia) presenta niveles de contaminación superiores a los estándares establecidos por la OMS. Como parte de las estrategias establecidas por la Generalidad de Cataluña, se viene desarrollando un plan de mitigación cuyo objetivo a corto plazo es reducir los niveles de contaminación atmosférica del Área Metropolitana hasta los límites establecidos por la legislación de la Unión Europea, equivalente a lograr la tercera parte de los objetivos de la OMS.

El Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental (CREAL, por sus siglas en catalán) realizó la estimación de los beneficios en la salud de la población por reducción en la concentración de contaminantes (Künzli & Pérez, 2007). El estudio mostró que la reducción de los niveles de contaminación hasta los estándares de la OMS generaría una reducción en la mortalidad de 520 casos al año y un aumento en la esperanza de vida de 14 meses.

Para el análisis de los beneficios se usó el PM₁₀ como el indicador de la contaminación, al ser este el principal contaminante en el área metropolitana y para el cual los efectos en la salud se encuentran mejor documentados en la literatura científica. La concentración en el año 2007 de este contaminante era en promedio de 50 µg/m³, mientras que la norma de la Unión Europea establece su concentración límite en 40 µg/m³ y la OMS en 20 µg/m³. El cumplimiento de estas normas constituyeron los dos escenarios evaluados.

El estudio se desarrolló para el Área Metropolitana de Barcelona, región que supera los 3'800,000 habitantes. En la definición del nivel de exposición se utilizó la concentración media ponderada por población y grupos etarios. Para tal fin, con base en el modelo de concentración de PM₁₀ desarrollado para la región, se determinó la concentración media de material particulado de cada municipio. La media ponderada por grupos de edad se obtuvo multiplicando la concentración media del contaminante en el municipio por la fracción de población de un determinado rango de edad en la municipalidad, frente al total de la población de ese rango en el Área Metropolitana. Los grupos de edad seleccionados (0-1 año, 1-15 años, mayores de 15 años, mayores de 25 años y mayores de 35 años) corresponden a los utilizados en las funciones concentración respuesta (FCR) de los estudios de referencia (Abbey et al., 1993, Kunzli et al., 2000, Le Tertre et al., 2002, OMS 2004, Ward & Ayres 2004, Lacasaña et al., 2005, APHEIS-3 2005 en Künzli & Pérez, 2007).

Los efectos en salud evaluados fueron: muerte infantil, mortalidad a corto plazo por todas las causas, causas respiratorias y cardiovasculares y mortalidad a largo plazo por todas las causas, bronquitis crónica en adultos y niños, crisis asmáticas en adultos y niños e ingresos hospitalarios. La selección de los efectos se realizó según la disponibilidad de información para la evaluación del efecto (FCR y datos de incidencia del efecto en la población de la zona de estudio). Con fines comparativos, se evaluaron efectos previamente valorados en otros estudios.

La valoración cuantitativa de los efectos en la salud por la contaminación atmosférica se realizó mediante el uso de FCR. En el estudio se desarrolló una amplia revisión bibliográfica con la cual se identificaron las funciones que podían aplicarse en la zona de estudio. Los datos de FCR usados en la

valoración pueden para los diferentes efectos procedían de un estudio único o de una media ponderada de diferentes estudios epidemiológicos.

Uno de los principales limitantes en la aplicación de FCR es la transferibilidad de los resultados de un estudio desarrollado en otra región a la zona de estudio. Por tal razón y debido al limitado desarrollo de FCR específicas para Barcelona, se prefirieron las FCR usadas en otras valoraciones de la Unión Europea bajo el supuesto de que las características de la población son comparables (aunque en el caso de evaluación de bronquitis crónica se usó la FCR desarrollada por Abbey en Estados Unidos debido a las limitaciones en la disponibilidad de información).

Las tasas de incidencia y frecuencias iniciales de los efectos evaluados fueron obtenidas de las bases de datos de Cataluña. No obstante, para algunos efectos se utilizaron indicadores de salud de otras localidades europeas² o de EE.UU. La valoración de los beneficios en salud se desarrolló mediante la estimación del número de casos atribuibles (a partir de las FCR). Se calculó también el número de casos de impacto³ y el incremento en la esperanza de vida.

La expresión de la incertidumbre es un acápite importante en el informe del CREAL. El documento es enfático en resaltar que los resultados deben interpretarse como indicadores de los beneficios y no como valores exactos. Se realiza un análisis de sensibilidad para las variables supuestas para observar cual es el comportamiento de los resultados frente a variaciones de éstas. Se concluye que los resultados son sub-valoración de los beneficios debido principalmente al número de efectos y cantidad de contaminantes evaluados y porque algunos estudios sugieren FCR mayores para efectos crónicos.

Los valores de incertidumbres presentados en el informe corresponden únicamente a la incertidumbre propia de las FCR utilizadas, y no la incertidumbre total de la valoración realizada. En las FCR se prefirió emplear funciones antiguas desarrolladas en Europa y Estados Unidos, ya utilizadas en otros estudios de valoración europeos, esto para poder comparar los resultados.

El estudio analiza adicionalmente el periodo de tiempo en el cual se espera que se reflejen los beneficios en la salud. Se considera que los efectos a corto plazo deben observarse de manera conjunta con la reducción de la contaminación, mientras que los efectos a largo plazo se presentan en términos de aumento de la esperanza de vida. También se realiza una comparación con otros factores de riesgo como el tabaquismo y los accidentes de tránsito, entre los cuales la contaminación atmosférica obtiene un valor medio.

Estimación de beneficios en la salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México

a. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010 (PROAIRE)

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) alcanzó en la década de los noventa altos niveles de contaminación atmosférica principalmente asociada a material particulado y ozono. Esta situación hizo frecuente en la población de la zona los efectos típicos de la contaminación atmosférica como dificultades respiratorias, dolor pulmonar, tos e irritación ocular entre otros efectos (Comisión

² Para el promedio de crisis asmáticas al año y para bronquitis aguda en niños se usaron los datos del estudio de SCARPOL (Suiza). La tasa de incidencia usada en la valoración de bronquitis crónica en adultos fue la desarrollada por Abbey (1993) para E.E.U.U.

³ Número de casos de impacto (*Case Impact Number*), entendido como la cantidad de personas con la enfermedad para las cuales un caso es atribuible a la enfermedad.

Ambiental Metropolitana, 2002). Los esfuerzos de la autoridad ambiental permitieron una disminución progresiva de los niveles de contaminación alcanzando en el año 1999 los niveles de concentración más bajos de la década pasada (ver Tabla 1). Pese a esto, la contaminación aún se mantiene fuera de los estándares de calidad ambiental (World Bank, 2002).

Tabla 1. Cumplimiento de estándares de O₃ y PM₁₀ en la Ciudad de México - Número de días por año que se cumple la norma.

Contaminante	1995	1996	1997	1998	1999
Ozono	41	39	43	45	65
PM ₁₀	273	186	212	176	345

En un esfuerzo por mejorar las condiciones ambientales de la ZMVM, la Comisión Ambiental Metropolitana del Valle de México⁴, viene desarrollando desde el año 2002 el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010 (PROAIRE). El objetivo del programa, con un horizonte a ocho años, es la protección de la salud humana mediante la reducción de los niveles de contaminación hasta los límites establecidos por la normativa mexicana.

En el marco de PROAIRE se desarrolló con el auspicio del Banco Mundial, la valoración económica de la mejora de la calidad del aire en la Ciudad de México (World Bank, 2002). En ese estudio se estimó una reducción de más de 500 muertes al año por el cumplimiento de los estándares normativos. Un segundo estudio, realizado por la Escuela de Salud Pública de Harvard estimó que la reducción del 10% en la concentración de PM₁₀ podría prevenir alrededor de 1,000 muertes prematuras al año.

Los resultados de ambos estudios se incluyen en el documento del PROAIRE sin embargo, el documento hace mayor énfasis en el estudio del Banco Mundial. Por tal razón, y debido a la disponibilidad de información es la metodología de éste último la que se documenta en el presente informe.

El estudio del Banco Mundial usa como referencia el periodo comprendido entre los años 1995-1999 (años con niveles de contaminación crítica), y compara el promedio ponderado de exposición poblacional a O₃ y PM₁₀ del escenario de referencia con cuatro posibles escenarios de reducción: **1)** Reducción del 10% de la concentración de PM₁₀ y O₃ con respecto a los niveles actuales, **2)** Reducción del 20% de la concentración de PM₁₀ y O₃ con respecto a los niveles actuales, **3)** Disminución de las concentraciones máximas y mínimas promedio de la ZMVM hasta cumplir la norma de calidad del aire (Norma de calidad del aire 1-NCA1) y **4)** Disminución de concentraciones máximas de la región más contaminada que reporta la red de monitoreo hasta cumplir con los estándares de calidad del aire (NCA2, se refiere a la reducción del 68% de los niveles de O₃ y del 47% de reducción en los niveles de PM₁₀).

La exposición de la población se determinó mediante el uso de los mapas de modelación de la calidad del aire e información de distribución poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INEGI). En el estudio se supone que la exposición es proporcional a la calidad del aire (no se tiene en cuenta el nivel de los contaminantes en interiores). El escenario base para el año 2010 supone que la emisión y concentración de VOCs y PM₁₀ son las mismas que las de los años de referencia, esto debido a que no se cuenta con un modelo integrado de proyección de emisiones para 2010.

⁴ La comisión es conformada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SERMANAT), la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal, la Secretaría de Ecología del gobierno del Estado de México y la Secretaría de Salud

Para evaluar la exposición a PM_{10} se usa el promedio anual basado en las concentraciones promedio diarias, mientras que para O_3 se usa el promedio anual de la concentración máxima horaria. La exposición en el escenario base se calcula mediante un promedio ponderado poblacional, obteniéndose para PM_{10} una concentración de $64.06 \mu g/m^3$ -hab y para O_3 de 0.114 ppm-hab. Los escenarios de reducción se comparan con los valores anteriormente mencionados que constituyen el escenario de referencia.

La estimación de los efectos en la salud se realizó mediante el uso de funciones concentración respuesta (FCR). Debido a la limitada disponibilidad de FCR específicas para la ZMVM se prefirió realizar un meta-análisis de diferentes FCR realizadas a nivel nacional e internacional. Un meta-análisis combina los resultados de diversos estudios para identificar patrones consistentes.

El equipo de trabajo del plan de descontaminación de la ZMVM incluyó la revisión de estudios con publicaciones en revistas indexadas que evaluaran efectos clínicos identificables asociados con la exposición a material particulado. Se excluyeron los estudios que no presentaban rangos de error o intervalos de confianza, los basados en poblaciones muy pequeñas o con error estándar muy grande, igualmente se excluyeron los documentos que no tuvieron en cuenta la temperatura y su variación estacional y los que no consideraron la corrección de los efectos generados por el ozono cuando evalúan PM_{10} y viceversa. Con estos criterios se seleccionaron 126 publicaciones para incluir en el meta-análisis.

La ponderación de los estudios incluidos en el meta-análisis se realizó mediante la aplicación del modelo de efectos aleatorios. Este modelo supone que el efecto real se puede descomponer entre el efecto promedio de la población y la variabilidad entre estudios. De este modo se promedian los efectos promedio de cada estudio y no se tiene en cuenta la variabilidad específica de cada estudio (valores máximos y mínimos de un mismo estudio). En la ponderación se le da un peso doble a los estudios desarrollados para México, para darle mayor representatividad a los estudios propios.

Se evaluaron 23 efectos en la salud, los cuales pueden clasificarse en las siguientes categorías: **1)** Admisiones hospitalarias, **2)** Visitas a sala de emergencia, **3)** Días de actividad restringida, **4)** Días de actividad menor restringida, **5)** Efectos en asmáticos, **6)** Síntomas respiratorios, **7)** Morbilidad por exposición crónica, **8)** Mortalidad por exposición crónica y **9)** Mortalidad por exposición a corto plazo. Las tasas de incidencia inicial para estos efectos se obtuvieron de la Secretaría de Salud de la ZMVM. En los casos en que no se tenían datos de incidencia específicos para la región se recurrió a datos de la EPA.

b. Beneficios locales del control de contaminación atmosférica en la Ciudad de México

El Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Nacional de Salud, desarrollaron en el 2003, un estudio con el objetivo de evaluar el impacto sobre la salud al aplicar cinco medidas específicas para reducir emisiones en el Área Metropolitana de la Ciudad de México: **a)** Renovación de la flota de taxis, **b)** Expansión del metro, **c)** Crecimiento de la flota de buses híbridos, **d)** Reducción de las pérdidas de GLP y **d)** Promoción de la cogeneración.

El estudio realizó la evaluación de 18 efectos en la salud, que pueden clasificarse en las siguientes categorías: **1)** Mortalidad debida a exposición aguda, **2)** Mortalidad debida a exposición crónica, **3)** Bronquitis crónica, **4)** Admisiones hospitalarias, **5)** Visitas a salas de emergencia, **6)** Días de actividad menor restringida y **7)** Ausentismo escolar.

La valoración se realizó mediante el uso de FCR. La fuente de datos de estas funciones corresponde a tres meta-análisis (USEPA 1999, Cesar et al., 2002 y Evans et al., 2000), los cuales fueron

complementados con valores hallados en literatura epidemiológica disponible y en estudios desarrollados específicamente para México.

Se seleccionaron estudios que evaluaran los mismos efectos clínicos (con base en CIE) y se unificaron para deltas de concentración de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para PM_{10} se usó el promedio anual de 24 horas y para O_3 el promedio de concentración máxima horaria.

La asignación de los coeficientes de la FCR para cada efecto correspondió a un análisis detallado de cada situación. De este modo, según la disponibilidad de estudios se usaron los datos más apropiados (entre los meta-análisis, estudios mexicanos y otros estudios) para establecer el valor central, máximo y mínimo de cada efecto. A diferencia del estudio del Banco Mundial, no se promediaron los datos de cada estudio, sino que se asignó un dato de un estudio específico a cada coeficiente de evaluación (central, máximo y mínimo).

La exposición de la población a la contaminación se obtuvo mediante un promedio ponderado poblacional, el cual fue construido a partir de mapas de concentración de contaminantes y la distribución de la población en el año 2000.

Las frecuencias de incidencia de los efectos evaluados se obtuvieron de la información del Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS). Este grupo representa el 30% de la población del Estado de México y el 80% de la población del Distrito Federal. Pese a que la distribución no es uniforme en todos los grupos evaluados, se supone que los datos disponibles son representativos del total de la población.

A partir de los análisis fue posible identificar la prioridad de las medidas evaluadas según los beneficios generados en la salud por las reducciones en las emisiones de cada contaminante. En este análisis se encontró que el 50% de los casos de mortalidad aguda relacionada con la contaminación del aire se debe a los niveles de ozono y el 50% restante a los niveles de material particulado (primario 11% y secundario 39%). En cuanto a los casos de mortalidad crónica se encontró que el 69% del efecto se atribuye a los nitratos secundarios y al material particulado orgánico. Por otra parte, se encontró que el 90% de las admisiones hospitalarias evitadas se deben a la reducción en los niveles de ozono.

ANEXO 4.3. Efectos en la salud y riesgo relativo de la exposición a material particulado

Tabla 1. Efectos en la salud asociados a la exposición a contaminantes criterio de contaminación atmosférica

Contaminante	Efectos Agudos	Efectos Crónicos	Generalidades
Material Particulado	<ul style="list-style-type: none">- Puede agravar la enfermedad pulmonar.- Bronquitis aguda.- Ataque de asma.- Aumento de la susceptibilidad a sufrir infecciones respiratorias.- En población sensible ataques cardíacos y arritmia.	<ul style="list-style-type: none">- Reducción de la función pulmonar.- Desarrollo de bronquitis crónica.- Suele asociarse con el desarrollo de cáncer pulmonar.- Muerte prematura.	<p>El material particulado entre 5 -50 μm es retenido por la nariz y la faringe. Las partículas de 1 a 5 μm ingresan a la región bronquial. Los alveolos son afectados por partículas de diámetro menor a 0.5μm. Partículas menores a 0.05μm son exhaladas.</p> <p>Las partículas pueden causar la irritación e inflamación de los alveolos y el endurecimiento de las vías respiratorias resultando en una pérdida de la función pulmonar al reducir la capacidad de intercambio de oxígeno.</p> <p>Las partículas pueden llegar al torrente sanguíneo y causar problemas cardiovasculares.</p>

Elaboración propia basada en: Griffin (2007), EPA (2003).

Tabla 2. Riesgo relativo de mortalidad por un cambio de 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de PM_{10} .

EFECTO	SANTIAGO DE CHILE		BARCELONA		ZMVM ¹		ZMVM ²		CALIFORNIA	
	RR (IC 95%)	FUENTE	RR (IC 95%)	FUENTE	RR (IC 95%)	FUENTE	RR (IC 95%)	FUENTE	RR (IC 95%)	FUENTE
Mortalidad (todas las causas)	1.01 (1.008-1.036)	Pope et al., 1995, Ostro et al., 1996	---	---	---	---	---	---	---	---
Mortalidad infantil	---	---	1.048 (1.022-1.080)	Cálculos en Lacasaña et al., 2005	1.035	Meta-análisis, Cesar et al., 2002	1.010 (1.00 -1.039)	Meta-análisis, INE et al., 2003	---	---
Mortalidad (todas las causas)	---	---	1.006 (1.004-1.008)	OMS, 2004	1.010	Meta-análisis, Cesar et al., 2002	1.007 (1.005-1.014)	Meta-análisis, INE et al., 2003	1.001	AHA, 1996
Mortalidad (causas respiratorias)	---	---	1.013 (1.005-1.021)	OMS, 2004	---	---	---	---	1.034	AHA, 1996
Mortalidad (causas cardiovasculares)	---	---	1.009 (1.005-1.013)	OMS, 2004	---	---	---	---	1.014	AHA, 1996
Mortalidad (todas las causas) exposición crónica	---	---	1.043 (1.026-1.061)	Cálculos en Künzli et al., 2000	1.038	Meta-análisis, Cesar et al., 2002	1.036 (1.000 - 1.084)	Meta-análisis, INE et al., 2003	1.040	Pope, 2002
Mortalidad (causas cardiopulmonares) exposición crónica	---	---	---	---	---	---	1.050 (1.000-1.120)	Meta-análisis, INE et al., 2003	1.060	Pope, 2002
Mortalidad (cáncer de pulmón) exposición crónica	---	---	---	---	---	---	1.084 (1.000-1.120)	Meta-análisis, INE et al., 2003	1.080	Pope, 2002

¹Riesgo relativo asociado a un delta de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . En Pope (2002) el cálculo es para un delta de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$. ²World Bank (2002). ³INE (2003).

Tabla 3. Riesgo relativo de morbilidad por un cambio de $10 \mu\text{gm}^{-3}$ de PM_{10} (diferentes efectos).

EFECTO	SANTIAGO DE CHILE		BARCELONA		ZMVM ¹		ZMVM ²		CALIFORNIA	
	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE
Bronquitis crónica en adultos exposición crónica	1.061 (1.030-1.093)	Abbey et al., 1993	1.098 (1.090-1.194)	Abbey et al., 1993	1.036	Meta-análisis, Cesar et al., 2002	1.100 (1.050-1.150)	Meta-análisis, INE et al., 2003	---	---
Bronquitis crónica en niños exposición crónica	---	---	1.306 (1.135-1.502)	Cálculos en Künzli et al., 2000	---	---	---	---	---	---
Prevalencia de tos crónica (niños) exposición crónica	---	---	---	---	1.0384	Cesar et al., 2002	---	---	---	---
Enfermedades en sistema respiratorio bajo en niños (bronquitis y tos) exposición aguda	1.110 (1.007-1.160)	Dockery, 1996	---	---	---	---	---	---	---	---
Síntomas respiratorios agudos	1.167 (1.033-1.197)	Krupnick et al., 1990	---	---	---	---	---	---	---	---
Incremento en reportes de tos exposición aguda	---	---	---	---	---	---	---	---	1.025	AHA, 1996
Incremento en reportes (enfermedades respiratorias vías superiores) exposición aguda	---	---	---	---	1.439	Cesar et al., 2002	---	---	1.007	AHA, 1996
Incremento en reportes (Enfermedades respiratorias vías inferiores) exposición aguda	---	---	---	---	1.685	Cesar et al., 2002	---	---	1.030	AHA, 1996
Bronquitis aguda exposición aguda	---	---	---	---	1.110	Cesar et al., 2002	---	---		
Reducción en función pulmonar (Volumen respiratorio forzado, FEV)	---	---	---	---	---	---	---	---	1.002	AHA, 1996

EFECTO	SANTIAGO DE CHILE		BARCELONA		ZMVM ¹		ZMVM ²		CALIFORNIA	
	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE
exposición aguda										
Reducción en función pulmonar (flujo respiratorio máximo, PEF) exposición aguda	---	---	---	---	---	---	---	---	1.001	AHA, 1996
Crisis asmáticas exposición aguda	1.058 (1.033-1.197)	Ostro et al., 1991 Whittemore and Korn, 1991	---	---	7.74	Cesar et al., 2002	1.030 (1.020-1.040)	Meta-análisis, INE et al., 2003	1.003	AHA, 1996
Crisis asmáticas en adultos exposición aguda	---	---	1.039 (1.019-1.059)	Cálculos en Kúnzli et al., 2000	---	---	---	---	---	---
Crisis asmáticas en niños exposición aguda	---	---	1.041 (1.021-1.051)	Cálculos en Ward&Ayes, 2004	---	---	---	---	---	---
Tos sin flema (niños) exposición aguda	---	---	---	---	4.54	Cesar et al., 2002	---	---	---	---
Tos con flema (niños) exposición aguda	---	---	---	---	3.32	Cesar et al., 2002	---	---	---	---
Tos con flema y uso del broncodilatador (niños) exposición aguda	---	---	---	---	10.22	Cesar et al., 2002	---	---	---	---
Uso de broncodilatador exposición aguda	---	---	---	---	---	---	---	---	1.122	AHA, 1996
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	1.067 (1.058-1.078)	Burnett et al., 1995	1.010 (1.006-1.017)	APHEIS 3, 2005	1.014	Cesar et al., 2002	1.010 (1.000-1.020)	INE et al., 2003	1.014	AHA, 1996
Admisiones hospitalarias: enfermedad pulmonar obstructiva, (EPOC)	---	---	---	---	---	---	1.023 (1.018-1.029)	INE et al., 2003		

EFECTO	SANTIAGO DE CHILE		BARCELONA		ZMVM ¹		ZMVM ²		CALIFORNIA	
	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE	RR (95% CI)	FUENTE	RR	FUENTE
Admisiones hospitalarias: ataques asmáticos	---	---	---	---	---	---	1.030 (1.020-1.040)	INE et al., 2003	1.019	AHA (1996)
Admisiones hospitalarias: neumonía	---	---	---	---	---	---	1.014 (1.010-1.021)	INE et al., 2003	---	---
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	1.064 (1.048-1.073)	Burnett et al., 1995	1.006 (1.003-1.009)	Le Terte et al., 2002	1.006	Cesar et al., 2002	1.011 (1.006-1.012)	INE et al., 2003	---	---
Admisiones hospitalarias: insuficiencia cardiaca congestiva, (CHF)	---	---	---	---	1.0122	Cesar et al., 2002	1.010 (1.008-1.019)	INE et al., 2003	---	---
Admisiones hospitalarias: enfermedad isquémica cardiaca, (IHD)	---	---	---	---	---	---	0.6 (0.2-1.8)	INE et al., 2003	---	---
Visitas a sala de emergencias: causas respiratorias	---	---	---	---	1.031	Cesar et al., 2002	1.020 (1.010-1.040)	INE et al., 2003	1.009	AHA, 1996
Visitas a sala de emergencias: ataques asmáticos	---	---	---	---	---	---	1.040 (1.010-1.070)	INE et al., 2003	1.034	AHA, 1996
Días de actividad restringida	1.017 (1.010-1.023)	Ostro (1990)	---	---	1.077	Cesar et al., 2002	1.003 (1.000-1.013)	INE et al., 2003	---	---
Días de actividad menor restringida	---	---	---	---	1.0492	Cesar et al., 2002	1.043 (1.031-1.056)	INE et al., 2003	---	---
Ausentismo escolar (niños)	---	---	---	---	---	---	1.040 (1.020-1.060)	INE et al., 2003	---	---

¹Riesgo Relativo asociado a un delta de 10 µg/m³ de PM₁₀. En Pope (2002) el cálculo es para un delta de 10 µg/m³ de PM_{2.5}. ²World Bank (2002). ³INE (2003)

Tabla 4. Mortalidad diaria por un aumento de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} . Revisión América Latina (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante evaluado	Población	RR (IC 95%)	Referencia
Ciudad de México	1993-1995	$\text{PM}_{2.5}$	< 1 año	1.040 (1.015-1.066)	Loomis, 1999
Sao Paulo	1991-1992	PM_{10}	> 28 semanas de embarazo	1.008 (1.007-1.019)	Pereira, 1998
Sao Paulo	1998	PM_{10}	< 28 días	1.0387 (1.015-1.064)	Nishioka, 2000
Sao Paulo	1998-2000	PM_{10}	< 28 días	1.017 (1.001-1.033)	Lin, 2004

Tabla 5. Mortalidad diaria por un aumento de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} . Revisión América Latina (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Lugar	Periodo de estudio	Contaminante evaluado	Población	RR (IC 95%)	Referencia
Rio de Janeiro	2000-2001	PM_{10}	< 5 años	1.018 (1.004-1.030)	Gouveia, 2003
Sao Paulo	1992-1993	PM_{10}	< 13 años	1.016 (1.008-1.024)	Braga, 1999
Sao Paulo	1992-1994	PM_{10}	< 5 años	1.004 (0.095-1.010)	Gouveia, 2000
Sao Paulo	1993-1997	PM_{10}	≤ 2 años	1.053 (1.044-1.061)	Braga, 2001
Sao Paulo	1993-1997	PM_{10}	3 -5 años	1.019 (1.001-1.0361)	Braga, 2001
Sao Paulo	1993-1997	PM_{10}	6 - 13 años	1.053 (0.066-1.014)	Braga, 2001
Sao Paulo	1993-1997	PM_{10}	14 -19 años	1.014 (1.009-1.027)	Braga, 2001
Sao Paulo	1993-1997	PM_{10}	0 - 19 años	1.019 (1.016-1.023)	Braga, 2001
Sao Paulo	1996-2000	PM_{10}	< 5 años	1.067 (1.049-1.086)	Gouveia, 2003

En las tablas 6,7,8 y 9 se presenta la comparación de los RR usados en este trabajo frente a otros estudios de referencia.

Tabla 6. Mortalidad por exposición crónica (Todas las causas).

EFECTO	EDAD	RR: Estudio original			RR: Diferencial 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). $\text{PM}_{2.5}$		
		RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador	RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador
Dockery et al (1993)	>25	1.260 (1.080-1.470)	18.6	$\text{PM}_{2.5}$	1.132 (1.042-1.230)	10	$\text{PM}_{2.5}$
Villeneuve et al (2002)	>25	1.310 (1.120-1.520)	18.6	$\text{PM}_{2.5}$	1.156 (1.063-1.252)	10	$\text{PM}_{2.5}$
Krewski et al, (2000)	>25	1.260 (1.080-1.470)	18.6	$\text{PM}_{2.5}$	1.132 (1.042-1.230)	10	$\text{PM}_{2.5}$
Pope et al (2002)	>30	1.060 (1.020-1.110)	10	$\text{PM}_{2.5}$	1.060 (1.020-1.110)	10	$\text{PM}_{2.5}$
Pope et al (1995)	>30	1.170 (1.090-1.260)	24.5	$\text{PM}_{2.5}$	1.066 (1.036-1.099)	10	$\text{PM}_{2.5}$
Künzli et al (2000)	>30	1.043 (1.026-1.061)	10	PM_{10}	1.073 (1.044-1.104)	10	$\text{PM}_{2.5}$
INE (2003)	Todos	1.036 (1.000-1.084)	10	PM_{10}	1.073 (1.000-1.175)	10	$\text{PM}_{2.5}$

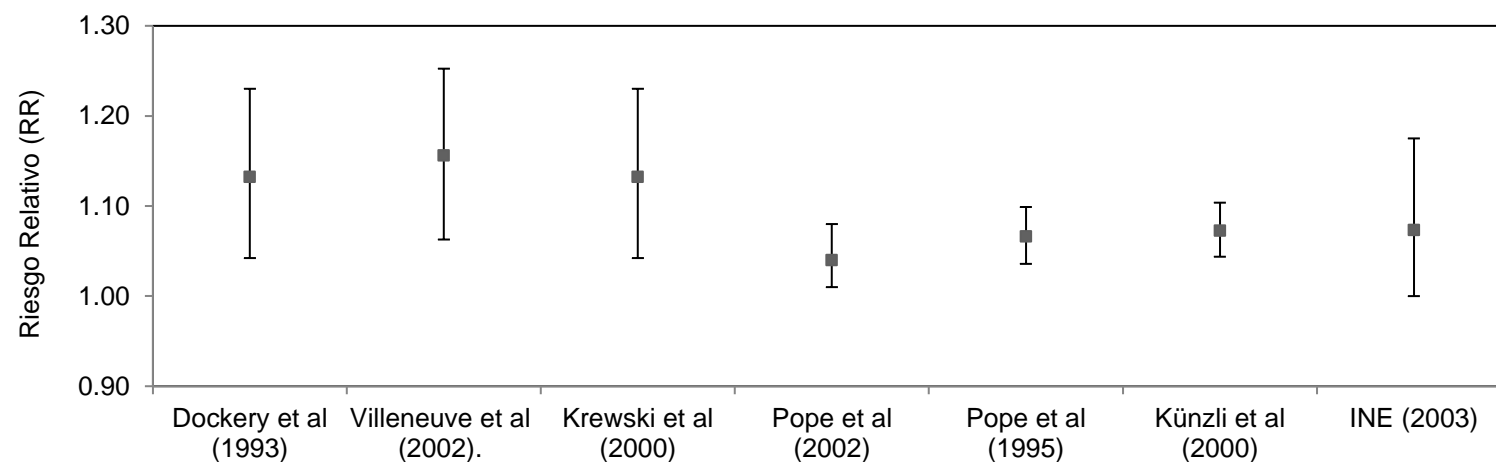


Figura 1. Riesgo Relativo – Mortalidad por exposición crónica (todas las causas) por una reducción de $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de $\text{PM}_{2.5}$

Tabla 7. Mortalidad infantil (Todas las causas).

EFECTO	EDAD	RR: Estudio Original			RR: Diferencial 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador	RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador
Lacasaña et al (2005)	< 1	1.048 (1.022-1.080)	10	PM ₁₀	1.048 (1.022-1.080)	10	PM ₁₀
Loomis ¹ (1999)	< 1	1.034 (1.012-1.055)	10	PM ₁₀	1.040 (1.015-1.066)	10	PM ₁₀

¹El estudio original fue desarrollado para PM_{2.5}

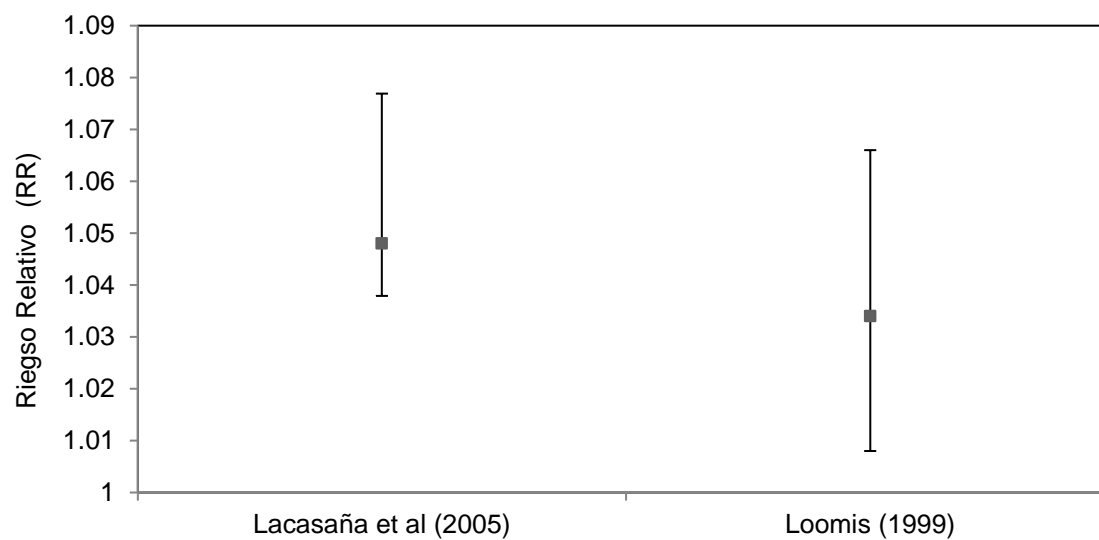


Figura 2. Riesgo Relativo – Mortalidad infantil (todas las causas) para una reducción de $10\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ de PM₁₀

Tabla 8. Admisiones hospitalarias por causas respiratorias.

Estudio	EDAD	RR: Estudio Original		
		RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador
Gouveia (2003)	<5	1.0184 (1.004-1.024)	10	PM ₁₀
Gouveia (2003)	<5	1.0673 (1.049-1.086)	10	PM ₁₀

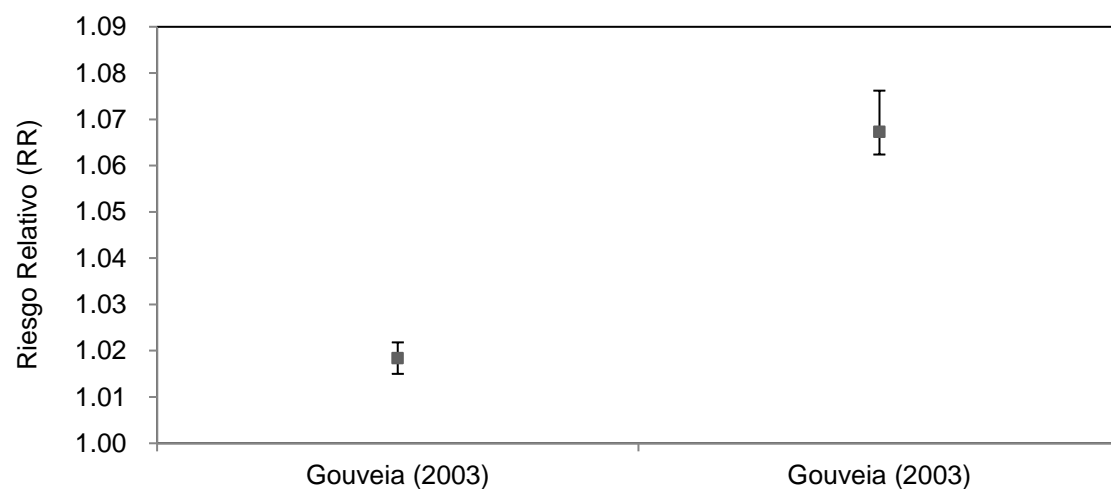


Figura 3. Riesgo Relativo – Admisiones hospitalarias por causas respiratorias (menores de 5 años) para una reducción de $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de PM₁₀.

Tabla 9. Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares.

Estudio	EDAD	RR: Estudio Original		
		RR (IC 95%)	Diferencial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indicador
Burnett et al (1995)	Todas	1.0064 (1.005-1.007)	10	PM ₁₀
Le Tertre et al (2002)	Todas	1.006 (1.003-1.009)	10	PM ₁₀
SUR (2009)	Todas	1.0062 (1.004-1.008)	10	PM ₁₀

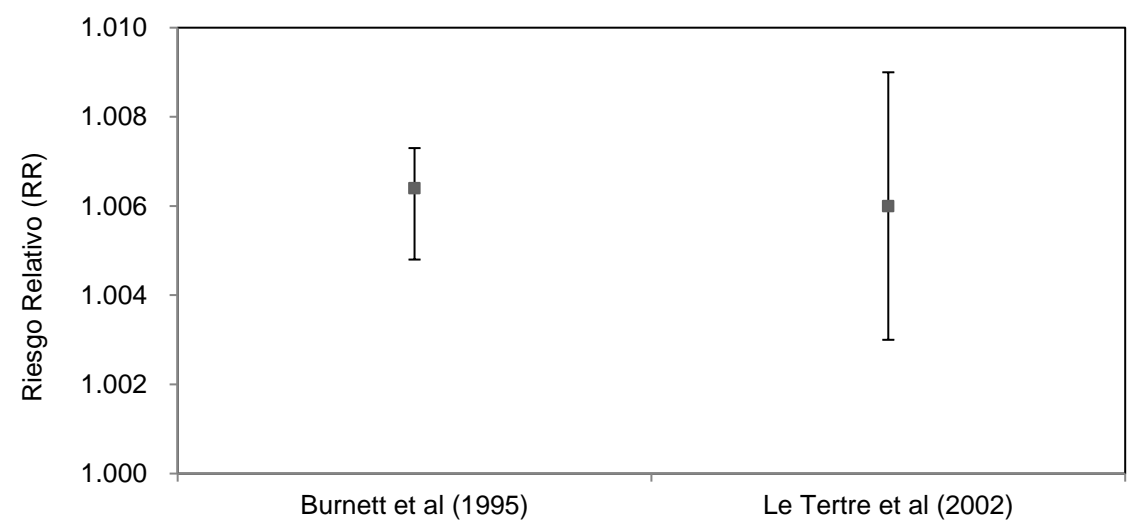


Figura 4. Riesgo Relativo – Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares (todas las edades) para una reducción de $10\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ de PM_{10} .

ANEXO 4.4. Registros de salud disponibles para Bogotá.

Base de datos de RIPS del Ministerio de la Protección Social

La Resolución 3374 de 2000 expedida por el entonces Ministerio de Salud reglamenta los datos básicos que deben reportar las entidades prestadoras de servicios de salud (EPS) y las entidades administradoras de planes de beneficios (EAPB) sobre los servicios de salud prestados. Esta información se reporta en el formato de Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud (RIPS), el cual fue concebido como una herramienta de control y constituye una herramienta de interés para realizar seguimiento epidemiológico en el país.

El Ministerio de la Protección Social (Minprotección) desarrolló una herramienta disponible en línea¹ en la cual se compila la información de los RIPS reportada por las EPS y EAPB. La información incluye los registros de consultas, hospitalizaciones y atención en urgencias clasificada por código CIE-10 para los diferentes regímenes (vinculado, contributivo, subsidiado y particular). En términos geográficos la información se encuentra desagregada por ciudades y para Bogotá se tiene un mayor nivel de desagregación al presentar la información por localidades.

El reporte de los RIPS es de obligatorio cumplimiento según la Resolución 3374 de 2000. Esta información se encontraba dentro de la documentación necesaria para el pago de los servicios de salud por parte de las EAPB a las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS). Debido a que las IPS no contaban con la estructura necesaria para el adecuado reporte de los RIPS, se dificultó el proceso de pago de sus servicios. Por tal razón la Resolución 0951 de 2002 desvinculó la entrega de los RIPS para el pago de los servicios a las IPS. Si bien el reporte de los RIPS continuó siendo obligatorio, el control sobre la entrega de los mismos se limitó. La situación explicada anteriormente ha afectado la cantidad y la calidad de la información contenida en esta base de datos.

El Ministerio de la Protección Social aún no ha implementado los mecanismos de control y exigencia de RIPS. Según información del Grupo de Sistemas de la Dirección de Formulación de Políticas (Grupo del Ministerio de la Protección Social, coordinador del proceso de RIPS) la calidad de la información disponible no es confiable debido a que las EAPB no reportan de forma consistente los datos. Por esta razón, el uso de esta base de datos se encuentra supeditado a una previa validación de la información.

Actualmente Minprotección se encuentra en un proceso de mejora de calidad de la información de la base de datos de RIPS.

Sistema de estadísticas vitales del DANE

Los registros vitales son estadísticas continuas que recogen información sobre nacimientos, defunciones y matrimonios, que permiten contar con un flujo de información que revela los cambios ocurridos en los niveles y patrones de mortalidad, fecundidad y nupcialidad, proporcionando así una visión dinámica de la población, como complemento al enfoque estático que proveen los censos (DANE, 2009).

¹ Disponible en: <http://rips.minproteccionsocial.gov.co/> Consultada en línea: Julio 8 de 2009.

El Sistema de Estadísticas Vitales, desarrollado por el DANE incluye información sobre nacimientos y defunciones fetales y no fetales agrupadas según clasificación CIE-10 y lista 667 de la OPS. Se encuentra disponible información en línea² para el nivel municipal.

Infraestructura colombiana de datos del DANE

La infraestructura colombiana de datos (ICD), creada mediante Decreto 3851 del 2 de noviembre de 2006, es el instrumento del Sistema Estadístico Nacional (SEN) que ha sido desarrollado por el DANE para la integración y el almacenamiento de la información estadística estratégica e histórica, armonizada u homologada para poder presentarla y analizarla comparativamente (DANE, 2009).

La información se encuentra disponible en línea³ e incluye datos de mortalidad desagregados por localidad para el caso Bogotá.

Compilación y análisis de datos epidemiológicos en Bogotá

Este estudio (Muñoz & Behrentz, 2009) realiza una compilación de los datos DANE y la Secretaría Distrital de Salud (SDS) de morbilidad y mortalidad disponibles en la ciudad de Bogotá para el periodo 2003 - 2006. Se incluyeron bases de datos de mortalidad y morbilidad (disponibles para el régimen vinculado) considerando datos diarios de mortalidad por todas las causas y datos diarios de morbilidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares diferenciando la información de consultas, urgencias y hospitalizaciones. El estudio hace énfasis en la incidencia de enfermedades relacionadas con la contaminación del aire.

Las bases de datos de soporte fueron validadas por los autores y se encuentran desagregadas hasta el nivel de localidad. Las bases de datos usadas en la compilación incluyen datos del total de la población para mortalidad y del régimen vinculado para morbilidad.

Sistema de vigilancia epidemiológica del Ministerio de Protección Social

El sistema de vigilancia epidemiológica (SIVIGILA) recopila la información de interés en salud pública en el país. El sistema se encuentra a cargo del Ministerio de la Protección Social, en cabeza del Instituto Nacional de Salud (INS) e integra los actores involucrados en la vigilancia de la salud pública (Ministerio, Secretarías de Salud y Entidades Prestadoras de Salud)(Minprotección, 2006a). La información generada por SIVIGILA es usada por el Ministerio para la implementación de sus políticas (Minprotección, 2006),

La información de SIVIGILA se encuentra disponible en línea⁴ organizada en boletines epidemiológicos. Entre la información de interés para el presente estudio se encuentran disponibles registros de morbilidad y mortalidad por enfermedades crónicas de las vías respiratorias y mortalidad y morbilidad por Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) (CIE -10, J00 - J04, J05.1, J06, J10 – J16, J18, J20 - J22). La información de SIVIGILA se encuentra disponible para Bogotá a través de la Secretaría Distrital de Salud, entidad que publica mensualmente los boletines ERA⁵.

² Disponible en: http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category§ionid=16&id=36&Itemid=148
Consultada en línea: Julio 8 de 2009.

³ Disponible en: <http://190.25.231.246:8080/Dane/loginUsuario.jsf> Consultado en línea: Julio 8 de 2009.

⁴ Disponible en: <http://www.ins.gov.co/> Consultado en línea: Julio 8 de 2009.

⁵ Disponible en <http://www.saludcapital.gov.co/paginas/vsp.aspx> Consultado en línea: Julio 8 de 2009.

Boletines epidemiológicos de la Secretaría Distrital de Salud

La SDS a partir de los subsistemas de vigilancia en salud pública⁶ presenta información acumulada en diferentes periodos de manera comparativa con años anteriores (SDS, 2009). Se destacan los Boletines ERA y los Boletines estadísticos de la SDS (anual). En ambos casos se incluye información sobre los registros de morbilidad y mortalidad por enfermedad respiratoria aguda, la cual es de interés para el presente estudio.

Encuesta nacional de salud del Ministerio de Protección Social

La encuesta nacional de salud (ENS) tiene el objetivo de recolectar y analizar información de hogares, usuarios e instituciones del sistema colombiano de salud que permita caracterizar la situación de salud del país en el ámbito departamental (Minprotección, 2009). A diferencia de las otras fuentes de información la ENS permite identificar la morbilidad sentida por parte de la población y la percepción de los usuarios sobre el sistema de salud.

La ENS incluye información sobre enfermedades respiratorias (tuberculosis pulmonar, asma bronquial y enfisema), infección respiratoria aguda y hábitos de la población.

⁶ SIVIGILA, Sistema de Vigilancia Epidemiológica Ambiental (SISVEA), Sistema de Vigilancia Epidemiológica Comunitaria (SVPC), Sistema de Vigilancia Epidemiológica Alimentaria y Nutricional (SISVAN).

ANEXO 4.5. Comparación bases de datos de morbilidad para el periodo 2004-2007.

Las bases de datos que recopilaban la información necesaria para el análisis son Muñoz & Behrentz (2009) y RIPS del Ministerio de la Protección Social. A continuación se presenta una comparación de la información contenida en dichas fuentes de información.

Tabla 1. Comparación de número de consultas: causas respiratorias, para el periodo 2004 – 2007.

Fuente	Régimen	Consultas: causas respiratorias				
		2004	2005	2006	2007	Suma
Muñoz & Behrentz (2009) ¹	Vinculado	66,783	129,672	166,959	138,877	502,291
RIPS Minprotección	Vinculado	46,400	96,337	188,868	97,963	429,568
	Contributivo	57,559	93,204	38,344	87,330	276,437
	Subsidiado	29,583	40,573	91,758	58,414	220,328
	Particular	4,616	24,052	22,864	20,674	72,206
	Desplazados	1	1,295	10,005	6,705	18,006
	Otro	675	4,869	23,226	14,434	43,204
	Suma	138,834	260,330	375,065	285,520	1,059,749
	Todos	138,834	260,330	375,065	245,741	1,019,970
Diferencia ² entre base de datos RIPS		0	0	0	39,779	39,779

¹Datos de la SDS. ²Diferencia entre el valor reportado como "Todos" y la suma de los datos de los regímenes reportados.

Tabla 2. Comparación de número de admisiones hospitalarias: causas respiratorias, para el periodo 2004 – 2007.

Fuente	Régimen	Admisiones hospitalarias: causas respiratorias				
		2004	2005	2006	2007	Suma
Muñoz & Behrentz (2009) ¹	Vinculado	11,092	15,107	20,138	19,034	65,371
RIPS Minprotección	Vinculado	11,198	18,702	18,716	11,325	59,941
	Contributivo	3,557	5,364	3,332	3,347	15,600
	Subsidiado	1,669	1,894	3,466	2,608	9,637
	Particular	1,805	4,057	2,340	3,224	11,426
	Desplazados	0	343	679	605	1,627
	Otro	12	359	403	488	1,262
	Suma	18,241	30,719	28,936	21,597	99,493
	Todos	18,241	30,719	28,936	21,597	99,493
Diferencia ² entre base de datos RIPS		0	0	0	0	0

¹Datos de la SDS. ²Diferencia entre el valor reportado como "Todos" y la suma de los datos de los regímenes reportados.

Tabla 3. Comparación de número de visita a sala de urgencias: causas respiratorias para el periodo 2004 – 2007.

Fuente	Régimen	Urgencias: causas respiratorias				
		2004	2005	2006	2007	Suma
Muñoz & Behrentz (2009) ¹	Vinculado	9,044	16,857	20,948	22,005	68,854
RIPS Minprotección	Vinculado	8,421	18,350	16,561	12,709	56,041
	Contributivo	13,488	6,500	10,946	21,946	52,880
	Subsidiado	3,825	5,641	7,638	6,588	23,692
	Particular	1,542	5,843	3,725	494	11,604
	Desplazados	0	782	1,382	1,012	3,176
	Otro	79	1,744	3,073	2,631	7,527
	Suma	27,355	38,860	43,325	45,380	154,920
	Todos	27,355	38,860	37,808	28,601	132,624
Diferencia ² entre base de datos RIPS		0	0	5,517	16,779	22,296

¹Datos de la SDS. ²Diferencia entre el valor reportado como “Todos” y la suma de los datos de los regímenes reportados.

La información presentada en las bases de datos de RIPS de Minprotección y la compilación realizada por Muñoz & Behrentz (2009) presentan la información de efectos en salud que mejor se ajusta para la evaluación de morbilidad atendida. Acerca de los criterios de selección de las fuentes de información se encontró lo siguiente:

- Cobertura poblacional: La base de datos de RIPS presenta mayor representatividad poblacional al incluir información de todos los regímenes de salud. La compilación de Muñoz & Behrentz (2009) contiene información para el régimen vinculado (30% de la población).
- Periodo de información disponible: Se cuenta con información para el periodo 2004 – 2007 en ambas bases. La base de datos de RIPS presenta información para 2008 pero la cantidad de datos es menor a la de los años anteriores¹.
- Número de registros anuales: Para el régimen vinculado el total de registros durante el periodo analizado es mayor en la compilación de Muñoz & Behrentz (2009) que en la base de datos de RIPS para todos los efectos evaluados. En el caso de la base de datos de RIPS los registros para el régimen vinculado representan el 40% de los casos en consultas, el 60% de los casos en admisiones hospitalarias y el 36% de los casos en atención en urgencias. El Ministerio de Protección Social establece que el régimen vinculado representa para Bogotá cerca del 30% de la población.
- Variabilidad anual de los registros: No necesariamente debe presentarse para un mismo efecto crecimiento anual en los registros. Sin embargo es de esperarse que la variación no sea muy grande. Variaciones anuales altas son indicio de que la base no está bien consolidada. Para evaluar este ítem se consideró para un mismo efecto el cambio porcentual de los registros frente al año anterior. Las menores variaciones se presentan para la base de datos de Muñoz y Behrentz (2009) la menor variación se presenta entre los años 2006 – 2007.

¹ Información no mostrada en las tablas, para mayor detalle ver <http://rips.minproteccionsocial.gov.co/> Consultada en línea: Julio 8 de 2009.

- Coherencia interna de los registros: Para un mismo año se analizó la proporción de casos reportados de consultas, atención en urgencias y hospitalizaciones. En términos generales se encontró que el registro para consultas es mayor que el de los otros efectos. El número de casos en urgencias y hospitalización es muy similar entre estos efectos. En la compilación de Muñoz y Behrentz (2009) el dato de urgencias es ligeramente mayor que el de hospitalizaciones.
- Coherencia de los registros entre las bases: En términos generales para el régimen vinculado la variación de los registros de las bases se encuentra entre el 10 – 20%. Siendo mayor el registro de para la compilación de Muñoz y Behrentz (2009).
- La revisión con los responsables de las bases de datos: **1)** Ministerio de Protección Social, **2)** Autores de la validación de la base de datos de la SDS (Muñoz y Behrentz, 2009) y **3)** la Secretaría Distrital de Salud, permitió identificar la revisión de Muñoz y Behrentz (2009), como la mejor fuente de registros de salud para el fin de este estudio.

Con base en los anteriores criterios se seleccionó la compilación de datos epidemiológicos realizada por Muñoz y Behrentz (2009) como fuente de información principal para el establecimiento de la línea base. El año de referencia fue el 2006.

ANEXO 4.6. Proyección de crecimiento de la población de Bogotá.

Se presentan en las tablas 1 y 2 los datos de proyección poblacional usados en la valoración. Los datos fueron obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Tabla 1. Proyección poblacional, periodo 2010-2020.

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0	119,681	120,106	120,482	120,823	121,133	121,437	121,693	122,009	122,315	122,676	123,076
1	118,987	119,734	120,064	120,400	120,708	120,998	121,493	121,742	122,036	122,359	122,727
2	118,532	119,133	119,780	120,019	120,323	120,603	121,097	121,555	121,775	122,074	122,412
3	118,310	118,737	119,273	119,824	119,977	120,250	120,741	121,201	121,623	121,818	122,127
4	118,324	118,547	118,935	119,411	119,871	119,942	120,425	120,883	121,312	121,701	121,875
5	118,056	118,464	118,833	119,228	119,626	119,926	120,280	120,674	121,075	121,458	121,794
6	118,651	118,379	118,730	119,043	119,381	119,701	120,134	120,465	120,837	121,213	121,569
7	119,498	118,879	118,696	118,994	119,256	119,541	119,969	120,346	120,659	121,010	121,366
8	120,550	119,680	119,101	119,013	119,262	119,477	119,862	120,242	120,567	120,862	121,198
9	121,752	120,788	119,856	119,322	119,332	119,537	119,833	120,187	120,522	120,798	121,081
10	123,037	121,985	121,019	120,030	119,546	119,659	119,918	120,193	120,521	120,813	121,043
11	124,332	123,353	122,272	121,248	120,208	119,777	120,068	120,303	120,562	120,866	121,120
12	125,684	124,697	123,722	122,620	121,482	120,392	120,208	120,482	120,698	120,942	121,226
13	127,084	126,108	125,124	124,153	123,033	121,723	120,866	120,643	120,904	121,104	121,337
14	128,420	127,583	126,598	125,622	124,651	123,517	122,276	121,346	121,088	121,339	121,525
15	129,765	128,999	128,143	127,160	126,193	125,219	124,044	122,836	121,836	121,546	121,790
16	131,309	130,419	129,625	128,761	127,794	126,840	125,832	124,639	123,408	122,339	122,019
17	131,794	132,040	131,107	130,294	129,440	128,501	127,538	126,514	125,308	123,992	122,858
18	130,666	132,564	132,790	131,822	131,001	130,175	129,252	128,308	127,271	126,053	124,594
19	128,579	131,421	133,340	133,552	132,555	131,741	130,934	130,073	129,159	128,106	126,878
20	126,541	129,280	132,165	134,111	134,310	133,296	132,474	131,738	130,960	130,089	129,024
21	124,110	127,188	129,957	132,893	134,862	135,051	134,003	133,217	132,582	131,919	131,103
22	123,067	124,698	127,797	130,605	133,591	135,577	135,727	134,686	133,964	133,465	132,948
23	124,323	123,594	125,232	128,367	131,220	134,245	136,207	136,348	135,339	134,706	134,385
24	126,938	124,789	124,055	125,717	128,896	131,791	134,811	136,760	136,898	135,948	135,439
25-29	653,832	652,621	647,104	639,925	635,244	635,633	640,632	650,902	663,785	674,892	681,661
30-34	613,985	627,428	639,309	648,859	655,158	657,874	656,790	651,442	644,486	640,069	640,629
35-39	537,559	549,179	564,579	582,200	599,504	614,779	628,185	640,060	649,707	656,252	659,323

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
40-44	520,061	521,551	522,395	523,965	528,238	536,343	547,958	563,389	581,065	598,447	613,854
45-49	495,361	503,618	509,122	512,515	514,821	516,837	518,352	519,261	520,926	525,310	533,554
50-54	414,252	431,580	448,718	464,821	478,709	489,703	497,879	503,389	506,868	509,299	511,478
55-59	321,090	337,090	353,888	371,249	388,770	406,084	423,052	439,872	455,762	469,570	480,594
60-64	244,282	256,642	269,007	281,693	295,228	309,925	325,516	341,916	358,802	375,761	392,504
65-69	175,590	185,477	196,057	207,178	218,601	230,197	241,887	253,646	265,872	279,068	293,398
70-74	122,464	127,792	134,186	141,559	149,789	158,670	167,928	177,853	188,188	198,716	209,398
75-79	84,141	87,224	90,537	94,219	98,439	103,406	107,806	113,108	119,382	126,640	134,870
> 80	83,175	86,437	89,747	93,151	96,693	100,416	104,331	108,506	112,985	117,810	123,024
TOTAL	7,363,782	7,467,804	7,571,345	7,674,366	7,776,845	7,878,783	7,980,001	8,080,734	8,181,047	8,281,030	8,380,801

Tabla 2. Proyección poblacional por grupos de interés, periodo 2010-2020.

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
< 1 año	119,681	120,106	120,482	120,823	121,133	121,437	121,693	122,009	122,315	122,676	123,076
< 5 años	593,834	596,257	598,534	600,477	602,012	603,230	605,449	607,390	609,061	610,628	612,217
> 5 años	6,769,948	6,871,547	6,972,811	7,073,889	7,174,833	7,275,553	7,374,552	7,473,344	7,571,986	7,670,402	7,768,584
> 30 años	3,611,960	3,714,018	3,817,545	3,921,409	4,023,950	4,124,234	4,219,684	4,312,442	4,404,043	4,496,942	4,592,626
TOTAL	7,363,782	7,467,804	7,571,345	7,674,366	7,776,845	7,878,783	7,980,001	8,080,734	8,181,047	8,281,030	8,380,801

ANEXO 4.7. Evaluación anual del riesgo relativo.

En las tablas 1 y 2 se presenta la evaluación anual del RR en el escenario de referencia comparado con el escenario con plan y escenario de referencia comparado con el escenario tendencial. Los valores de RR que se presentan se encuentran afectados según los cambios en la concentración de PM para cada escenario. En el escenario de referencia se considera que la concentración se mantiene constante durante todo el periodo (2010-2020). Para una concentración de PM₁₀ igual a la del escenario de referencia el RR=1.0, si la concentración es mayor, el RR se hace mayor a 1.0 (aumenta el riesgo) y si es menor el RR es menor a 1.0 (disminuye el riesgo).

Tabla 1. Evaluación anual del riesgo relativo para los efectos evaluados - Escenario con plan frente a escenario de referencia.

Efecto	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad por exposición crónica (< 1 año)	Inferior	1.000	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.989	0.987	0.985	0.982	0.980
	Central	1.000	1.000	0.995	0.987	0.980	0.973	0.967	0.961	0.958	0.950	0.943
	Superior	1.000	0.999	0.990	0.977	0.965	0.953	0.942	0.932	0.926	0.913	0.902
Mortalidad infantil (< 1 año)	Inferior	1.000	1.000	0.994	0.987	0.982	0.977	0.974	0.971	0.971	0.967	0.964
	Central	1.000	0.999	0.984	0.966	0.952	0.939	0.930	0.924	0.924	0.912	0.906
	Superior	1.000	0.998	0.975	0.946	0.924	0.904	0.890	0.880	0.881	0.863	0.853
Admisiones hospitalarias por causas respiratorias (<5 años)	Inferior	1.000	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.991	0.990	0.991	0.989	0.988
	Central	1.000	0.999	0.991	0.981	0.973	0.966	0.961	0.957	0.958	0.951	0.947
	Superior	1.000	0.999	0.989	0.976	0.965	0.956	0.950	0.945	0.945	0.937	0.932
Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares	Inferior	1.000	1.000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.993	0.993	0.993	0.992	0.991
	Central	1.000	1.000	0.997	0.994	0.991	0.989	0.987	0.986	0.986	0.984	0.982
	Superior	1.000	1.000	0.996	0.991	0.987	0.983	0.981	0.979	0.979	0.976	0.974

Tabla 2. Evaluación anual del riesgo relativo para los efectos evaluados. Escenario tendencial frente a escenario de referencia.

Efecto	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad por exposición crónica (< 1 año)	Inferior	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.006	1.007	1.009	1.011	1.013	1.016
	Central	1.000	1.002	1.005	1.008	1.012	1.017	1.022	1.027	1.033	1.040	1.048
	Superior	1.000	1.004	1.009	1.015	1.022	1.030	1.039	1.049	1.061	1.074	1.088
Mortalidad infantil (< 1 año)	Inferior	1.000	1.002	1.005	1.008	1.011	1.014	1.017	1.020	1.023	1.026	1.030
	Central	1.000	1.006	1.013	1.021	1.029	1.037	1.046	1.055	1.064	1.073	1.083
	Superior	1.000	1.010	1.022	1.034	1.047	1.061	1.075	1.090	1.105	1.121	1.137
Admisiones hospitalarias por causas respiratorias (<5 años)	Inferior	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.009	1.010
	Central	1.000	1.003	1.007	1.012	1.016	1.020	1.025	1.030	1.035	1.040	1.045
	Superior	1.000	1.004	1.010	1.015	1.021	1.027	1.033	1.039	1.045	1.052	1.059
Admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares	Inferior	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.003	1.004	1.005	1.006	1.006	1.007
	Central	1.000	1.001	1.002	1.004	1.005	1.007	1.008	1.010	1.011	1.013	1.015
	Superior	1.000	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010	1.012	1.015	1.017	1.019	1.022

ANEXO 4.8. Casos potencialmente evitados – Datos anuales.

Tabla 1. Número de casos potencialmente evitados (datos anuales).

Efecto	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Mortalidad por exposición crónica (>30 años)	Inferior	0	19	86	177	275	385	497	615	721	881	1,041	4,698
	Central	0	57	252	522	808	1,128	1,454	1,797	2,112	2,575	3,044	13,747
	Superior	0	102	452	933	1,441	2,009	2,586	3,196	3,763	4,586	5,424	24,493
Mortalidad Infantil (< 1 año)	Inferior	0	4	16	30	42	54	64	73	77	89	99	549
	Central	0	10	43	81	114	146	172	195	209	241	267	1,479
	Superior	0	17	69	130	182	233	274	312	334	386	427	2,363
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias) (<5 años)	Inferior	0	42	173	330	467	598	706	801	853	987	1,089	6,046
	Central	0	191	790	1,505	2,124	2,716	3,206	3,640	3,882	4,487	4,957	27,497
	Superior	0	248	1,027	1,955	2,758	3,526	4,161	4,725	5,043	5,828	6,440	35,712
Admisiones Hospitalarias (causas cardiovasculares)	Inferior	0	11	44	85	122	158	188	215	231	270	301	1,626
	Central	0	21	88	170	243	315	375	430	462	539	601	3,244
	Superior	0	32	132	255	364	471	561	643	691	807	900	4,854
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias) (> 5 años)	Inferior	0	17	69	131	185	237	280	318	338	391	432	2,398
	Central	0	76	313	597	842	1,077	1,272	1,444	1,540	1,780	1,966	10,907
	Superior	0	98	408	775	1,094	1,399	1,651	1,874	2,000	2,312	2,554	14,165
Atención en urgencias (causas respiratorias) (<5 años)	Inferior	0	13	52	99	140	179	212	240	256	296	327	1,814
	Central	0	57	237	451	637	815	962	1,092	1,165	1,346	1,487	8,249
	Superior	0	74	308	586	827	1,058	1,248	1,418	1,513	1,748	1,932	10,713
Atención en urgencias (causas respiratorias) (>5 años)	Inferior	0	58	241	460	650	833	983	1,116	1,187	1,374	1,517	8,419
	Central	0	265	1,100	2,095	2,957	3,782	4,464	5,068	5,405	6,248	6,902	38,287
	Superior	0	345	1,431	2,722	3,840	4,910	5,794	6,580	7,022	8,114	8,967	49,724
Atención en salas ERA (< 5 años)	Inferior	0	113	467	892	1,261	1,615	1,906	2,164	2,303	2,664	2,941	16,325
	Central	0	515	2,133	4,062	5,734	7,334	8,657	9,828	10,481	12,115	13,384	74,243
	Superior	0	670	2,774	5,278	7,446	9,520	11,236	12,759	13,617	15,735	17,387	96,421
Atención UCI (< 5 años)	Inferior	0	8	35	66	93	120	141	160	171	197	218	1,209
	Central	0	38	158	301	425	543	641	728	776	897	991	5,499
	Superior	0	50	205	391	552	705	832	945	1,009	1,166	1,288	7,142
Síntomas respiratorios (< 5 años)	Inferior	0	834	3,461	6,607	9,340	11,961	14,120	16,026	17,057	19,731	21,788	120,924
	Central	0	3,812	15,800	30,091	42,471	54,327	64,123	72,802	77,638	89,739	99,143	549,947
	Superior	0	4,960	20,548	39,099	55,154	70,520	83,230	94,509	100,865	116,554	128,794	714,232

ANEXO 4.9. Valores utilizados en la estimación de costos.

A continuación se presentan los valores utilizados en la estimación económica de los casos evitados. En la Tabla 1 se muestran los costos unitarios de atención de los efectos en salud seleccionados. Estos valores corresponden a los costos de enfermedad.

Tabla 1. Costos de atención.

Actividad	Costo unitario ¹
Admisión hospitalaria por causas respiratorias ²	\$ 956,000
Atención en urgencias por causas respiratorias	\$ 172,000
Atención en unidad de cuidados intensivos por causas respiratorias ³	\$ 6,590,000
Atención en sala ERA (enfermedad respiratoria aguda)	\$ 45,000
Admisión hospitalaria por causas cardiovasculares ⁴	\$ 1,370,000

¹Pesos colombianos (2009). ²Tiempo de permanencia promedio 5 días (SDS). ³Tiempo de permanencia promedio 8 días (SDS). ⁴Tiempo de permanencia promedio 5.5 días (AHA, 2008).

En la Tabla 2 se presenta el costo asociado a la pérdida de productividad de los diferentes efectos evaluados. En la valoración se usó el PIB per cápita diario de 2009 (\$47,652 según DANE²⁴) para estimar el costo de un día de actividad restringida.

Tabla 2. Parámetros para estimar los costos relacionados con la pérdida de productividad.

Criterio	Días de actividad restringida	Costo total ¹
Admisión hospitalaria por causas respiratorias	15	\$ 715,000
Admisión hospitalaria por causas cardiovasculares	16.5	\$ 786,000
Atención en urgencias por causas respiratorias	4	\$ 191,000
Atención en sala ERA (enfermedad respiratoria aguda)	2	\$ 95,000
Atención en unidad de cuidados intensivos por causas respiratorias	32	\$ 1,525,000

En la Tabla 3 se presenta el valor de disponibilidad a pagar por evitar un día de episodio leve de síntomas respiratorios. Se usó el valor calculado por Ibáñez & McConnell (2001) como el valor diario de disponibilidad a pagar. Como se mencionó en el documento este valor corresponde a la disponibilidad a pagar en adultos. En este trabajo se utilizó el mismo valor para la disponibilidad a pagar en niños.

²⁴ Consultado en http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=8 Enero 15 de 2010.

Tabla 3. Disponibilidad a pagar.

Descripción	Valor diario ¹	Valor total ¹
Disponibilidad a pagar por evitar un día de episodio leve de síntomas respiratorios ² .	\$84,469	\$ 253,407

¹Pesos colombianos (2009). ²Tiempo de duración promedio de una enfermedad respiratoria 3 días (ISS, 2009).

En la Tabla 4 se presenta el valor estadístico de la vida (VSL) usado para Colombia en el presente estudio y los VSL de los estudios de referencia usados para la transferencia de beneficios. Los índices para la transferencia de beneficios (IPC y PIB per cápita en términos de PPP fueron obtenidos del Fondo Monetario Internacional²⁵.

Tabla 4. Valor estadístico de la vida.

País	VSL ¹	VLS ²
Colombia ¹	411,086 ²	892,210,777
México	446,541	969,161,422
Chile	600,048	1,302,554,196
Brasil	1,040,000	2,257,190,000

¹USD precios constantes de 2009. ²Valor en pesos colombianos. Tasa de cambio 2,170 Pesos/USD.

²⁵ Fondo Monetario Internacional. Disponible en línea en:
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/weodata/index.aspx>. Consultado en enero de 2010.

ANEXOS SECCIÓN 5

ANEXO 5.1. Porcentaje de datos válidos en redes de monitoreo de calidad del aire en ciudades latinoamericanas.

Tabla A1.1. Porcentaje de datos válidos y diferentes de cero reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Santiago de Chile.

Estaciones de monitoreo	Años de monitoreo											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Independencia	0	0	0	0	100	99	99	100	100	96	84	97
La Florida	0	0	0	0	99	99	100	99	100	95	84	97
Las Condes	0	0	0	0	99	100	100	99	100	94	84	96
Santiago Centro	0	0	0	0	98	98	99	97	99	95	84	97
Pudahuel	0	0	0	0	99	98	99	99	99	94	86	97
Cerrillos	0	0	0	0	99	97	98	100	100	95	84	98
El Bosque	0	0	0	0	100	99	99	99	99	95	84	97

Tabla A1.2. Porcentaje de datos válidos y diferentes de cero reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de México.

Estaciones de monitoreo	Años de monitoreo											
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CES	91	99	100	95	95	95	83	91	93	94	94	96
EAC	0	0	0	53	87	92	92	97	98	91	95	91
HAN	0	0	0	55	97	90	84	96	94	38	0	0
IZT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	97
LVI	99	99	100	97	92	99	83	92	95	86	95	83
MER	96	99	100	92	98	97	87	89	91	93	95	96
MIN	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
NET	83	99	100	5	0	0	0	0	0	0	0	0
PED	93	99	100	98	94	97	86	84	91	92	92	96
PLA	0	0	0	52	94	96	82	91	93	69	85	97
SAG	0	0	0	55	92	84	92	93	96	78	93	87
TAH	63	96	100	92	75	52	37	0	34	84	75	92
TAX	0	0	0	54	96	93	83	88	87	81	95	70
TLA	95	96	100	89	97	98	92	87	83	97	97	96
TLI	63	98	100	84	66	10	71	15	0	0	25	0
VIF	63	96	100	91	87	8	73	92	87	86	81	72
XAL	92	96	100	92	89	95	90	95	94	94	87	93

ANEXO 5.2. Evaluación del desempeño de la RMCAB

1.1. Aspectos Generales

Esta sección describe la propuesta para tener un indicador único que permita hacer un seguimiento y medir el desempeño de calidad del aire de la ciudad. Este indicador se basa en la estadística T^2 de Hotelling. Esta sección describe los detalles que permiten calcular y utilizar este indicador.

1.2. Estadístico T^2 de Hotelling

La estadística T^2 es una generalización de la estadística t-student que se utiliza en pruebas de hipótesis multivariadas (Hotelling, 1931). Una de las aplicaciones de T^2 en ingeniería es la detección de fallas o comportamientos anormales de un sistema. En situaciones en las cuales se tiene información proveniente de diferentes sensores (v.g., estaciones de medición), T^2 permite realizar una evaluación del sistema de manera integral. Por ejemplo, T^2 se ha utilizado eficientemente para la detección de cambios en el comportamiento de sistemas estructurales como puentes y es una herramienta ampliamente utilizada en lo que se conoce como *Statistical Health Monitoring*. En esencia, T^2 permite detectar un comportamiento del sistema fuera de lo esperado, pero no proporciona información sobre cuales variables son responsables de la anomalía (Hu & Yuan, 2008).

El cálculo de T^2 se puede realizar de la siguiente forma (Quin, 2002):

$$T^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{P}^T \mathbf{x} \quad (7)$$

Donde \mathbf{A} es la matriz de valores propios en la diagonal (Tabla 3) y \mathbf{P} es la matriz de vectores propios (Tabla 5). Comúnmente, es posible caracterizar la distribución de T^2 mediante una distribución F de la siguiente forma:

$$T^2 \leq T_{\alpha}^2 \equiv \frac{l(N-l)}{N(N-l)} F_{l, N-l, \alpha} \quad (8)$$

A partir de esta distribución es posible realizar pruebas de hipótesis o se puede utilizar para definir un criterio límite que permita verificar el cumplimiento de un estándar de calidad.

En la propuesta presentada como parte del proyecto del PDDb, T^2 se propone como una alternativa para evaluar el comportamiento del sistema con respecto a un criterio preestablecido (norma de contaminación). En esta estrategia, la esencia de la medición no está relacionada con las características estadísticas de T^2 ni con la información estadística que proporciona (v.g., hipótesis sobre la normalidad de la serie), sino con su variación y comportamiento con respecto a un valor límite. Esto se basa en el hecho de que T^2 está íntimamente ligada con la distancia Mahalanobis que tiene en cuenta las correlaciones entre los datos y es una medida invariante con respecto a la escala.

En el procedimiento sugerido, se calcula la estadística T^2 a partir de los datos utilizando la Ecuación 7. Este valor se utiliza como medida general de comportamiento de calidad del aire. El valor de T^2 se compara con un valor límite, definido en este caso como los promedios de 24 horas ($150 \mu\text{g m}^{-3}$ de PM_{10}). Puesto que la evaluación se debe realizar sobre el espacio donde está definido T^2 , el valor de la norma se expresa en términos de T^2 ; i.e., T^2_{24} . Entonces, es posible definir el criterio de cumplimiento en términos de la excedencia en todas las estaciones o en una en particular; esto se hace mediante la definición de los siguientes puntos ficticios:

$$\begin{aligned}x_{24}^t &= \{150, 150, \dots, 150\} \\x_{24}^i &= \{0, \dots, 150, \dots, 0\}\end{aligned}\tag{9}$$

Donde x_{24}^t corresponde al vector construido en el caso en que la norma aplica a todas las estaciones; y x_{24}^i es el vector construido en el caso en que la norma aplica solamente la i -ésima estación. La transformación al espacio de T^2 se realiza aplicando directamente la Ecuación 7.

Puesto que T_{24}^2 es un valor único, se supone como constante durante todo el periodo de tiempo considerado. El comportamiento del sistema (en este caso Bogotá) se considera adecuado siempre que $T^2 < T_{24}^2$. Si este no es el caso, habrá incumplimiento de la norma.

2. Referencias

- Davis, J. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Hotelling, H. (1931). "The generalization of Student's ratio". Annals of Mathematical Statistics 2 (3): 360–378. doi:10.1214/aoms/1177732979.
- Hu, K. Yuan, J. 2008. Statistical monitoring of fed-batch process using dynamic multiway neighborhood preserving embedding. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 90, 195-203.
- Pearson, K. (1901). "On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space" (PDF). Philosophical Magazine 2 (6): 559–572.
- Shlens, J. 2009. A tutorial on Principal Component Analysis. Center of Neural Science, New York University. New York.
- Torbick, N., Becker, B. 2009. Evaluating Principal Components Analysis for Identifying Optimal Bands Using Wetland Hyperspectral Measurements from the Great Lakes, USA. Remote Sens. 2009, 1, 408-417.