

METODOLOGÍA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL TRANSPORTE POR CARRETERA

J. Lumbreras^a, A. Guijarro^a, J. Pérez^a, J.M. López^b y M.E. Rodríguez^a

^a Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente

^b Instituto Universitario de Investigación del Automóvil

Universidad Politécnica de Madrid

c/ José Gutiérrez Abascal, 2. 28006. Madrid (España)

Tel: +34 913363189, Fax: +34 913363009, E-mail: jlumbreras@etsii.upm.es

RESUMEN

Las emisiones de contaminantes atmosféricos del transporte por carretera en España han experimentado, en el periodo 1990-2005, un fuerte crecimiento, que en el caso del CO₂ ha superado el 83%. En 2005, su contribución a las emisiones nacionales de PM_{2,5} y CO₂ fue del 25%, siendo aún mayores para NO_x (33%) y CO (38%). Estos valores confirman la trascendencia de este sector a la hora de diseñar medidas que conduzcan a España al cumplimiento de compromisos internacionales de emisión como el Protocolo de Kioto o la Directiva sobre Techos Nacionales de Emisión (Directiva 2001/81/CE).

Con el fin de facilitar la toma de decisiones en el diseño de medidas de reducción de emisiones, se ha desarrollado una metodología que permite aumentar el conocimiento del efecto que tienen las variables que más influyen en las emisiones del sector, conocer su interrelación y calcular las emisiones asociadas. Esta metodología ha permitido el desarrollo de una herramienta de cálculo (EmiTRANS), que realiza esa cuantificación de forma flexible y sistemática, aportando una base científico-tecnológica al proceso de toma de decisiones en el ámbito político-administrativo.

Se ha estudiado el efecto, tanto individual como combinado, de variables como la movilidad por tipo de vehículo, el combustible utilizado, las pautas de conducción, la edad del parque de vehículos, la penetración de las nuevas tecnologías o la variación de la potencia de los vehículos. La metodología desarrollada se ha aplicado a la determinación de diversos escenarios de emisión, en el horizonte temporal de 2020, para el caso de España.

1. INTRODUCCIÓN

El sector del transporte en España tiene una importante repercusión socioeconómica, tanto directa como indirecta, sobre otras actividades económicas, productivas y de consumo. Es una actividad estratégica para sectores básicos en la economía como la industria, el comercio o el turismo, que, sin su participación no podrían disponer de materias primas adecuadas, dar salida a sus productos, o recibir a sus clientes. Según los últimos datos de la Contabilidad Nacional, el sector en su conjunto (transporte de mercancías y viajeros y actividades anexas al transporte) aportó en 2002 el 4,9% del Valor Añadido Bruto nacional a precios básicos y el 4,5% del PIB (MFOM, 2007a).

Dentro del sector, el transporte por carretera es, según todos los indicadores, el más importante, contribuyendo en 2001 al 77% del Valor Añadido Bruto nacional a precios básicos y a más del 81% de personas ocupadas en 2006 (MFOM, 2007a). Además, el crecimiento anual de esta actividad en el periodo 1996-2005 se ha situado por encima del 8% en el transporte de mercancías y del 4% en el transporte de pasajeros (MFOM, 2007b).

Actualmente existe una tendencia creciente a la intermodalidad (combinación de modos de transporte), en línea con las directrices de la Comisión Europea, que prevé que entre 2002 y 2015 el transporte combinado por vía férrea se incremente en un 113% (Fundación CETMO, 2005). Sin embargo, resulta evidente la actual y futura predominancia en España del transporte terrestre, mayoritariamente por carretera, sobre el resto de modos de transporte.

Si bien los datos anteriores confirman la relevancia socioeconómica del transporte por carretera, también es preciso destacar su contribución a la contaminación atmosférica en las ciudades (Gurjar *et al.*, 2008, Colville *et al.*, 2002) y sus efectos sobre la salud humana (Curtis *et al.*, 2006). El sector en España no es ajeno a esta situación, y según el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera (MMA, 2007), en 2005 las emisiones del transporte por carretera supusieron el 24% de las partículas de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras (PM_{2,5}) y el 25% del CO₂ respecto al total generado en España. Mayor fue su contribución a la emisión de otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x, 33%), el monóxido de carbono (CO, 38%) y el cobre (Cu, 67%). En algunos contaminantes la emisión del transporte por carretera ha experimentado un fuerte crecimiento desde finales del siglo pasado, como en el caso del dióxido de carbono, cuya generación se ha incrementado un 83% en el periodo 1990-2005. Estos valores confirman la trascendencia del transporte por carretera a la hora de diseñar políticas que conduzcan de manera efectiva, desde un punto de vista del análisis coste-efectividad, a la reducción de contaminantes atmosféricos a nivel nacional. Este sector constituye, por tanto, un ámbito prioritario en la implantación de medidas para el cumplimiento de compromisos ambientales adquiridos por España, como la ratificación del Protocolo de Kioto (UE, 2002) o el cumplimiento de la Directiva sobre Techos Nacionales de Emisión (CE, 2001).

Para facilitar la selección de las políticas y medidas óptimas para la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos, la investigación que se presenta ha profundizado en el conocimiento de las variables que influyen en las emisiones del sector, diseñando una metodología que permite definir y analizar posibles escenarios

futuros y sus consecuencias sobre las emisiones. En base a estas premisas, se ha diseñado una herramienta (EmiTRANS) que permite sistematizar este análisis y que posibilita el cálculo de las emisiones nacionales del sector en función de las interrelaciones entre los factores analizados.

2. FACTORES ESTUDIADOS

La comprensión del comportamiento del sector del transporte por carretera desde el punto de vista de las emisiones atmosféricas se facilita mediante el análisis de los distintos factores que inciden en las mismas. Para ello, se ha procedido a su agrupación en función de cinco ámbitos generales (Tabla 1), y se han establecido indicadores para facilitar la valoración del efecto de cada factor. La herramienta que se ha definido facilita la valoración del impacto de cada uno de dichos factores sobre las emisiones, que se han calculado utilizando los factores de emisión del programa Copert4 (Gkatzoflias *et al*, 2007) basados en la metodología EMEP/CORINAIR (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2007). Los principales resultados de esta evaluación se muestran en los apartados siguientes.

3. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LAS EMISIONES DEL TRANSPORTE POR CARRETERA

Como primer paso en la mejora del conocimiento de la influencia de distintos factores sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos, se ha analizado su comportamiento histórico en el sector, en España y en el periodo 1990-2005. Los parámetros estudiados, con distintos niveles de agregación, son los siguientes: parque de vehículos, recorrido (vehículos·km), movilidad de pasajeros y mercancías (viajeros·km o toneladas·km) y consumo de combustibles.

La comparación de las emisiones atmosféricas con el recorrido (vehículos·km) del parque nacional de vehículos (Figura 1) muestra que todos los contaminantes han seguido una evolución desacoplada a la de la movilidad de los vehículos. Frente al incremento del recorrido en un 88,9% en el periodo 1990-2005 (DGT, 2006), el aumento de las emisiones de CO₂ ha sufrido un incremento únicamente 5 puntos porcentuales inferior, en el mismo periodo. Esta situación indica que las mejoras en la eficiencia energética alcanzadas en todos los tipos de vehículos no han sido suficientes para disminuir el consumo medio por vehículo·km de todo el parque, debido al aumento de la potencia media del parque en España. Un ejemplo de esta situación se puede observar analizando la contribución al recorrido de turismos de gasolina de aquéllos con menos de 1,4 l (los de menor cilindrada), que han pasado de suponer un 63% en 1990 a un 41,8% en 2005, o en los vehículos pesados de más de 32 toneladas, que representan el 30% en 2005 frente al 17,9% en 1990. Sin embargo, el menor ritmo de incremento de las emisiones de NO_x (0,9%) y PM_{2,5} (24,5%), así como la disminución del 56% de CO y COVNM, muestra la efectividad de medidas de reducción de emisiones como la aplicación de las Normas EURO desde comienzos de la década de los 90. Un efecto secundario de la aplicación de estas medidas ha sido el fuerte incremento de las emisiones de óxido nítrico (N₂O), que han multiplicado su generación más de 3,8 veces. Por otro lado, el fuerte descenso de las emisiones de SO₂ (un 95,7% en 2005 respecto a 1990) refleja la mejora de la calidad de los combustibles desde el punto de vista de su contenido en azufre.

Tabla 1. Factores que influyen en las emisiones atmosféricas del transporte por carretera

Ámbito	Factores	Indicadores (unidades de medida)
Viajeros y mercancías	Movilidad de viajeros	Distancia anual recorrida por el conjunto de viajeros en turismos, autobuses, motocicletas y ciclomotores (viajeros·km)
	Movilidad de mercancías	Distancia anual recorrida por el conjunto de mercancías transportadas en vehículos ligeros y pesados (toneladas·km)
	Ocupación de vehículos de pasajeros	Factor de ocupación: número medio de viajeros por cada tipo de vehículo (viajeros/vehículo)
	Carga de vehículos de mercancías	Factor de carga: peso medio de la mercancía transportada (toneladas/vehículo)
Uso de combustibles	Distribución de combustibles por tipo de vehículo	Contribución de cada combustible (gasolina, diesel, gases licuados del petróleo (GLPs), gas natural, hidrógeno, electricidad) en el recorrido de cada tipo de vehículo (%)
	Consumo de combustible	Consumo por unidad de distancia recorrida (litros/100 km) por tipo de vehículo
Modos de conducción	Distribución de recorridos por pauta	Porcentaje del recorrido efectuado en pauta interurbana, rural y urbana (%)
	Velocidad media de los vehículos	Distancia recorrida por unidad de tiempo (km/h)
	Eficiencia de conducción	Disminución del consumo respecto a condiciones estándar de conducción del vehículo (%)
	Frecuencia de uso y distancia media recorrida por trayecto	Recorrido medio por vehículo (km/año). Distancia media por trayecto (km)
Vehículos	Edad del parque de vehículos	Número de vehículos por año de matriculación (vehículos o %)
	Cilindrada y carga bruta de los vehículos	Distribución de vehículos por cilindrada y carga bruta (vehículos o %)
	Vida útil de los vehículos	Curvas de vida de los vehículos: porcentaje de vehículos que sobreviven cada año respecto a su fecha de matriculación (%)
	Reducción de la distancia recorrida con la edad del vehículo	Factor de reducción del kilometraje con la edad (%)
Tecnologías	Penetración de nuevas tecnologías en el parque nuevo de vehículos de cada año	Contribución al parque nuevo de cada tecnología (%)

El mismo análisis efectuado de forma independiente para el recorrido de turismos (Figura 2) y vehículos pesados (Figura 3) refleja que las emisiones de CO₂ se han incrementado más en el segundo caso (+88,5%) que en el primero (+74%), debido a un mayor aumento de la potencia del parque de camiones que de turismos. Las emisiones de partículas han seguido una evolución opuesta: frente a la reducción del 11,1% conseguida en los vehículos pesados, las correspondientes a los turismos han crecido en el periodo estudiado un 45,7%. Esta situación se debe a la fuerte “dieselización” del parque de turismos que se ha producido en el periodo analizado, en el que se ha pasado de tener un 90% de turismos de gasolina a poco más del 58%. Las emisiones de NO_x, CO, COVNM y SO₂ de los turismos han disminuido un 12,8%, 57,7%, 60,4% y 94,5%, respectivamente.

En el caso de los vehículos pesados tan solo se han reducido las emisiones globales de partículas (11,1%) y de SO₂ (96,9%). De aquí se deduce que las mejoras debidas a la aplicación de las normas EURO no han sido capaces de compensar el incremento de potencia de este tipo de vehículos y el del propio parque de camiones (un 54% en el periodo analizado).

4. INFLUENCIA DE DISTINTOS FACTORES SOBRE LAS EMISIONES DEL SECTOR

Este apartado presenta el análisis de la influencia de algunos de los factores estudiados sobre el conjunto de las emisiones del sector del transporte por carretera. De esta forma, se muestra cuál sería la incidencia de medidas adoptadas en un ámbito específico (e.g. velocidad media de turismos en pauta urbana) y la comparación de resultados permite evaluar la importancia relativa de distintas medidas que persigan la reducción de emisiones del transporte por carretera.

La modificación de los factores se ha realizado sobre turismos o camiones, al ser los vehículos con mayor relevancia respecto a la emisión de los contaminantes generados por todo el sector. Según el Inventario Nacional de Emisiones, los valores de emisión de ambos tipos de vehículos representaron conjuntamente en 2005, respecto a las generadas por todo el transporte por carretera, el 89,7%, el 84,6% y el 81,4% de las emisiones de N₂O, CO y NO_x, respectivamente, así como el 82,6% de las emisiones de CO₂ y SO₂. También representan una contribución mayoritaria a las emisiones de COVNM (78,2%) y PM_{2,5} (73%).

4.1 Distribución del número de vehículos por cilindrada

El análisis de la influencia de la potencia de los vehículos sobre las emisiones se ha efectuado sobre el parque de turismos diesel y gasolina. Para ello se ha partido de una situación de referencia (MMA, 2007) en la que los vehículos de más de 2 litros representan el 6,2% y el 14,2% del parque de turismos de gasolina y diesel, respectivamente, y el 7,4% y 14,3% de sus emisiones. Además, suponen conjuntamente un 5,8% de las emisiones del sector del transporte por carretera. A partir de aquí se han definido escenarios de incremento y reducción del porcentaje del parque que representan los turismos de más de 2 litros, a costa de disminuir o aumentar el número de vehículos de menor cilindrada, tal y como se indica en la Tabla 2.

Los escenarios estudiados representan distintas configuraciones de cilindrada del parque de turismos, pero manteniendo constante el recorrido total de dicho parque. Los resultados muestran (Figura 4) que un parque de turismos con mayor cilindrada conlleva un aumento de las emisiones de SO₂, CO₂ y partículas, frente a una reducción de CO y COVNM, y, en menor medida, de NO_x.

Tabla 2. Escenarios de contribución de los vehículos de gran cilindrada al parque de turismos diesel y de gasolina

Porcentaje de vehículos de gasolina (GSL) y diesel (DS) según su cilindrada					
Tipo de vehículo	GSL <1,4 l	GSL 1,4 - 2,0 l	GSL >2,0 l	DS <2,0 l	DS >2,0 l
Situación actual ¹	41,7%	52,1%	6,2%	85,8%	14,2%
Escenario I: vehículos de gran cilindrada triplican su contribución	29,2%	52,1%	18,7%	57,4%	42,6%
Escenario II: vehículos de gran cilindrada duplican su contribución	35,4%	52,1%	12,5%	71,6%	28,4%
Escenario III: vehículos de gran cilindrada reducen a la mitad su contribución	44,8%	52,1%	3,1%	92,9%	7,1%
Escenario IV: Sin vehículos de gran cilindrada	47,9%	52,1%	0,0%	100,0%	0,0%

Fuente: elaboración propia a partir de MMA, 2007.

4.2 Desplazamiento de tecnologías pre-EURO por EURO 5 en turismos

El efecto de la sustitución de vehículos antiguos por otros menos contaminantes se ha efectuado mediante el desplazamiento de vehículos anteriores a las normativas EURO (matriculados antes de 1993) por turismos que cumplen los requisitos de la EURO5. Para ello, se han sustituido distintos porcentajes del parque de vehículos que cumplen las normativas ECE 15/03 y 15/04, en turismos de gasolina, y la normativa Convencional, en turismos diesel. Se han considerado como escenarios alternativos la sustitución del 20%, 40%, 60% y 80% de los turismos pre-EURO, que se corresponden con la sustitución de un 5,3%, 10,6%, 15,9% y 21,2% del total de turismos.

Estos escenarios equivalen a una sustitución de entre 1 y 4,3 millones de vehículos, que dado el ritmo de nuevas matriculaciones anuales de turismos en España (entre 1,4 y 1,6 millones en el periodo 1999-2006 según DGT, 2008), podría ser efectiva en un periodo de entre 1 y 4 años, según los escenarios, siempre que se fabricaran vehículos que cumplieran dicha normativa, prevista para 2010.

Como puede observarse en la Figura 5, la sustitución de vehículos antiguos por otros que cumplen la normativa EURO5 daría lugar a importantes reducciones de CO, COVNM y, en menor medida, de NO_x y PM_{2.5}. Estas reducciones son debidas a las mejoras tecnológicas asociadas a los vehículos más modernos que están equipados con sistemas de reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, las reducciones de CO₂ y SO₂ son menores, ya que la disminución del consumo de combustible (que afecta directamente a estos dos contaminantes) es inferior que la disminución de los factores de emisión de los otros contaminantes. Por ejemplo, la reducción del consumo de los turismos de gasolina entre 1,4 y 2 litros, entre la tecnología ECE

15/03 y la EURO5, es de un 14,9% y 9,4% en pauta urbana e interurbana, respectivamente, frente a unas reducciones de la emisión de NOx por kilómetro del 96,5% y 99,6% (Gkatzoflias *et al*, 2007).

4.3 Planes de movilidad urbana

Los planes de movilidad urbana son instrumentos que tienen un fuerte potencial sobre la mejora de la calidad del aire en las ciudades. Además, las emisiones generadas en ámbitos urbanos tienen una gran relevancia en su contribución al total generado por el sector. A pesar de que los recorridos en ámbito urbano constituyen sólo el 31% del total efectuado por los vehículos, las emisiones generadas en la circulación urbana representan el 36,4%, 43,1%, 47,2% y 50,2% de la emisión total del sector de CO₂, COVNM, CO y PM_{2,5}, respectivamente.

El análisis de la influencia de este tipo de planes se ha efectuado mediante la variación del recorrido efectuado por los turismos en pauta urbana, manteniendo constante el recorrido en el ámbito rural e interurbano en todos los escenarios, e igual al de referencia. Los escenarios definidos se corresponden con un incremento o disminución del 10% y 20% del recorrido de los turismos en pauta urbana. Estos escenarios muestran que, a pesar del limitado alcance geográfico de este tipo de medidas, tienen un gran potencial de reducción de las emisiones totales del transporte por carretera. Por ejemplo, una disminución de la movilidad urbana de los turismos del 20% (Figura 6) conllevaría una reducción de todos los contaminantes del sector entre el 4 y el 8,6% a nivel nacional.

5. INCIDENCIA COMBINADA DE FACTORES SOBRE LAS EMISIONES

Debido al interés que presenta en la aplicación de políticas y medidas de reducción de emisión de contaminantes, se ha efectuado un análisis de posibles combinaciones de escenarios de reducción, constituyéndose escenarios multicriterio. Así, integran de forma conjunta la variación simultánea de distintos factores respecto a la situación de referencia. Esto es particularmente relevante en el caso del transporte por carretera, donde las emisiones se ven afectadas por decisiones tomadas en un gran número de ámbitos además del puramente ambiental, como la seguridad o la política de infraestructuras.

Como ejemplo de los efectos cruzados de distintas políticas de reducción, la Figura 7 presenta la incidencia sobre las emisiones de la aplicación de tres medidas encaminadas a la reducción de emisiones de los turismos: reducción del 10% del recorrido medio de turismos y camiones, incremento del 10% de la velocidad media de turismos en pauta urbana y disminución del 10% de la velocidad media en pauta interurbana. En dicha figura, se muestran los efectos de las medidas individuales y de la combinación de las mismas, que, en este caso, son mayores que la suma de efectos de las medidas consideradas por separado.

6. ESCENARIOS DE PROYECCIÓN DE EMISIONES A 2020

A partir del análisis de los factores, se ha procedido al cálculo de proyecciones de emisión para el periodo 2006-2020 bajo distintos escenarios, con el fin de comprobar el comportamiento de las emisiones del sector del transporte a lo largo del tiempo frente a la variación de diversos parámetros. Se han definido cinco escenarios de proyección, cuyas principales suposiciones se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de los escenarios proyectados

Escenario	Hipótesis adoptadas		
	Movilidad	Nuevas tecnologías	Fomento Biocarburantes
Tendencial	Movilidad pasajeros: 4,5% incremento anual en todo el periodo Movilidad mercancías: 6% incremento anual en todo el periodo	EURO4: Mejor tecnología considerada. Sin vehículos híbridos, de hidrógeno, eléctricos o de gas natural	Sin penetración de biocarburantes
Base	Pasajeros : variación anual del +3,6% en 2006 al +0,5% en 2020 Mercancías: variación anual del +5,1% en 2006 al +0,2% en 2020	Turismos hidrógeno o eléctricos 2020: 1,4% de movilidad de turismos Turismos híbridos 2020: 3,2% movilidad turismos Autobuses urbanos Gas Natural: 16% de movilidad autobuses en 2020	2010: 5,83% 2012: 8% 2016: 10%
Nuevas tecnologías	Igual movilidad de pasajeros y mercancías que en el escenario base	Turismos hidrógeno o eléctricos en 2020: 10% de movilidad de turismos Turismos híbridos 2020: 20% movilidad turismos Autobuses urbanos Gas Natural: 50% de movilidad autobuses en 2020	Igual penetración que en el escenario base
Movilidad	La movilidad de pasajeros y mercancías no varía en 2006-2020	Igual distribución que en el escenario base	Igual que en escenario base
Biocarburantes	Igual movilidad que en el escenario base	Igual distribución que en el escenario base	2010: 6,88% 2020: 20%

Como se muestra en la tabla 3, el escenario Tendencial se ha definido bajo las hipótesis de alta movilidad de viajeros y mercancías y nula penetración de biocarburantes y nuevas tecnologías. El resto de escenarios, en relación con el anterior, presentan diversas mejoras desde el punto de vista de las emisiones, ya sea en el ámbito de la movilidad, las nuevas tecnologías o los biocarburantes.

El escenario Base cuenta con un incremento más moderado de la movilidad que el considerado en el Tendencial e incluye los efectos de las políticas y medidas planificadas en la actualidad por la Administración General del Estado (entre las que destaca el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte -PEIT, Ministerio de

Fomento, 2004- y la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética -E4, Ministerio de Economía, 2003-). Además, contempla la introducción de tecnologías menos contaminantes como los vehículos híbridos, eléctricos, de hidrógeno o de gas natural. Por su parte, los escenarios “Biocarburantes”, “Nuevas Tecnologías” o “Movilidad” constituyen mejoras en sus respectivos campos respecto al escenario Base.

El escenario “Biocarburantes”, para el que se ha evaluado solamente su incidencia sobre la generación de CO₂, constituye una situación futura en la que se contase con una mayor penetración de los mismos (hasta un 20% en 2020), lo que tiene una incidencia considerable sobre las emisiones de CO₂, contabilizando exclusivamente las emisiones generadas en el tubo de escape del vehículo y, por tanto, sin llevar a cabo análisis del ciclo de vida completo de los carburantes. El escenario “Nuevas Tecnologías” presenta una mayor penetración de vehículos de hidrógeno, eléctricos, híbridos o de gas natural. Por último, el escenario “Movilidad” asume una estabilización de la movilidad de viajeros y mercancías en el periodo proyectado.

Los resultados de la proyección de los cinco escenarios para las emisiones de CO₂, NOx y PM_{2,5} se presentan en las figuras 8 a 10. En ellas puede comprobarse que las medidas contempladas en el escenario Base en materia de movilidad, nuevas tecnologías y biocarburantes producen notables reducciones de emisión respecto al escenario Tendencial. En el año 2020, estas reducciones serían del 71,6%, 54,5% y 41,2% de CO₂, NOx y PM_{2,5}. Los escenarios más favorables para la reducción de emisiones, bajo las hipótesis asumidas, son el de baja movilidad, seguido del de nuevas tecnologías, y, en el caso del CO₂, del de biocarburantes. Por tanto, la movilidad de mercancías y viajeros se configura como uno de los factores de mayor relevancia sobre las emisiones del sector.

Como se ha comprobado a lo largo de este estudio, la aplicación conjunta de medidas que afecten a diversos factores (movilidad, tecnología, biocarburantes, etc.) conllevaría nuevos escenarios de proyección que sería preciso evaluar para decidir la combinación óptima de medidas.

7. CONCLUSIONES

Las medidas de reducción de emisiones adoptadas en España a lo largo de los últimos 15 años han permitido que las emisiones de contaminantes atmosféricos del transporte por carretera hayan evolucionado por debajo del propio crecimiento del parque de vehículos y de la movilidad de los viajeros y mercancías. Sin embargo, aún es necesario reducir considerablemente las mismas para contribuir al cumplimiento de compromisos adquiridos como el Protocolo de Kioto o la Directiva de Techos Nacionales de Emisión.

El estudio realizado ha permitido comprobar el gran número de factores que influyen en las emisiones del sector. El efecto de cada uno de ellos sobre las emisiones tiene distinta relevancia y difiere en función de los contaminantes. Así, la actuación sobre uno sólo de ellos no es suficiente para conseguir una reducción significativa de emisiones del sector (a no ser que se contemplaran medidas drásticas como una prohibición o limitación desorbitada de la movilidad). Los escenarios analizados, definidos a partir de la distinta evolución de parámetros como la movilidad, la

penetración de nuevas tecnologías o la utilización de biocarburantes, han demostrado su fuerte influencia en las emisiones.

Por tanto, si se quieren alcanzar reducciones de emisión en el transporte por carretera que contribuyan apreciablemente a la reducción de las emisiones nacionales, es preciso diseñar medidas que tengan efecto sobre varios de los factores analizados, entre los que destacan la movilidad de viajeros y mercancías, la penetración de nuevas tecnologías, la utilización de biocarburantes y la modificación de las velocidades medias. Adicionalmente, es preciso tener en cuenta las sinergias y los efectos opuestos que tienen distintas medidas sobre cada contaminante, con el fin de seleccionar la combinación óptima de medidas de reducción.

Por este motivo surge la necesidad de definir las medidas conociendo de antemano una estimación de sus efectos potenciales. De hecho, esta estimación no sólo resulta recomendable en el diseño de medidas de reducción de emisiones (como las distintas estrategias de calidad del aire, de cambio climático y energía limpia o de ahorro y eficiencia energética) sino también en el de otras dirigidas a otros fines, como los planes de movilidad, las estrategias de infraestructuras del transporte o los planes de urbanismo.

Como se ha comprobado a lo largo del estudio, los numerosos parámetros que intervienen en la generación de contaminantes de los vehículos están implícitos en los factores que utiliza la metodología EMEP/CORINAIR para el cálculo de las emisiones: número de vehículos, recorrido medio, velocidades, etc. Sin embargo, en el proceso de definición de estos datos resulta necesario, si se quiere cuantificar el impacto de medidas de reducción de contaminantes de distinto tipo, considerar factores implícitos como la movilidad, los índices de ocupación o las curvas de vida de los vehículos. La metodología y la herramienta diseñada (EmiTRANS) permiten, como se ha comprobado en los resultados expuestos, la valoración de éstas y otras variables y su transformación en los parámetros necesarios para el cálculo de emisiones del sector.

Un ámbito en el que resulta de especial interés la consideración de esta metodología es el urbano, que aglutina aproximadamente la mitad de las emisiones de PM_{2,5} y CO del sector, y más de la tercera parte de las de COVNM y CO₂. En este ámbito, la aplicación de medidas de reducción de movilidad, incremento de velocidades medias del tráfico urbano, renovación del parque o penetración de vehículos menos contaminantes, daría lugar a mejoras considerables de la calidad del aire urbano.

8. REFERENCIAS

Agencia Europea de Medio Ambiente (2007). EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook - 2007.

Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Warrenl, R.F. (2002). Chapter 6 The transport sector as a source of air pollution. *Developments in Environmental Sciences*, Volume 1, 2002, Pages 187-239.

Comisión Europea (2001). Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de Octubre de 2001, sobre Techos Nacionales de Emisión de determinados contaminantes atmosféricos.

Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., Pan, Y., 2006. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International* 32, 815–830.

Dirección General de Tráfico (2006). Anuario Estadístico General 2005. Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior.

Dirección General de Tráfico (2008). Matriculaciones definitivas de automóviles. Datos extraídos de <http://www.dgt.es> el 19 de junio de 2008.

Fundación CETMO (2005). El transporte en España, un sector estratégico. Informe sobre la aportación del transporte y sus retos futuros.

Gkatzoflias, D., Kouridis, CH., Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2007). COPERT 4. Computer programme to calculate emissions from road transport. ETC-ACC (European Topic Centre on Air and Climate Change).

Gurjar, B.R., Butler, T.M., Lawrence, M.G., Lelieveld, J. (2008). Evaluation of emissions and air quality in megacities. *Atmospheric Environment* 42 1593-1606.

MFOM, Ministerio de Fomento (2007a). Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte por carretera. Dirección General de Transportes por Carretera. Secretaría General de Transportes.

MFOM, Ministerio de Fomento (2007b). Observatorio de Mercado del transporte de mercancías por carretera. Dirección General de Transportes por Carretera. Secretaría General de Transportes.

Ministerio de Economía (2003). Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012. Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa.

Ministerio de Fomento (2004). Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020. Secretaría de Estado de Infraestructuras y Planificación. Dirección General de Planificación y Coordinación Territorial.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente (2007). Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2005. Subdirección General de Calidad del Aire y Prevención de Riesgos. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático. Unión Europea (2002). Ratificación del Protocolo de Kioto por la Unión Europea.

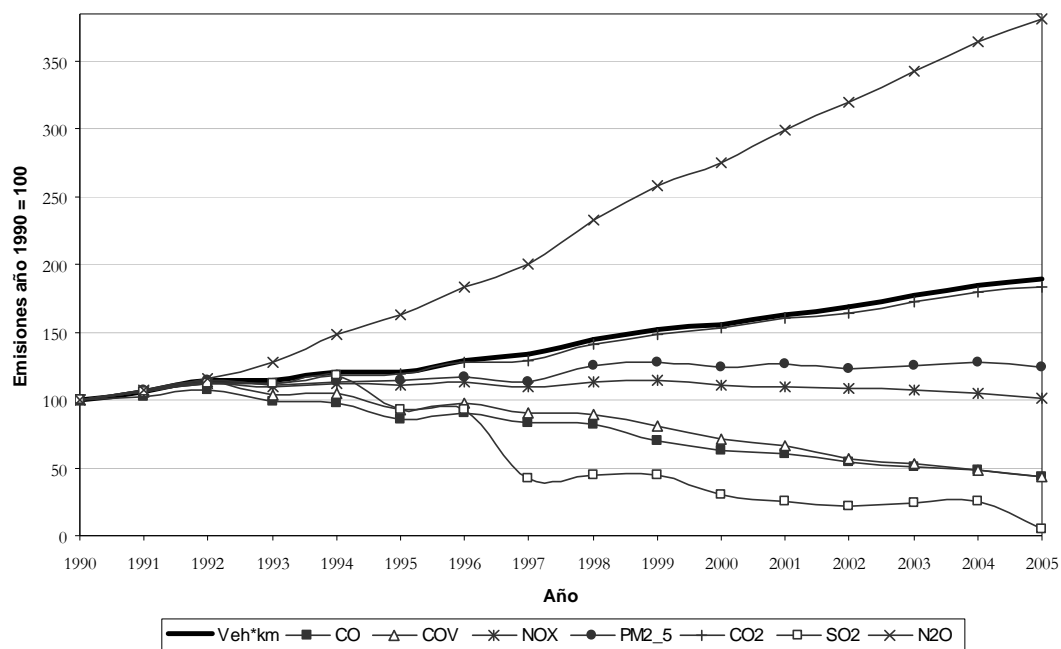


Figura 1. Análisis histórico de las emisiones del transporte por carretera frente a la evolución del recorrido del parque nacional de vehículos

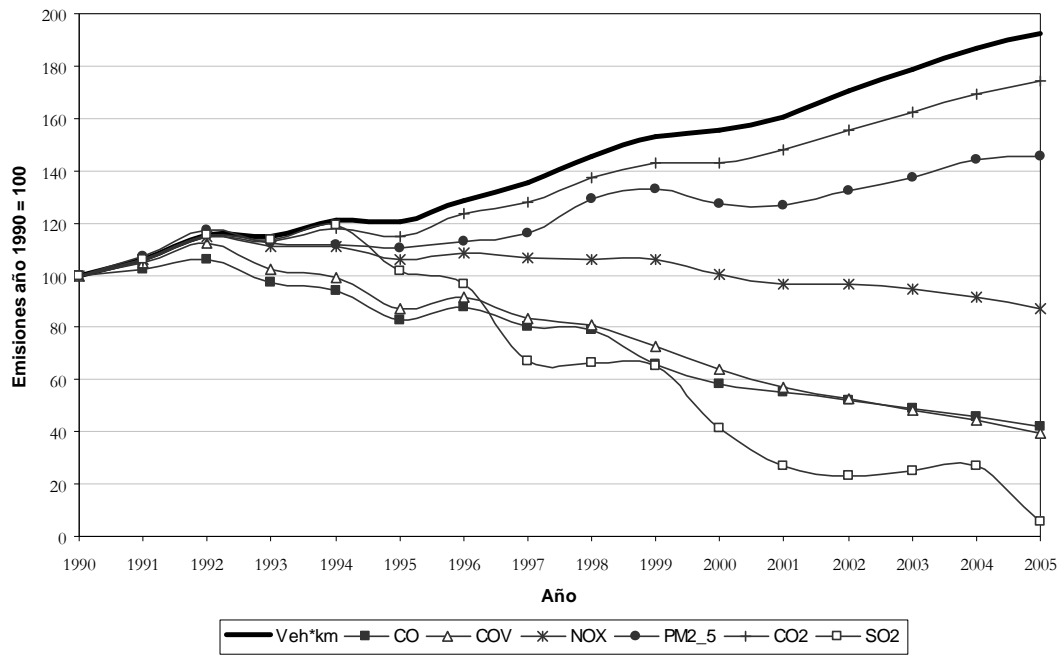


Figura 2. Análisis histórico de las emisiones del transporte por carretera frente a la evolución del recorrido de turismos

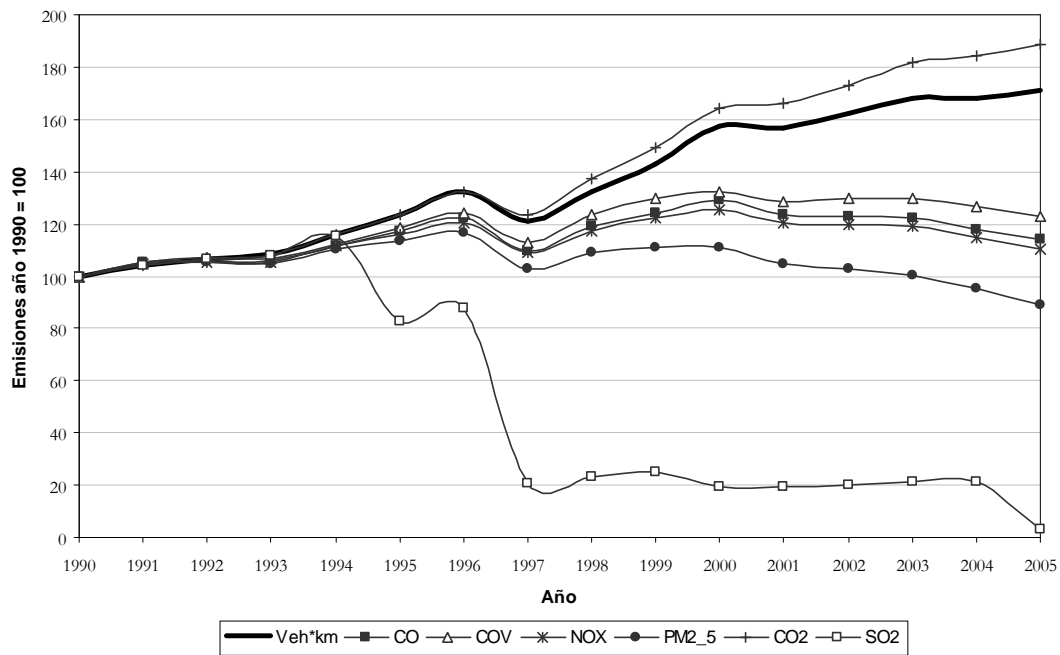


Figura 3. Análisis histórico de las emisiones del transporte por carretera frente a la evolución del recorrido de vehículos pesados

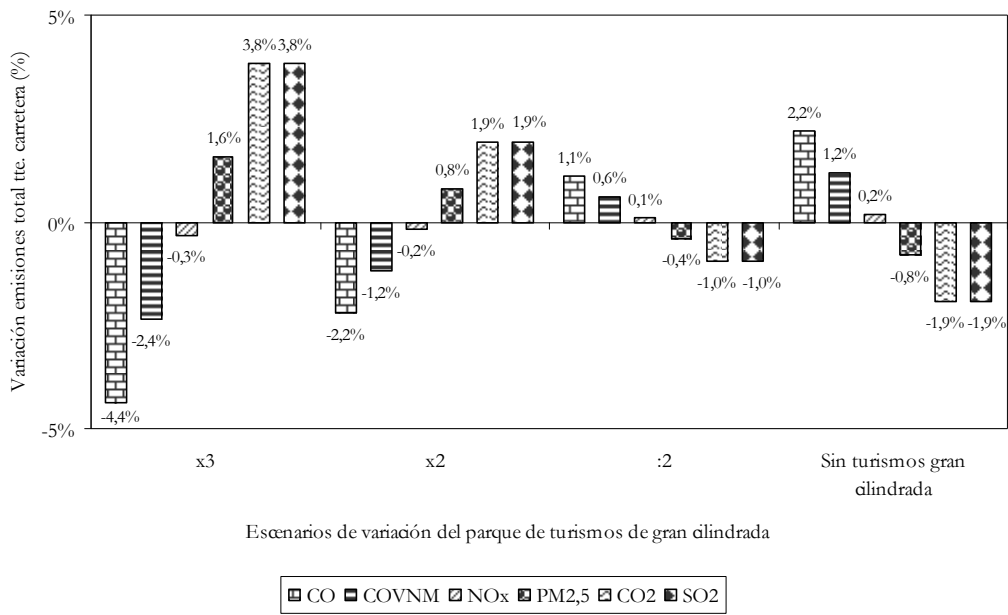


Figura 4. Influencia de la distribución del número de turismos por cilindrada en las emisiones nacionales del transporte por carretera

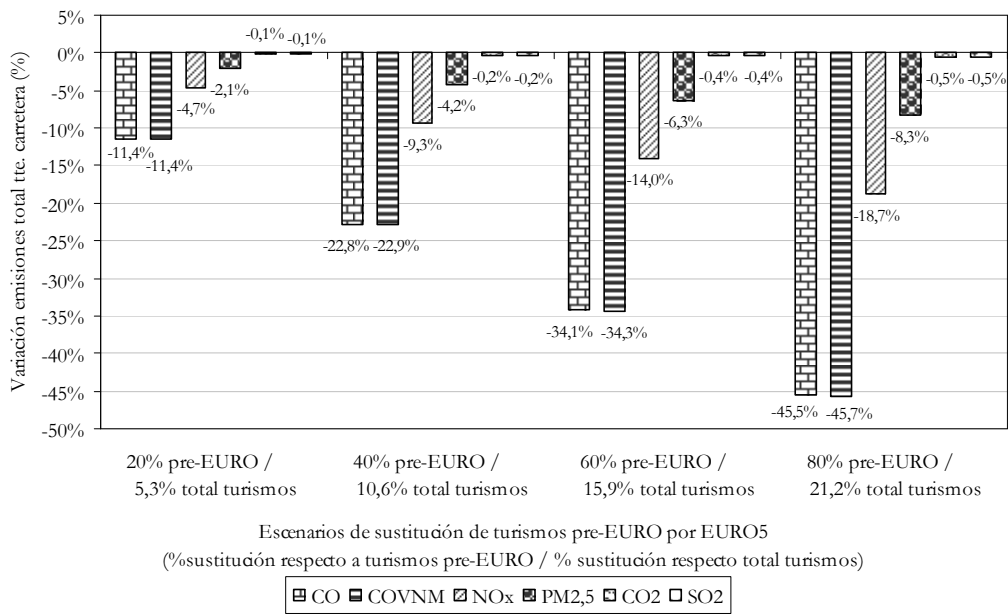


Figura 5. Influencia de la variación del desplazamiento de vehículos pre-EURO por EURO5 en las emisiones nacionales del transporte por carretera

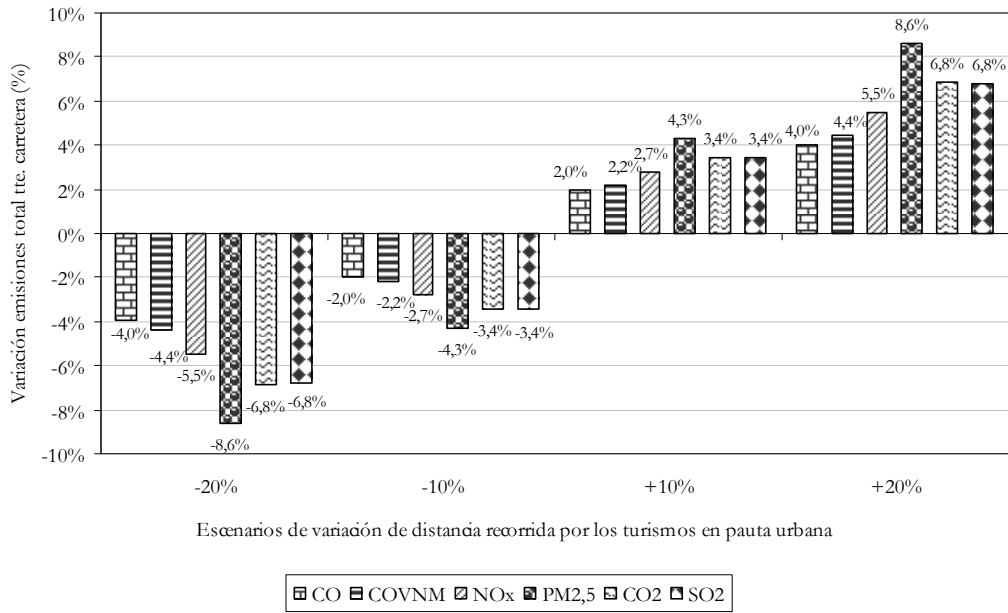


Figura 6. Influencia de la distancia recorrida por los turismos en pauta urbana en las emisiones nacionales del transporte por carretera

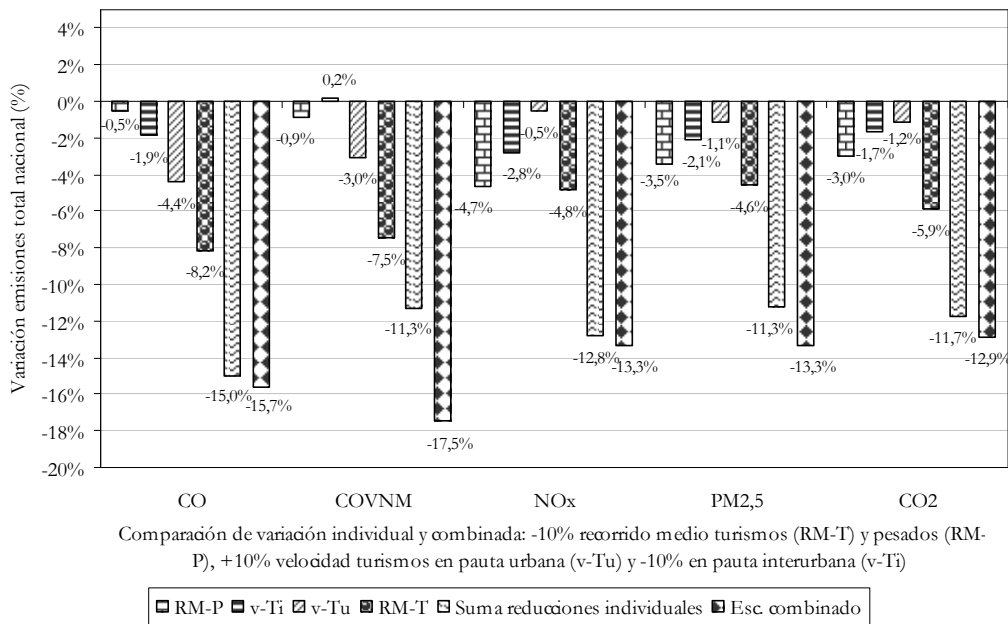


Figura 7. Influencia de la variación de la velocidad y el recorrido medio en las emisiones nacionales del transporte por carretera

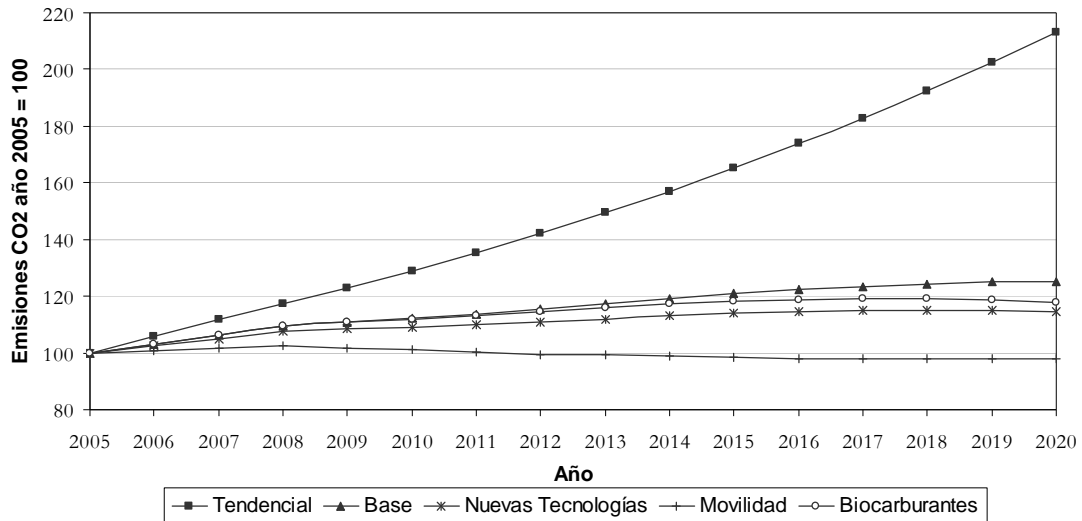


Figura 8. Proyección de emisiones de CO₂ bajo distintos escenarios en el periodo 2006-2020

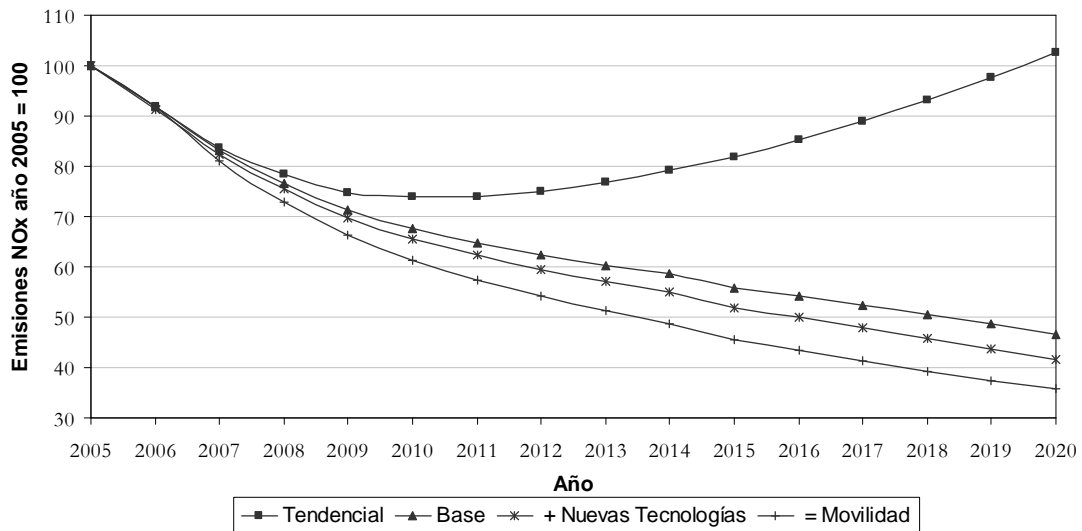


Figura 9. Proyección de emisiones de NO_x bajo distintos escenarios en el periodo 2006-2020

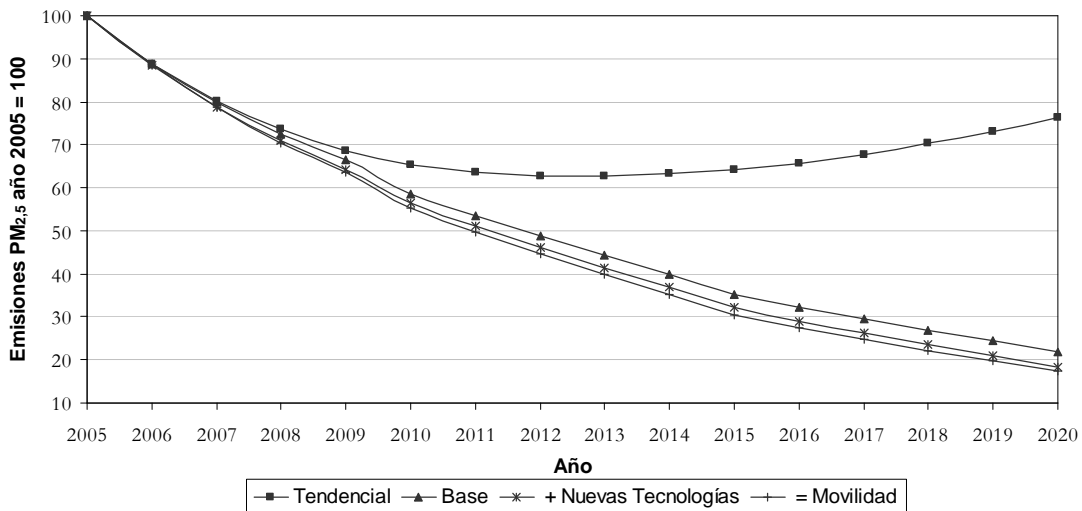


Figura 10. Proyección de emisiones de PM_{2.5} bajo distintos escenarios en el periodo 2006-2020