



# planAPICE

BARCELONA

[www.apice-project.eu](http://www.apice-project.eu)



---

Mitigación de emisiones marítimas y portuarias  
para la mejora de la calidad del aire

---



---

## Colofón

Plan APICE Barcelona: Mitigación de emisiones marítimas y portuarias para la mejora de la calidad del aire, Febrero 2013 – Publicación final del proyecto APICE en Barcelona

Publicado por Centro Mediterráneo EUCC (proyecto APICE)

### Citación

Fernández, P., Pérez, C., Pey, J., Pérez, N. y Jiménez, P. (2013). *Plan APICE Barcelona: Mitigación de emisiones marítimas y portuarias para la mejora de la calidad del aire*. Centro Mediterráneo EUCC, Barcelona, España. 65 p.

### Autores

Pedro Fernández Bautista y Carolina Pérez Valverde, Centro Mediterráneo EUCC  
Jorge Pey Betrán y Noemí Pérez Lozano, CSIC – IDÆA  
Pedro Jiménez Guerrero, Universidad de Murcia

Agradecimiento por la financiación al Programa MED – FEDER

*La presente publicación ha sido elaborada con la asistencia de la Unión Europea. El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva del proyecto APICE y en ningún caso debe considerarse que refleja los puntos de vista de la Unión Europea.*



# Preámbulo

La Dirección General de Calidad Ambiental de la Generalitat de Catalunya acoge con satisfacción los resultados del proyecto APICE, llevado a cabo en Barcelona por el CSIC – IDÆA y el Centro Mediterráneo EUCC. Este proyecto ha estudiado la contribución del puerto Barcelona a la calidad del aire del área metropolitana y propuesto acciones de mitigación, por lo que se encuentra plenamente en línea con la misión de nuestra Dirección General, la de conseguir una calidad del aire que no comprometa la salud pública y el medio ambiente.

A lo largo del proyecto se ha establecido una relación de colaboración entre nuestra institución, los socios del proyecto y la Autoridad Portuaria de Barcelona que ha reportado beneficios mutuos. La Generalitat de Catalunya cuenta ahora gracias a APICE con una información más detallada sobre las emisiones portuarias, así como de las acciones más apropiadas para mitigarlas, tal y como se describe en este documento resumen. Estas medidas, junto con las recogidas en el *Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire 2011 – 2015*, permitirán alcanzar los objetivos deseados de calidad del aire en el área metropolitana de Barcelona.

Desde nuestra Dirección General, dedicaremos los esfuerzos necesarios para implementar las acciones que nos conciernen y aquéllas que podamos promover de cara a otros actores. Al mismo tiempo, seguiremos apoyando al puerto de Barcelona como motor de desarrollo de Cataluña.

## Proyecto



## Financiación



## Socios del proyecto



## Colaboradores



**Isabel Hernández**

Subdirectora General de Prevenció i Control de la Contaminació Atmosfèrica  
Direcció General de Qualitat Ambiental  
Departament de Territori i Sostenibilitat  
Generalitat de Catalunya

## INDICE

---

<b>Glosario de términos</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
I.1. Puertos, tráfico marítimo y la calidad del aire	2
I.2. Objetivo y alcance del Plan	6
I.3. Equipo APICE en Barcelona	8
<b>CAPÍTULO II. PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN, ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y ELABORACIÓN DEL PLAN</b>	<b>9</b>
II.1. Fase de análisis	9
II.2. Fase de planificación	16
<b>CAPÍTULO III. PLAN APICE BARCELONA: MITIGACIÓN DE EMISIONES MARÍTIMAS Y PORTUARIAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE</b>	<b>18</b>
III.1. Origen de APICE: la necesidad de reducir emisiones marítimas y portuarias	18
III.2. Tráfico de buques	19
Medida 1.1. Promoción del GNL como combustible en buques	23
Medida 1.2. Control a bordo de las emisiones de los buques	28
Medida 1.3. Suministro eléctrico a barcos atracados en puerto	29
III.3. Flota interna del puerto	30
Medida 2.1. Optimizar el tiempo de trabajo de los remolcadores	31
Medida 2.2. Uso de GNL como combustible de remolcadores	31
III.4. Transporte terrestre: camiones	33
Medida 3.1. Conversión de camiones a GNC y GNL	33
Medida 3.2. Conducción eficiente en el ámbito portuario	34
Medida 3.3. Sistemas lava-ruedas	35
Efectos de las medidas referentes a tráfico terrestre de camiones	36
III.5. Transporte terrestre: trenes	37
Medida 4.1. Aumento de la cuota de mercado	40
Medida 4.2. Incorporación de locomotoras de gas natural	41
Efectos de las medidas referentes a trenes	42

<b>III.6. Maquinaria de manipulación de mercancías</b>	<b>43</b>
<b>Medida 5.1. Sustitución/conversión de máquinas a gas natural</b>	44
<b>Medida 5.2. Otras estrategias de reducción de emisiones (tecnológicas, combustibles y operacionales)</b>	46
<b>III.7. Manipulación de graneles sólidos</b>	<b>46</b>
<b>Medida 6.1. Aplicación de buenas prácticas desarrolladas por Puertos del Estado</b>	46
<b>III.8. Obras</b>	<b>47</b>
<b>Medida 7.1. Control de las emisiones de obras</b>	47
<b>III.9. Seguimiento de emisiones y calidad del aire</b>	<b>47</b>
<b>Medida 8.1. Actualización periódica del inventario de emisiones</b>	48
<b>Medida 8.2. Modelización de la calidad del aire</b>	49
<b>Medida 8.3. Muestreo de la calidad del aire</b>	49
<b>Medida 8.4. Estructura de colaboración sobre emisiones atmosféricas</b>	50
<b>III.10. Gobernanza, seguimiento y financiación del plan</b>	<b>51</b>
<b>III.11. Escenarios futuros de emisión e inmisión en el área metropolitana de Barcelona</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>

## Glosario de términos

AEC (en inglés, ECA): Área de Emisión Controlada

AINE: Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España

APB: Autoridad Portuaria de Barcelona

BCL: Barcelona-Catalunya Centre Logístic

CE: Comisión Europea

CO: monóxido de carbono

GNC: gas natural comprimido

GNL: gas natural licuado

HFO: fueloil pesado

H<sub>2</sub>S: sulfuro de hidrógeno

ICAEN: Institut Català de l'Energia

MGO: gasoil marítimo

NH<sub>3</sub>: amonio

NMVOCs: compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano

NO<sub>x</sub>: óxidos de nitrógeno

OMI (en inglés, IMO): Organización Marítima Internacional

PMF: Positive Matrix Factorization

PM<sub>10</sub>: material particulado de diámetro inferior a 10 µm

PM<sub>2,5</sub>: material particulado de diámetro inferior a 2,5 µm

RACC: Reial Automòbil Club de Catalunya

SO<sub>x</sub>: óxidos de azufre

TEU (acrónimo del término en inglés *Twenty-foot Equivalent Unit*): representa la unidad de medida de capacidad del transporte marítimo en contenedores. Una TEU es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies.

UE: Unión Europea

ZAL: Zona de Actividades Logísticas

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### I.1. Puertos, tráfico marítimo y la calidad del aire

El Puerto de Barcelona es un factor clave en el desarrollo económico del área metropolitana de Barcelona. En esta zona, como en muchas otras aglomeraciones urbanas, los niveles de calidad del aire no son óptimos y en ocasiones se sobrepasan los límites legales, especialmente respecto a partículas en suspensión y óxidos de nitrógeno. Diferentes administraciones y actores hacen frente a este problema con importantes consecuencias en la salud pública. El puerto de Barcelona, con el transporte marítimo y terrestre inducido, es origen de una fracción significativa de dicha contaminación.



Foto: Panorama del puerto de Barcelona (Autor: Óscar Ferrer. Port de Barcelona)

Según las estimaciones del Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la región metropolitana de Barcelona, se atribuye al entorno portuario el 23% de las emisiones de  $PM_{10}$  y el 16% de las de  $NO_x$ , como muestra la figura 1.1. Dicho plan incluye los 40 municipios declarados zona de protección especial del ambiente atmosférico para  $NO_2$  i  $PM_{10}$ .

La **Organización Mundial de la Salud** informa sobre algunos impactos de la calidad del aire sobre la salud:

- Se calcula que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1,3 millones de muertes al año, que afectan de forma desproporcionada a quienes viven en países de ingresos medios.
- La exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel nacional, regional e internacional.
- Las *Guías de calidad del aire de la OMS* constituyen el análisis más consensuado y actualizado sobre los efectos de la contaminación en la salud, y recogen los parámetros de calidad del aire que se recomiendan para reducir de modo significativo los riesgos sanitarios. Dichas Guías señalan que una reducción de la contaminación por partículas ( $PM_{10}$ ) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico permite reducir en aproximadamente un 15% las muertes relacionadas con la calidad del aire.



**Organización  
Mundial de la Salud**

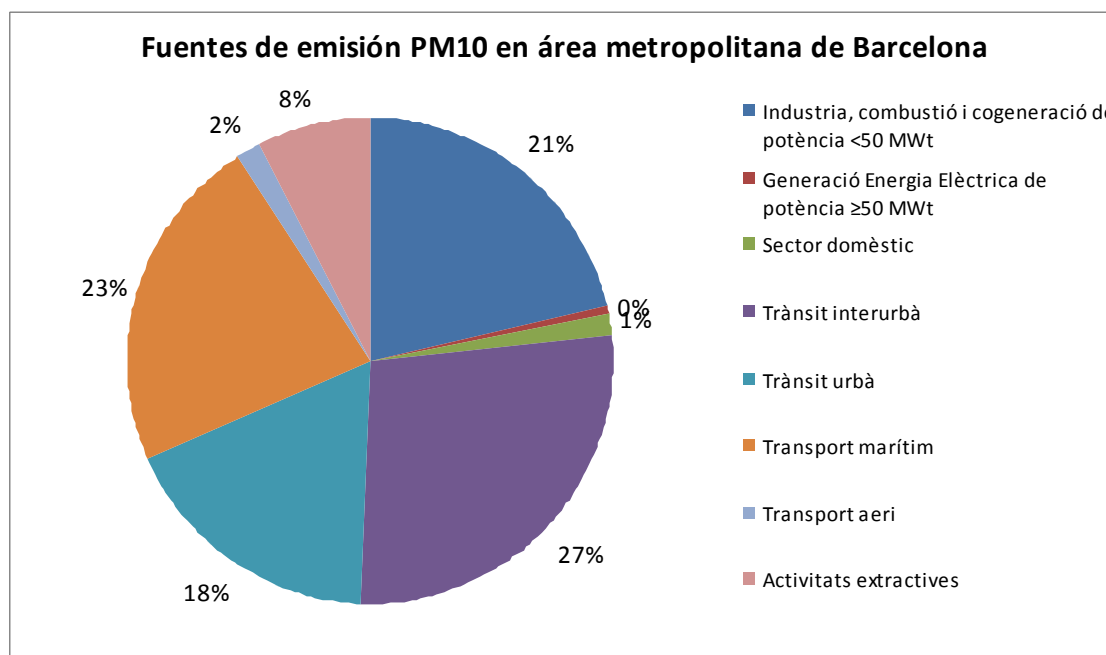
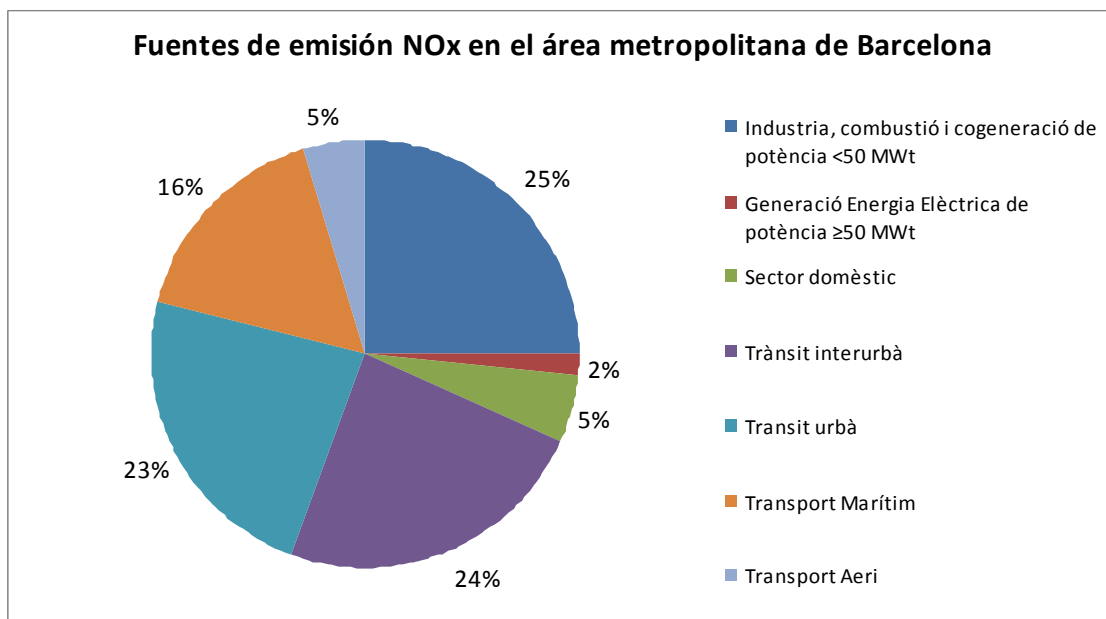


Fig. 1.1. Emisiones totales de NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> en el área afectada por el Plan de Mejora de la Calidad del Aire (Fuente: Generalitat de Catalunya)

Por otra parte, la campaña de muestreo de contaminantes atmosféricos en el entorno portuario realizada en el marco de APICE, indica que los niveles de PM<sub>10</sub> son mayores respecto al resto del entorno urbano. En cuanto a NO<sub>x</sub>, la diferencia no es significativa, si bien se registran niveles altos en las inmediaciones de las vías por donde circulan camiones y zonas más expuestas a los barcos (ver figura 1.2).



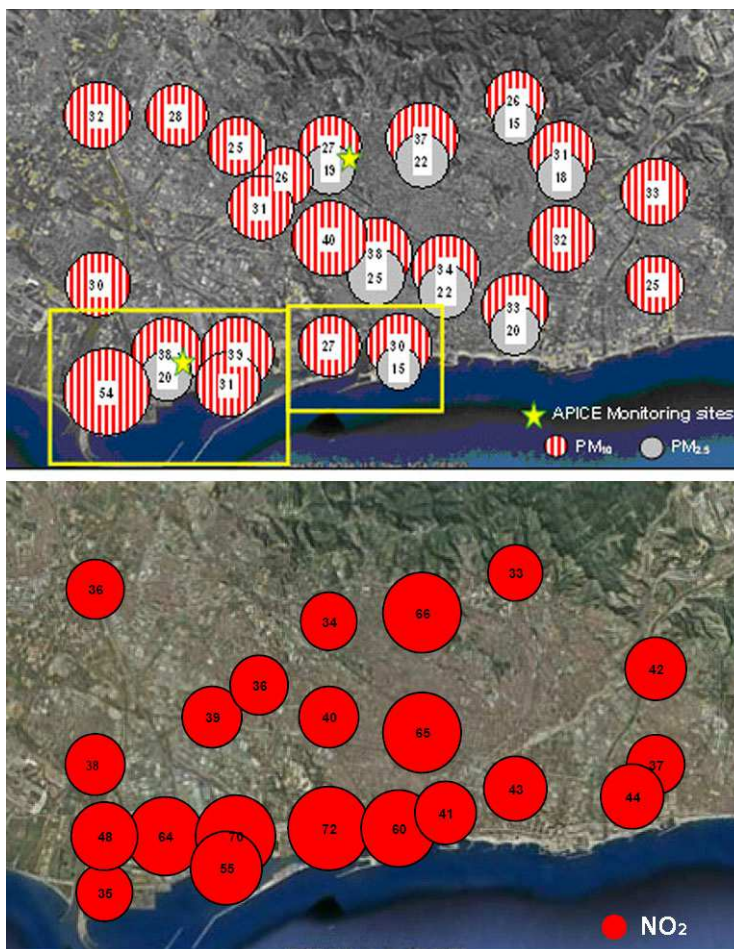


Fig. 1.2. Concentraciones medias anuales (año 2011) de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  (arriba) y  $NO_2$  (abajo) en  $\mu g/m^3$  en la región metropolitana de Barcelona (Fuente: APICE)

Por otro lado, los estudios de APICE han constatado que el 11% de la concentración de partículas en suspensión ( $PM_{10}$ ) medidas en la ciudad de Barcelona pueden atribuirse a las emisiones de las actividades portuarias (figura 1.3).

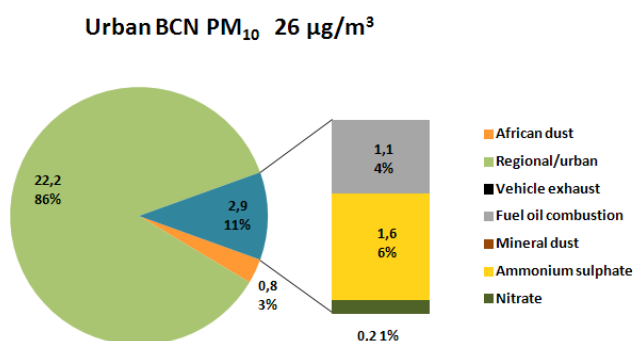


Fig. 1.3. Contribución del puerto al  $PM_{10}$  en zona urbana de Barcelona (Fuente: APICE)

La legislación en vigor y las futuras restricciones en cuanto a emisiones atmosféricas en el transporte marítimo urgen a tomar medidas de adaptación. A este respecto, cabe considerar la creación de una Zona de Emisiones Controladas en el Mediterráneo que supondría límites más severos por parte de la OMI.

El proyecto APICE - *Estrategia mediterránea común y acciones locales prácticas para la mitigación de las emisiones de puertos, industrias y ciudades* – ha contribuido al conocimiento de emisiones y calidad del aire específicamente respecto al puerto. Los diferentes estudios ponen de manifiesto la importancia del puerto como fuente de emisión de contaminantes atmosféricos. Por ejemplo, la figura 1.3 muestra las distintas fuentes de NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> dentro del puerto y el escenario tendencial de 2015. Si bien las emisiones de PM<sub>10</sub> previsiblemente disminuyen como consecuencia del uso de combustible con menor contenido en azufre en la fase de *hotelling* de los barcos a partir de 2010, las emisiones de NO<sub>x</sub> van en aumento como consecuencia de un mayor tráfico sin toma de medidas de mitigación.

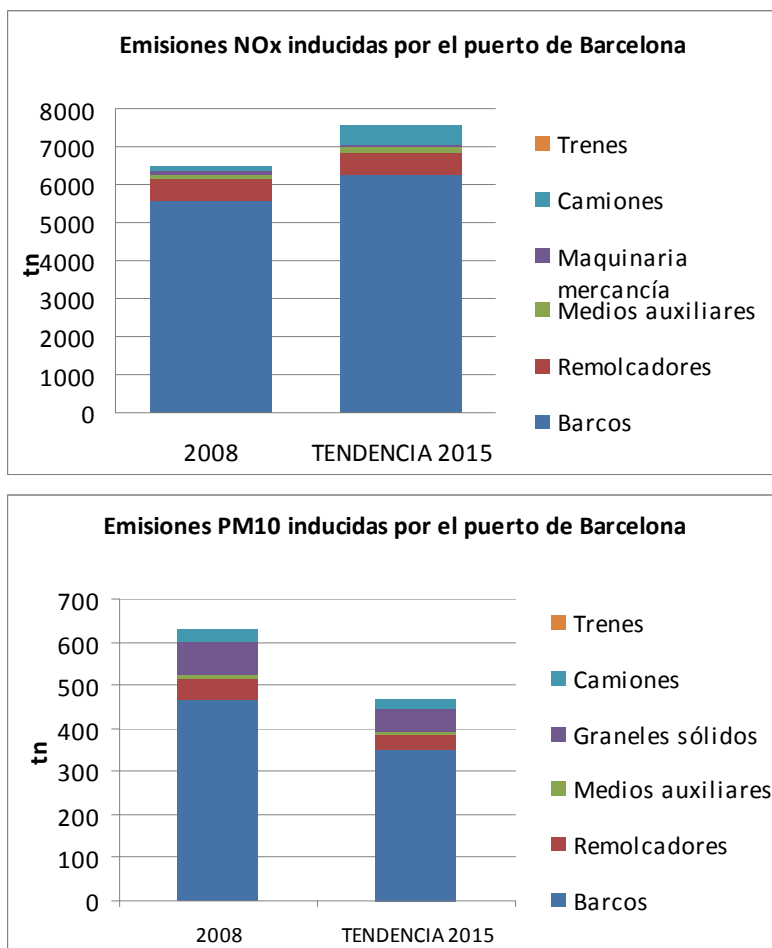


Fig. 1.3. Emisiones NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> inducidas en el puerto de Barcelona, distribuidas en sub-fuentes, en el escenario 2008 y tendencia 2015 (Fuente: APICE)

Este plan, resultado de estudios y de un proceso de concertación, expone las acciones que han sido identificadas como más importantes para disminuir las emisiones atmosféricas del puerto, por su viabilidad y alto grado de eficacia.

Así, el plan APICE se añade y complementa los esfuerzos por parte de diferentes administraciones a mejorar la calidad del aire y cumplir con los requisitos legales en Barcelona.

## I.2. Objetivo y alcance del Plan

El presente plan de acción tiene como objetivo reducir las emisiones atmosféricas que inciden en la calidad del aire del entorno portuario de Barcelona, así como mejorar el conocimiento de dichas emisiones y niveles de calidad del aire. Para ello, se toman como referencia dos marcos principales:

### 1) Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire<sup>1</sup>

El Consejo de Ministros, en su reunión del 4 de noviembre de 2011, acordó la aprobación del Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire. Este plan incluye un apartado que afecta a los puertos. Así, el plan APICE desarrolla en detalle algunas de las medidas contempladas en dicho plan. Concretamente, este plan corresponde ampliamente a la implementación en el puerto de Barcelona de la *Medida IV.b.1.1. (puertos) Elaboración, aplicación y seguimiento de Normas y protocolos Ambientales*. Actualmente dicho plan se encuentra en fase de revisión.

Medidas referentes a puertos en el  
Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire:



OBJETIVO 1: Planificación de estrategias generales

- o Elaboración, aplicación y seguimiento de Normas y protocolos Ambientales

OBJETIVO 2: Disminución de emisiones en los procesos de carga/descarga

- o Operaciones sobre graneles sólidos
- o Operaciones sobre graneles líquidos y en operaciones de suministros de combustibles
- o Sustitución de máquinas de carga/ descarga en puertos por otras menos contaminantes

OBJETIVO 3. Disminución en las emisiones en el puerto

- o Ejecución de obras en puertos
- o Almacenamiento de materias primas
- o Tecnología de control de emisiones en buques y maquinaria del puerto
- o Tecnología de suministro de energía a buques atracados en puerto
- o Movilidad sostenible en las instalaciones del Puerto
- o Vigilancia de los niveles de calidad del aire en el entorno de los puertos e integración en las redes de control autonómicas
- o Modificación del esquema de las tasas portuarias
- o Control de las emisiones de los buques en puerto

OBJETIVO 4. Disminución de las emisiones de la maquinaria y vehículos que acceden al puerto

- o Circulación de vehículos
- o Requerimientos ambientales a la flota de camiones de transporte de contenedores que operan en el Puerto
- o Potenciación de la entrada y salida de mercancías del puerto por ferrocarril

### 2) Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire 2011 – 2015 de la Generalitat de Catalunya<sup>2</sup>

El Departamento de Territorio y Sostenibilidad es el organismo responsable de la evaluación de la calidad del aire en Cataluña. En 40 municipios se exceden los valores límite para PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub> por lo que tiene que redactar planes actuación de mejora de la calidad del aire. Actualmente, está en fase de aprobación el *Pla d'actuació per a la millora de la qualitat de l'aire 2011 – 2015*. El plan APICE también

<sup>1</sup> Disponible en [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/PNMCA\\_tcm7-181205.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/PNMCA_tcm7-181205.pdf)

<sup>2</sup> Disponible en <http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.64be942b6641a1214e9cac3bb0c0e1a0/?vgnnextoid=73ad51336f554310VgnVCM1000008d0c1e0aRCD&vgnnextchannel=73ad51336f554310VgnVCM1000008d0c1e0aRCD&vgnnextfmt=default>



trabaja a partir de la única medida para el puerto propuesta en este plan, la de la potenciación del transporte ferroviario de mercancías.

Por otra parte, el equipo APICE ha realizado una labor de investigación y de consulta de actores que ha conducido a la identificación de las fuentes más importantes de contaminación de las actividades que se dan en el puerto, así como a las medidas más oportunas para reducirlas.

El plan APICE no sólo propone medidas para mitigar las emisiones, sino los pasos a seguir de la manera más detallada que ha sido posible. El equipo ha hecho un esfuerzo de sensibilización y ha dialogado con las partes implicadas para promover la implementación de las medidas, también sugiriendo fuentes de financiación como se refleja en el plan. Así, pretende ser un instrumento útil y aplicable por los actores responsables de las emisiones y su control.

### I.3. Equipo APICE en Barcelona

APICE ha sido desarrollado en cinco áreas de estudio de cuatro países mediterráneos, en concreto, Venecia, Marsella, Tesalónica, Génova y Barcelona. El partenariado fue constituido considerando un tándem ciencia-planificación. Así, para cada área de estudio, hay al menos un socio que cubre uno de los campos. Esto ha permitido que los resultados científicos sean trasladados de forma apropiada a la planificación, y que también la investigación responda a las necesidades de las políticas públicas.

En Barcelona, el Centro Mediterráneo EUCC ha jugado el papel de coordinador institucional y de planificación y el centro CSIC – IDÆA se ha encargado del muestreo y análisis de la calidad del aire.



[EUCC](#) es una asociación con 2700 miembros en cuarenta países fundada en 1989 con el objetivo de promover el desarrollo sostenible del medio litoral y marino tendiendo puentes entre científicos, ecologistas, gestores y políticos. EUCC está dedicada a conservar y mantener mares sanos y costas atractivas para ambos, naturaleza y hombre. El Centro Mediterráneo, ubicado en Barcelona, implementa la misión de EUCC en el Mediterráneo. El Centro Mediterráneo es parte del centro de expertos [Grupo ECNC](#).



El [Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua \(IDÆA\)](#) es uno de los centros de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El IDÆA tiene como objetivo el estudio de los cambios naturales y antropogénicos que ocurren en los ecosistemas mediante técnicas químicas y geoquímicas, fundamentalmente aquellos que suponen incrementos de toxicidad en organismos y humanos.



UNIVERSIDAD  
DE MURCIA

APICE ha contado, a través de EUCC, con la colaboración importante del [Departamento de Física de la Universidad de Murcia](#) para la realización de la modelización de la calidad del aire. Concretamente, el grupo de Modelización Atmosférica Regional (MAR) presenta como líneas de investigación fundamentales la investigación climática a escala regional, la evaluación de recursos energéticos renovables y la climatología de la contaminación atmosférica mediante el uso de modelización dinámica.

Finalmente, el equipo humano que ha hecho posible este proyecto en Barcelona está formado por:

Centro Mediterráneo EUCC	Pedro Fernández Bautista Carolina Pérez Valverde Afia Khatun Elena Arán Bernabeu
CSIC – IDÆA	Jorge Pey Noemí Pérez Natalia Moreno Xavier Querol Andrés Alastuey Mercè Cabañas Teresa Moreno
Grupo de Modelización Atmosférica Regional, Universidad de Murcia	Pedro Jiménez Guerrero Juan Pedro Montávez Juan José Gómez Sonia Jerez Raquel Lorente Rocío Baró Nuno Ratola

## CAPÍTULO II

### PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN, ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE Y ELABORACIÓN DEL PLAN

Si bien este documento se centra en el resultado final del proyecto APICE, el plan de acción local, conviene recordar la lógica global del proyecto que ha conducido a él, ilustrada en la figura 2.1.

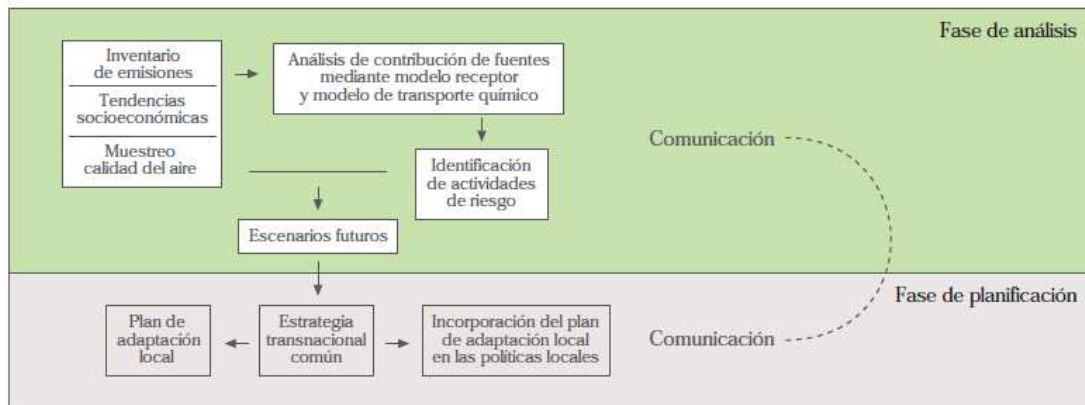


Fig. 2.1. Metodología de trabajo del proyecto APICE, dividida en la fase de análisis (azul) y de planificación (naranja). Fuente: APICE

A continuación se detallan las diferentes actividades de cada fase que han dado lugar al plan de acción.

### II.1. Fase de análisis

#### **1. Análisis del estado del arte puertos – calidad del aire**

Como primera actividad del proyecto, los socios definieron un *Documento Estratégico*<sup>3</sup> para abordar el enfoque científico-técnico del proyecto, para actualizar inventarios de emisiones y llevar a cabo la campaña de intercomparación en Marsella. El punto de partida de las actividades de APICE<sup>4</sup> fue el análisis del estatus de la calidad del aire, modelización y el marco institucional en Barcelona y el puerto. Además, se realizó un análisis comparativo de las 5 áreas piloto, enfocado en el PM<sub>10</sub><sup>5</sup>.

#### **2. Inventarios de emisiones**

Para cada una de las ciudades de APICE se prepararon inventarios de emisiones. En el caso de Barcelona, la Generalitat de Catalunya, a través de la Oficina Técnica de Mejora de la Calidad del Aire, ofreció sus datos de inventario de 2008 que han sido utilizados por APICE, una vez adaptada la metodología. Este inventario sirve de base para las actividades de modelización de contaminantes atmosféricos, así como para el establecimiento de los escenarios futuros. El inventario incluye contaminantes gaseosos (principalmente monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), amonio (NH<sub>3</sub>) y compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (NMVOCs) y material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) de todas las fuentes de emisión antropogénicas (transporte, industria, energía, calefacción, etc. Se han dedicado esfuerzos especiales al cálculo de emisiones de los barcos y de otras fuentes portuarias. Además, las emisiones naturales han sido calculadas. En el inventario de emisiones también se han

<sup>3</sup> Disponible en [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Results/Strategic%20document%20final.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Strategic%20document%20final.pdf)

<sup>4</sup> Disponible en [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/WP3BARCELONA\\_report.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/WP3BARCELONA_report.pdf)

<sup>5</sup> Disponible en [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Results/Apice\\_WP3%20Report.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Apice_WP3%20Report.pdf)

estimado las emisiones naturales, con la explicación de la metodología, y se pueden encontrar en un documento conjunto de las cinco ciudades<sup>6</sup> y como hoja de cálculo para Barcelona<sup>7</sup>.

### **3. Tendencias socioeconómicas**

APICE ha estudiado la evolución de la actividad portuaria y del entorno urbano, haciendo proyecciones en el tiempo<sup>8</sup>. Este ejercicio es importante para la construcción posterior de escenarios futuros. Los campos analizados son, entre otros, el transporte de mercancías y pasajeros, número de barcos, flota de camiones, mercancía transportada por tren, demografía, etc.

### **4. Análisis de las actividades relevantes y emisiones futuras**

En esta apartado, APICE ha investigado en detalle los ámbitos portuarios con emisiones asociadas<sup>9</sup>. Además de afinar los datos del inventario de emisiones, se ha profundizado en las operaciones y los actores implicados en cada sector de emisión. Para ello, se han llevado a cabo entrevistas. Además, en este ejercicio se han estimado las emisiones en el horizonte 2015. Se trata del escenario tendencial considerando la previsión del puerto respecto a actividad marítima, así como las medidas ya implementadas o previstas entre 2008 y 2015.

### **5. Evaluación de la calidad del aire en el entorno portuario y análisis de contribución de fuentes**

Entre febrero de 2011 y enero de 2012, el equipo de investigación CSIC-IDÆA ha llevado a cabo una campaña de terreno para el análisis de la calidad del aire en el puerto de Barcelona. Simultáneamente, medidas similares han sido recogidas en el punto de muestreo del CSIC en la ciudad.

Con el objetivo de identificar las principales fuentes de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en la zona portuaria, las medidas de estos parámetros fueron realizadas en diferentes ubicaciones del puerto durante un año. Los resultados reflejan la importancia de varias fuentes de emisión afectando de diferentes formas a los indicadores de calidad del aire: el tráfico de camiones aumenta considerablemente los niveles de NO<sub>2</sub>, las obras de ampliación incrementan claramente las concentraciones de PM<sub>10</sub> en sus inmediaciones, la manipulación de mercancías sólidas y la estación de depuración de aguas residuales son fuentes emisoras de NH<sub>3</sub>, y la navegación y la combustión de fuel-oil influyen decisivamente sobre las concentraciones de SO<sub>2</sub>.

Además de la campaña a largo plazo de monitoreo, y con el fin de caracterizar mejor la huella química de las emisiones directas de la navegación (evitando la interferencia con otras fuentes), se realizó una campaña intensiva de muestreo, durante 2 meses, en la terraza del World Trade Centre (WTC), justo enfrente del área de cruceros. Durante la corta campaña, el viento trajo las emisiones frescas de los barcos en diversas ocasiones, por lo que fue posible determinar de forma experimental los perfiles químicos de emisiones de buques, y cuantificar su contribución a los niveles de PM<sub>10</sub>. Tras evaluar los ratios entre los trazadores típicos de la combustión en buques (V y Ni), con respecto a los trazadores típicos de la ciudad (Cu, Sb) o de emisiones industriales (As, Pb, Cd), fue posible determinar los días en los cuales las plumas de contaminación generadas por los buques afectaron de una forma dominante. De este modo se obtuvo que la contribución de las emisiones de buques en la zona del WTC representó entre el 13 y el 15% del PM<sub>10</sub>. Esta campaña intensiva también encontró otra fuente de PM<sub>10</sub> asociada a otras actividades portuarias (principalmente obras de ampliación y descargas de materiales sólidos), y que supuso un 16% del PM<sub>10</sub>.

---

<sup>6</sup> Disponible en [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Emission\\_Inventory\\_Methodology\\_Description\\_Final\\_Report.doc](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Emission_Inventory_Methodology_Description_Final_Report.doc)

<sup>7</sup> Disponible en [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Results/Emission\\_Inventory\\_Barcelona.xls](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Emission_Inventory_Barcelona.xls)

<sup>8</sup> Disponible en: [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Socioeconomic%20Data%20for%20Barcelona\\_Oct2011.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Socioeconomic%20Data%20for%20Barcelona_Oct2011.pdf)

<sup>9</sup> Disponible en: [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Results/Risk%20activities/Risk%20activities%20in%20Barcelona.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Risk%20activities/Risk%20activities%20in%20Barcelona.pdf)

Se aplicaron modelos receptores (Positive Matrix Factorization, PMF2) para identificar las fuentes de emisión y posteriormente calcular las contribuciones diarias, semanales, estacionales y anuales de las diferentes fuentes<sup>10</sup>. Estos modelos receptores se utilizan rutinariamente para este tipo de fines, y basan su funcionamiento en el estudio de la co-linearidad de los diferentes componentes químicos introducidos como variables. El modelo PMF2 se alimenta de dos bases de datos, una constituida por las concentraciones y otra por las incertidumbres. Ello asegura una solución final mejorada y más robusta con respecto a otros modelos receptores también ampliamente utilizados<sup>11</sup>.

## **6. Escenarios futuros de desarrollo y emisiones**

Además del escenario tendencial 2015 descrito en la actividad del análisis de riesgo, se ha construido un escenario de mitigación de las emisiones, el llamado escenario APICE<sup>12</sup>. Para ello se ha tenido en cuenta el potencial de reducción de emisiones con las medidas propuestas en este plan de acción. Por otra parte, los escenarios del puerto se han integrado con el resto de sectores de emisión, estimados por la Generalitat, llegando a escenarios globales de tendencia y mitigación para el área metropolitana de Barcelona.

## **7. Modelización de la calidad del aire**

Esta actividad ha sido implementada por la Universidad de Murcia<sup>13</sup>. Se ha utilizado el modelo de transporte químico MM5-CHIMERE. Se han realizado diferentes rondas de modelización para investigar la contribución de cada fuente y los resultados de la calidad del aire según diferentes escenarios de emisión, incluyendo la implementación del plan APICE. El modelo ha sido comparado con datos reales de inmisión para comprobar que los resultados de la modelización corresponden a un intervalo de confianza aceptable.

## **8. Primera fase de consulta de actores**

En una primera etapa del proyecto, el equipo se ha reunido con los actores clave, el Puerto de Barcelona y la Generalitat para ajustar los estudios a sus necesidades, recabar datos e información, etc. También se han mantenido entrevistas con otros actores relacionados con las emisiones portuarias, como las empresas de remolcadores o la Dirección General de la Marina Mercante. Esto ha permitido además dar a conocer el proyecto y sensibilizar sobre la importancia de minimizar emisiones contaminantes. Por otra parte, se han llevado a cabo dos mesas de trabajo APICE-Puerto-Generalitat en las que se han aprobado resultados preliminares y definido las etapas sucesivas.

## **9. Comunicación**

Los avances del proyecto han sido comunicados a través de la página web del proyecto, y periódicamente a través de boletines informativos. Además, se han incluido noticias relacionadas con el transporte marítimo, los puertos y la calidad del aire. A comienzos del proyecto se distribuyó el folleto informativo con ocasión de reuniones relacionadas con puertos y calidad del aire. Además, APICE ha participado en foros internacionales para dar a conocer el trabajo realizado.

## **10. Definición de las medidas prioritarias para el plan de acción**

Se trata de un elemento crítico en el proyecto en el que las medidas son seleccionadas de acuerdo a los resultados de la fase de análisis. Para ello, los resultados científicos obtenidos en APICE son fundamentales, tanto el monitoreo de la calidad del aire como el modelo de dispersión de contaminantes. Posteriormente, se ha aplicado una metodología multicriterio para vislumbrar las acciones más adecuadas en Barcelona.

<sup>10</sup> Disponible en: [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/source%20contribution%20BCN.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/source%20contribution%20BCN.pdf)

<sup>11</sup> Ampliar información en: Amato et al. (2009). Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2. *Atm. Env.* 43, 2770-2780.

<sup>12</sup> Disponible en: [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Report%20Scenarios%20BCN.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Report%20Scenarios%20BCN.pdf)

<sup>13</sup> Disponible en: <https://dl.dropbox.com/u/46515215/APICE-FinalReport.pdf>



a. Resultados de la campaña de monitoreo y modelo receptor

Durante la campaña APICE se realizó la caracterización química de las muestras de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> recogidas durante un año, tanto en el puerto como en la ciudad. Los resultados de dicha caracterización química revelaron concentraciones sensiblemente más elevadas en la zona del puerto para un número considerable de componentes y elementos (Al, Fe, Ca, Na, Cl<sup>-</sup>, Ti, EC, Zn, As, Pb, Cu, Sb, Sn, etc). La interpretación de las series temporales de dichas concentraciones reveló una fuerte asociación con las actividades de ampliación del puerto (Al, Fe, Ca, Ti) y también con el tráfico rodado, especialmente de camiones (EC, Zn, As, Pb, Cu, Sb, Sn). Al mismo tiempo, la proximidad a la zona marítima es decisiva a la hora de explicar las mayores concentraciones de aerosol marino (Na, Cl<sup>-</sup>). Por otra parte, otros componentes químicos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, OC) mostraron niveles muy similares en la ciudad y el puerto, algunos de ellos incluso superiores en la ciudad. Estos componentes químicos son en su mayoría de origen secundario y por tanto se producen en la atmósfera a partir de ciertos precursores gaseosos.

Finalmente, a partir de las bases de datos de composición química (del puerto y la ciudad) se realizó un análisis de contribución de fuentes mediante el modelo Positive Matrix Factorization (PMF2). Este modelo receptor permitió identificar 6 fuentes (Fig. 2.2 y 2.3), una de ellas claramente relacionada con las emisiones de buques. En la zona del puerto de Barcelona (Fig. 2.2) se identificó una fuente de origen mineral que claramente está asociada a los trabajos de ampliación. Además se obtuvo una fuente de emisiones vehiculares que se asignó al tráfico de camiones. En total, el 36-37% del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> determinado en el puerto de Barcelona es del propio puerto mientras que el 61% es externo al puerto. En la zona urbana (Fig. 2.3), la contribución del puerto a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> es sensiblemente menor que en el propio puerto debido al efecto de dilución de los contaminantes durante el transporte. No obstante, se ha determinado que la contribución del puerto alcanza el 11% en PM<sub>10</sub> y el 18% en PM<sub>2.5</sub>. Como se ha comentado anteriormente, la contribución de partículas de origen secundario es mayor en la ciudad, y se relacionan en parte con emisiones de gases en la zona portuaria. Así, parte del SO<sub>2</sub> y del NO<sub>x</sub> emitido en el puerto de Barcelona se transforma en partícula en su recorrido por la zona urbana.

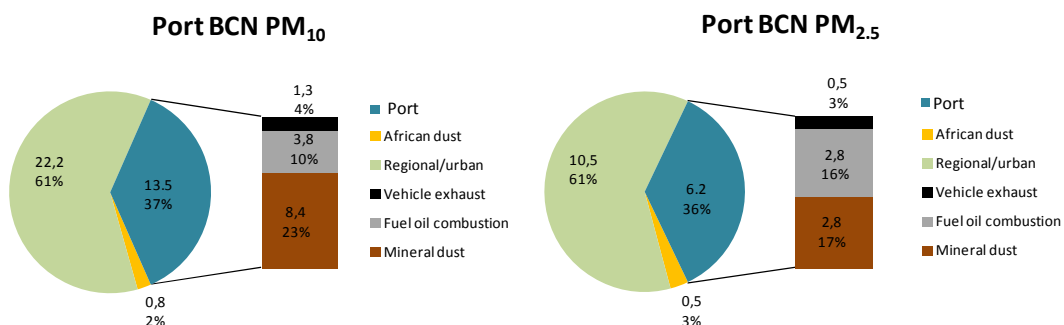


Fig. 2.2. Contribución de las diferentes fuentes a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (en µg/m<sup>3</sup> y %) en el puerto de Barcelona durante la campaña APICE (Fuente: APICE)

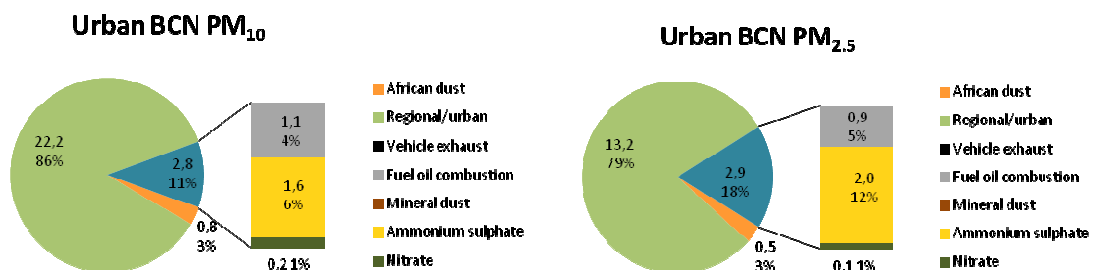


Fig. 2.3. Contribución de las diferentes fuentes a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (en µg/m<sup>3</sup> y %) en la zona urbana durante la campaña APICE (Fuente: APICE)

*b. Resultados de la modelización de dispersión de contaminantes*

La modelización ha sido utilizada, por una parte, para realizar un análisis de la contribución de fuentes a la calidad del aire. Concretamente se ha analizado la contribución al PM10 y PM2.5 mediante la metodología *zero-out* en CHIMERE para agosto y diciembre de 2011. La contribución marítima y portuaria ha sido calculada aplicando esta metodología en “otras fuentes móviles” (SNAP 8) donde estas emisiones están incluidas. Los resultados permiten representar espacialmente la contribución de fuentes, por ejemplo, cómo el puerto contribuye a los niveles de calidad del aire no sólo en el mismo puerto, sino también en el resto del dominio (figura 2.4).

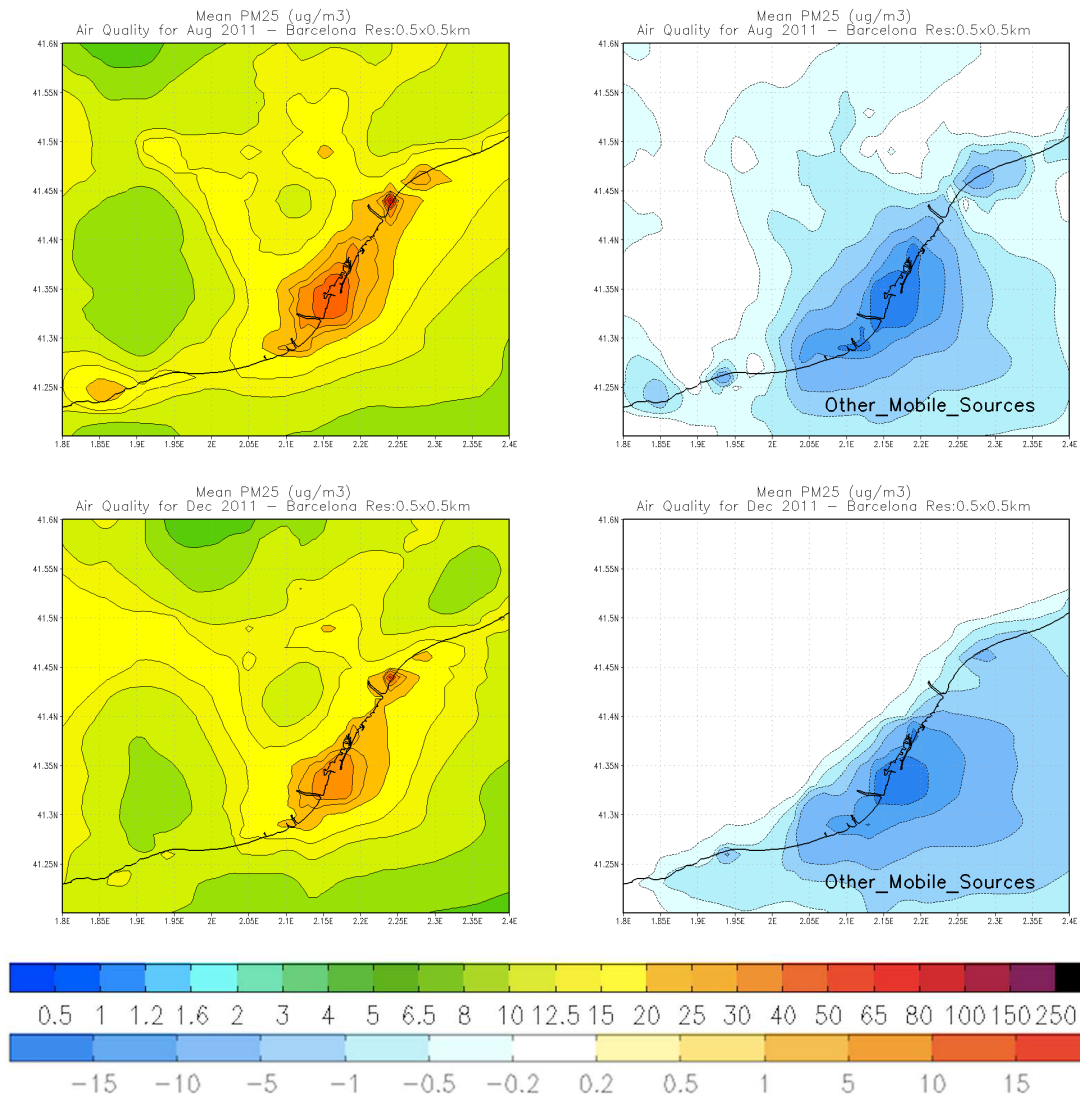


Figura 2.4. Concentraciones mensuales de PM2.5 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (izquierda) durante el verano (arriba) e invierno (abajo) y contribución del sector marítimo (derecha) utilizando zero-out para SNAP 8. Fuente: APICE

La siguiente tabla muestra las contribuciones del sector marítimo en diversos emplazamientos del dominio a las concentraciones de PM10 y PM2.5. La máxima contribución del sector marítimo es del 38% y 54% del total de la concentración de PM2.5 durante verano e invierno respectivamente (11 vs. 23  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Estas contribuciones máximas se dan dentro del área portuaria. La contribución al resto del dominio es menor, en torno al 7% tanto en invierno como en verano.

Contribución sector marítimo	Contribución de la fuente (% del total de la concentración)			
	PM10		PM2.5	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno
Media en el dominio	9%	7%	7%	7%
Sitio urbano	16%	5%	17%	5%
Aledaños del puerto (World Trade Centre)	27%	25%	28%	23%
Interior puerto (POR)	52%	41%	54%	38%

Por otra parte, la comparación de varios escenarios futuros ha sido realizada utilizando este mismo sistema de modelización MM5-CHIMERE para conocer el alcance de las medidas de APICE, así como de las propuestas por la Generalitat en su plan. Los escenarios considerados son los siguientes:

- Escenario Base Presente: Considera las condiciones meteorológicas de 2011 y los datos de emisión de 2008.
- Escenario Base Futuro (Previsión puerto + tendencia Generalitat): Se trata del escenario tendencial en el horizonte 2015. Se considera la previsión del puerto respecto a actividad marítima, así como las medidas ya implementadas o previstas entre 2008 y 2015. Respecto al resto de sectores de emisión, se considera la tendencia estimada por la Generalitat.
- Escenario APICE mitigación + tendencia Generalitat: Las emisiones del puerto son estimadas a partir de la implementación del plan APICE de mitigación de emisiones marítimas, mientras que el resto de fuentes corresponden a la tendencia. Así, este escenario refleja el impacto aislado de APICE al no tomarse medidas de mitigación en el resto de sectores.
- Escenario APICE mitigación + plan Generalitat: Este escenario muestra el efecto combinado de la implementación del plan APICE y el de la Generalitat. Se trata pues del escenario de mitigación completo, donde todas las fuentes son reducidas a través de la implementación de medidas.

El sistema ha sido aplicado sobre dos dominios anidados que cubren (1) el territorio de Cataluña (120 x 120 km con una resolución de 2 km) y (2) el área metropolitana de Barcelona (40 x 40 km con una resolución de 0.5 km) (Figura 2.5). La resolución vertical de las simulaciones meteorológicas incluye 30 capas hasta los 100 hPa, mientras que para la configuración de CHIMERE se han colapsado a 16 capas hasta los 500 hPa. Las simulaciones de calidad del aire han sido realizadas para un mes en periodo estival e invernal (agosto 2011 y diciembre 2011) utilizando los datos meteorológicos correspondientes tal y como simula MM5. Como spin-up o calentamiento del modelo, se ha simulado un periodo de 15 días previo a los periodos de referencia.

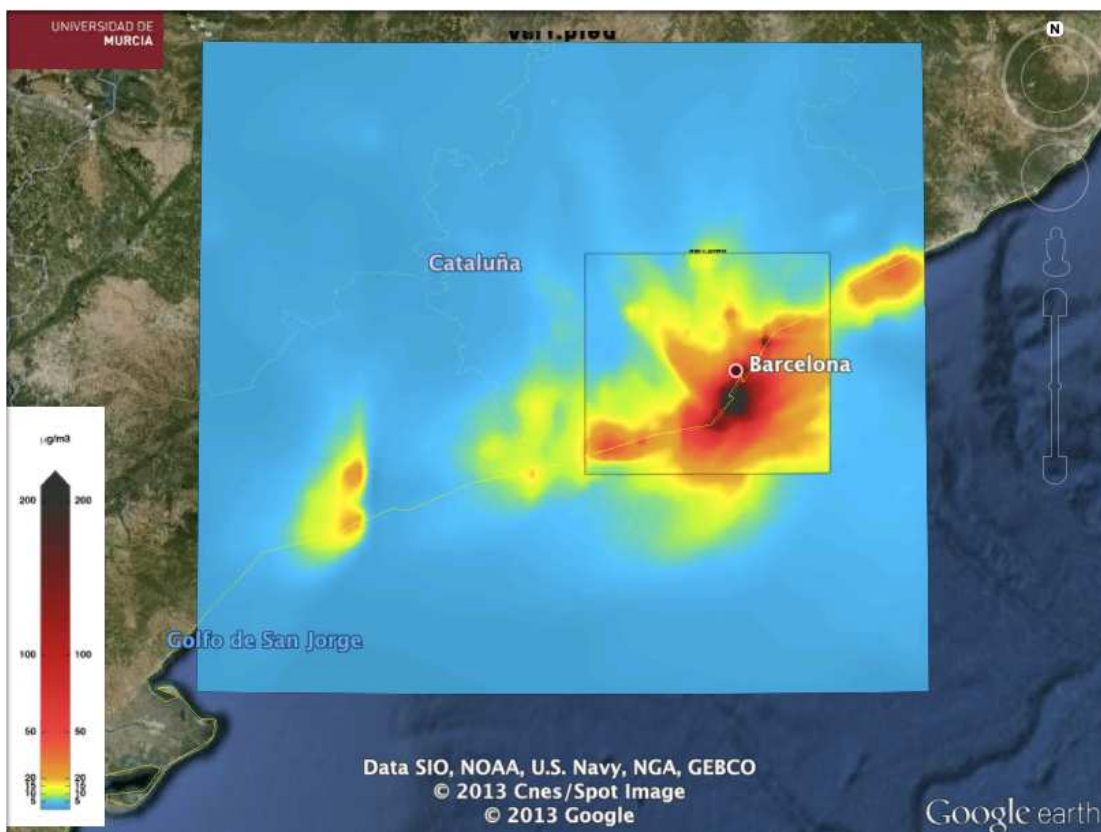


Figura 2.5. Dominios anidados unidireccionalmente simulados con CHIMERE: Cataluña (BCN02, resolución horizontal de 2 km) y Área Metropolitana de Barcelona (BCN005, resolución 0.5 km). Los colores representan las concentraciones máximas de dióxido de azufre en verano de 2011, poniendo de manifiesto los impactos del puerto en los niveles de este contaminante. Fuente: APICE

c. Evaluación de criterios y acciones

El ranking de las medidas adecuadas para mitigar emisiones atmosféricas se ha desarrollado a partir de una metodología conjunta con el resto de ciudades participantes en APICE. Se trata de un método en dos etapas. Primero, se han ponderado los criterios a través del método Delphi, en el que han participado alrededor de 25 expertos. Una vez ponderados los criterios, se han evaluado una serie de medidas potencialmente comunes para las cinco ciudades. Cada equipo ha evaluado las medidas según el contexto local obteniéndose puntuaciones para cada una de ellas. A continuación se muestra el ranking para Barcelona en función de cada fuente de emisión.

Fuente de emisión	Ranking	Medidas
Tráfico de buques	1	Combustible alternativo (gas natural licuado – GNL)
	2	Cambio de combustible en fase de maniobras
	3	Suministro eléctrico a barcos en fase de hotelling
	4	Reducción de la velocidad de los buques en la maniobra de aproximación o salida del puerto
	5	Reducción del tiempo de hotelling
	6	Inspección de emisiones atmosféricas a bordo
Equipamiento diésel	1	Programa de reducción de inactividad
	2	Sustitución acelerada de la maquinaria
	3	Conversión a gas natural
	4	Tratamiento de gases de escape (DOC, DPF, etc.)

	5	Diferentes soluciones de combustible (biodiesel, etc.)
Equipamiento de movimiento de mercancías	1	Programa de reducción de inactividad
	2	Combustibles alternativos
	3	Sustitución acelerada de la maquinaria
	4	Tratamiento de gases de escape
	5	Estándares nacionales de motores no de carretera
Trenes	1	Aumentar el ratio de tren a través de incentivos económicos
	2	Combustibles alternativos (GNC, GNL, diésel híbrido)
	3	Mejora del sistema ferroviario (accesos, reducción de congestión)
	4	Tratamiento de gases de escape
	5	Sustitución acelerada de la flota
Camiones	1	Programa de reducción de inactividad
	2	Certificación de excelencia ambiental
	3	Combustibles alternativos (GNC, GNL, diésel híbrido)
	4	Mejora del sistema viario (accesos, reducción de congestión)
	5	Motores eléctricos-diésel
	6	Reducción de viajes en vacío
	7	Tratamiento de gases de escape
Inventarios, seguimiento, comunicación	1	Compartir datos: inventarios de emisiones y seguimiento de la calidad del aire como basa para la planificación
	2	Seguimiento y control (protocolo o acuerdo entre agentes, etc.)
	3	Grupo/Comité de Trabajo de la calidad del aire en el puerto
	4	Estrategia de comunicación

De acuerdo a esta prioridad, el plan APICE desarrolla algunas de estas medidas en profundidad. Para ello se ha tenido especialmente en cuenta el interés suscitado entre los agentes. Además, se han incluido medidas adicionales inicialmente no evaluadas con este método como las emisiones a partir de obras en el puerto.

## II.2. Fase de planificación

### 1. Elaboración del plan de acción APICE

Una vez seleccionadas las acciones prioritarias y evidenciado el interés de los beneficiarios, se han desarrollado las acciones para ofrecer una hoja de ruta, lo más detallada posible, para su implementación. En primer lugar se define el estado del arte de la medida, es decir, la situación del puerto de Barcelona respecto a la medida y experiencias en otros lugares que pueden servir de fuente de inspiración. Posteriormente, se detalla el proceso de implementación de la medida identificando los actores y sus roles así como el presupuesto y financiación, cuando ha sido posible. Para ello se ha tenido en cuenta publicaciones sobre experiencias internacionales así como la información adquirida a través de los agentes entrevistados. Por último, se estima el efecto de la medida en cuanto al ahorro de emisiones, lo que permite construir el escenario de mitigación APICE.



## **2. Revisión y validación del plan**

El borrador del plan ha sido presentado al Servicio de Seguridad Industrial y Medio Ambiente de la APB y a la Subdirección General de Calidad Ambiental de la Generalitat de Catalunya. Con ellos, como actores y beneficiarios principales, se han discutido cada una de las medidas y se han incorporado enmiendas acordadas. También se ha discutido con otros actores las medidas que les atañen, como con la Marina Mercante. Finalmente, cabe destacar el apoyo y compromiso de la Generalitat para la implementación del plan APICE. Con este fin, la Subdirectora General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica ha firmado un documento de compromiso<sup>14</sup> donde se especifica la acción de la Generalitat.

---

<sup>14</sup> Disponible en: <http://wearemediterranean.files.wordpress.com/2013/01/compromis-generalitat.pdf>

### CAPÍTULO III

## PLAN APICE BARCELONA: MITIGACIÓN DE EMISIONES MARÍTIMAS Y PORTUARIAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE

### III.1. Origen de APICE: la necesidad de reducir emisiones marítimas y portuarias

El puerto de Barcelona, con el transporte marítimo y terrestre inducido, es origen de una fracción importante de la contaminación atmosférica del área metropolitana. En concreto, como muestra la figura 1.1., se le atribuye al 23% de PM<sub>10</sub> y el 16% de NO<sub>x</sub> en el área afectada por el Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la región metropolitana de Barcelona. El proyecto APICE ha analizado las emisiones derivadas del tráfico marítimo, identificando las fuentes de emisión y calculando las emisiones de cada una. Además, se han estimado las emisiones en el horizonte 2015 según la tendencia actual. La siguiente figura muestra dicha información para cuatro contaminantes: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y NMVOCs.

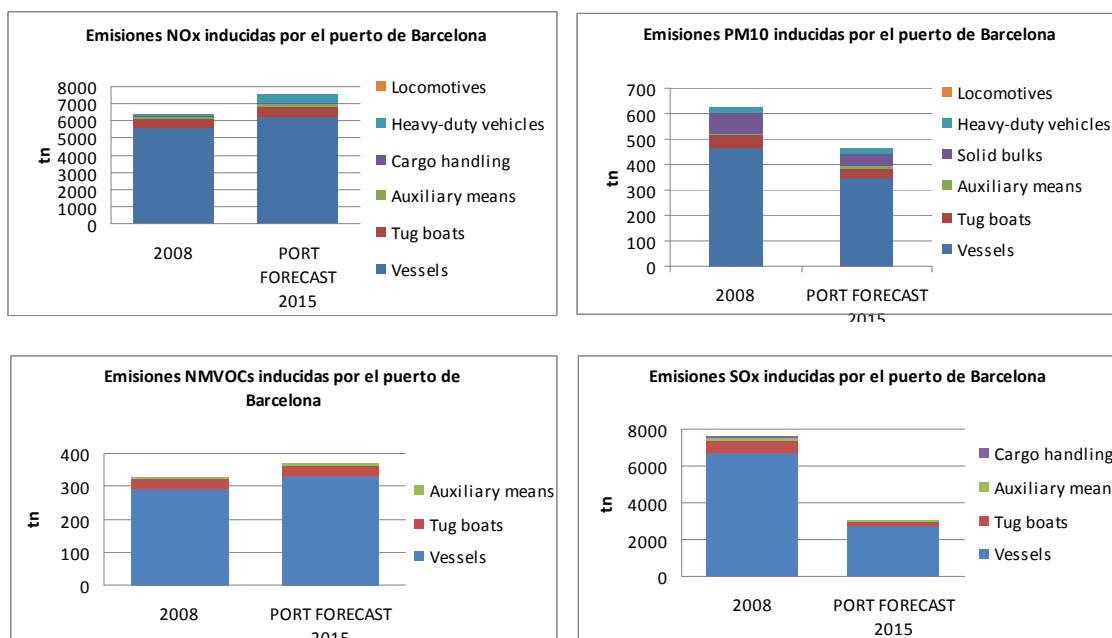


Figura 3.1. Inventario de emisiones 2008 de las fuentes marítimas y portuarias y estimación tendencia 2015 (Fuente: APICE)

Como se puede observar, las emisiones de NO<sub>x</sub>, contaminante crítico en Barcelona, aumentaría si no se toman medidas de mitigación. En el caso de SO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>, la tendencia es a la baja por la entrada en vigor de normativa referente al combustible de barcos. Es importante destacar la contribución de los buques en comparación con el resto de focos relacionados con el transporte marítimo.

Una vez analizados los focos de emisión y ante la necesidad de reducir las emisiones, se han elegido medidas para los diferentes focos debido a la necesidad de actuar en todos los ámbitos. Con la implementación del plan APICE, se estima que las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> se reducirían en un 12% respecto al escenario 2015, tal y como se muestra en la siguiente figura.

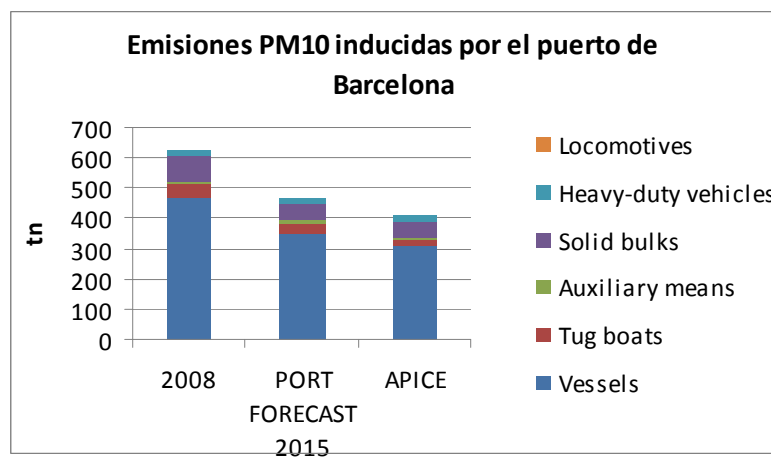
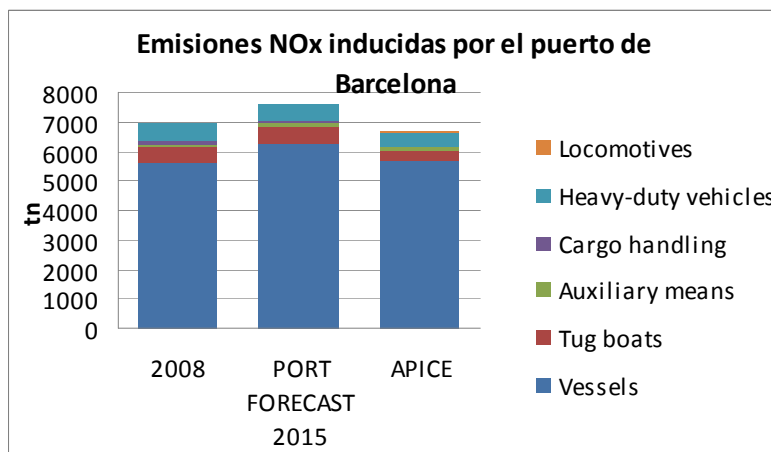


Figura 3.2. Comparación de emisiones anuales de NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> en tres escenarios (Fuente: APICE)

Des este modo, el plan APICE se une a los esfuerzos de la Generalitat a través de su Plan de Mejora de la Calidad del Aire.

### III.2. Tráfico de buques

#### Introducción a la situación de la normativa de las emisiones de buques

Como respuesta a los retos de contaminación atmosférica a los que se enfrentan algunas áreas litorales, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido Áreas de Emisión Controladas (ECAs). Para reducir las emisiones de SO<sub>x</sub> en las zonas ECAs, la OMI establece la limitación del contenido de azufre en el combustible. A partir del 1 de julio de 2010, el contenido de S en el fuel debía de estar por debajo del 1%, y a partir del 1 de enero 2015, por debajo de 0,1%. La directiva europea 2005/33/EC<sup>15</sup>, en vigor desde el 1 de enero de 2010, ya limita el contenido de azufre a 0,1% para los barcos atracados en puertos de la UE y en aguas interiores. Para cumplir con estos requisitos los barcos deben cambiar la calidad del combustible o bien tratar los gases de escape.

Con el fin de reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> a nivel global, la OMI establece límites de emisión para motores marítimos, concretamente Tier I y II. Para Tier II se requiere a partir del 1 de enero de 2011 una reducción del 20% de las emisiones de NO<sub>x</sub> para nuevos barcos comparado con el actual estándar Tier I. Para las ECAs, un estándar Tier III será implementado, requiriendo la reducción del 75% de las emisiones NO<sub>x</sub> para barcos construidos con fecha posterior a 1 de enero de 2016.

<sup>15</sup> Esta directiva ha sido modificada en octubre 2012. Para más información: [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/envir/133246.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/envir/133246.pdf)





Por otra parte, la Unión Europea admite un nivel máximo de S en combustible del 0,1% para los buques en puerto o en aguas interiores. A partir del 1 de julio de 2010, el máximo nivel de S en el combustible se ha fijado en un 1% dentro de las áreas de emisiones controladas, si bien el requerimiento será más estricto hacia 2015, cuando no se podrá superar el 0,1%.

La siguiente tabla resume la legislación sobre emisiones marítimas entre 2010 y 2020.

Entrada en vigor	Referencia	Legislación	Legislador	Área	Objetivo	Consecuencias	Opciones usuales de los armadores
01.01.2010	2005/33/EC <sup>16</sup>	Contenido de azufre en combustible <0,1% en buques atracados en puertos de la UE	UE	UE	Navegación y nuevos barcos	Posible adaptación de motores, mayor coste de viaje	a) Cambiar a 0,1% contenido de azufre en muelle y canales b) Usar GNL como combustible
01.07.2010	Anexo IMO VI	Contenido de azufre en combustible <1% en SECAs	OMI	SECA	Navegación y nuevos barcos	Posible adaptación de los motores o tratamiento de los gases de escape, mayor coste de viaje	a) Usar combustible <1% de azufre b) Usar combustible >1% azufre con depuradores c) Usar GNL como combustible
01.01.2011	Anexo IMO VI	Reducción de NO <sub>x</sub> al nivel de Tier II, aprox. 20% por debajo del actual nivel Tier I	OMI	Global	Nuevos barcos	Elección de motores especiales o tratamiento de los gases de escape. Mayores gastos de viaje y de capital	a) Elegir (o modificar a) motores con bajas emisiones de NO <sub>x</sub> b) Usar Tier I con SCR, EGR, HAM, emulsiones acuosas, etc. c) Utilizar GNL como combustible
01.01.2012	Anexo IMO VI	Contenido de azufre en combustible <3,5%, progresivamente hacia 0,5% para el 2020 (quizá más tarde)	OMI	Global	Navegación y nuevos barcos	Posible coste mayor de viaje	a) 2012: cambiar a combustible <3,5% de azufre. Hacia 2020: combustible bajo en azufre o combustible convencional con depuradores b) Utilizar GNL como combustible
01.01.2015	Anexo IMO VI	Contenido de azufre en combustible <0,1% en SECAs	OMI	SECA	Navegación y nuevos barcos	Coste de viaje mayor, posible adaptación de los motores o tratamiento de los gases de escape	a) Usar combustible <1% de azufre b) Usar combustible >1% azufre con depuradores c) Usar GNL como combustible
01.01.2016	Anexo IMO VI	Reducción de NO <sub>x</sub> a niveles Tier II en ECAs, aprox 75% por debajo del nivel Tier II	OMI	ECA	Nuevos barcos	Tratamiento de gases de escape (si no hay una mejora significativa de motores. Mayores costes de capital y viaje)	a) Instalar depuradores de gases de escape como SCR, u otras medidas b) Utilizar GNL como combustible

Fuente: Elaboración propia a partir de Rolls Royce

<sup>16</sup> Esta directiva ha sido modificada en octubre 2012. Para más información: [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/en/envir/133246.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/envir/133246.pdf)

Teniendo en cuenta el marco normativo, que la gran mayoría de la flota de buques entrará alguna vez en zonas ECA a lo largo de su vida y que se crearan nuevas ECAs en el futuro, se hace imprescindible una toma de conciencia y actuación por parte del sector naviero. Básicamente se contemplan tres opciones principales para cumplir con la normativa:

- Operar con combustible bajo en azufre/gasoil marítimo (MGO)
- Operar con fueloil pesado (HFO) con depurador de gases de escape
- Operar con gas natural licuado (GNL) o combustibles alternativos

Según Lloyd's Register<sup>17</sup>, las tres opciones son factibles y algunas serán más apropiadas que otras según el tipo de embarcación de que se trate. La elección dependerá de varios factores como el tamaño, antigüedad y tipo de buque (portacontenedor, ferry, crucero, granelero, tanque, etc.) y modelo de comercio, disponibilidad de GNL, porcentaje de tiempo estimado en ECAs, costes de inversión, etc.

En el puerto de Barcelona, varios agentes han expresado su interés en desarrollar el GNL como combustible marítimo de futuro y por ello se propone como medida prioritaria en la adecuación del tráfico marítimo a los estándares internacionales.

Los siguientes gráficos muestran las emisiones de los buques según el inventario de emisiones de APICE para 2008 y el escenario tendencial 2015 "Port forecast".

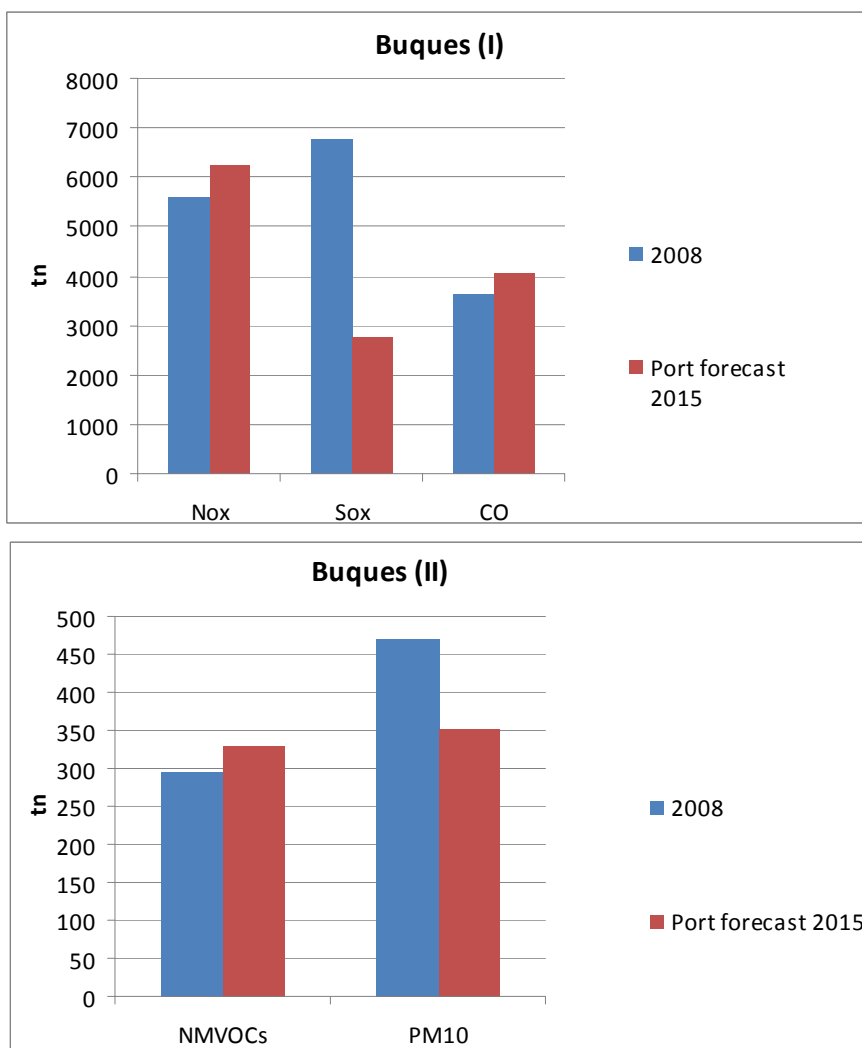


Fig. 3.3. Emisiones del tráfico de buques en 2008 y escenario tendencial 2015 "Port forecast" (Fuente: APICE)

<sup>17</sup> Lloyd's Register LNG Bunkering Infrastructure Study. Disponible en: [http://www.lr.org/Images/LR\\_LNG%20bunkering%20infrastructure%20study\\_tcm155-237162.pdf](http://www.lr.org/Images/LR_LNG%20bunkering%20infrastructure%20study_tcm155-237162.pdf)

La entrada en vigor de la directiva sobre contenido en azufre del combustible debería tener un claro efecto en la reducción de emisiones de SO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>. Sin embargo, para los demás contaminantes, las emisiones aumentan como resultado de un incremento del tráfico marítimo proyectado por el puerto.

### Medida 1.1. Promoción del GNL como combustible en buques

#### Estado del arte

El gas natural licuado (GNL) como combustible en motores de buques es, actualmente, una apuesta de futuro para las empresas navieras y las sociedades de clasificación.

Según un informe de la sociedad clasificadora DNV, el GNL es en este momento un combustible comercialmente viable para el transporte marítimo y ofrece perspectivas de reducción de un 25% en la emisión de CO<sub>2</sub>, la eliminación completa de las emisiones de óxidos de azufre y de cerca del 90% de reducción de las de óxido de nitrógeno. El informe *Greener Shipping in the Baltic Sea* (2010)<sup>18</sup> de DNV muestra los diferentes niveles de emisión de un buque de carga típico en el Mar Báltico.

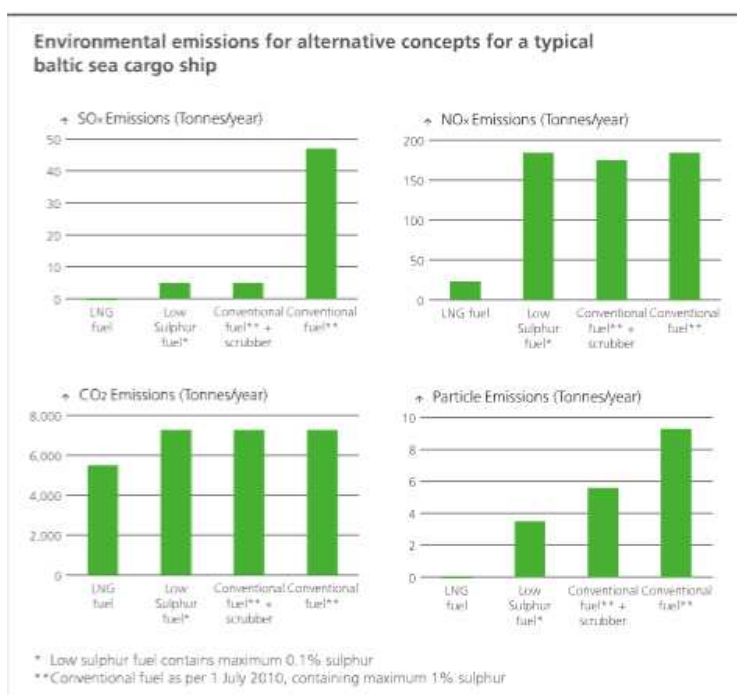


Fig. 3.4. Comparación de emisiones atmosféricas según tipo de combustible para un barco típico de carga en el Báltico (Fuente: DNV)

La compañía Wärtsilä también muestra el diferencial de emisiones respecto al motor diésel como se muestra en la siguiente figura.

<sup>18</sup> Disponible en: [http://www.dnv.fi/Binary/Greener%20Shipping%20in%20the%20Baltic%20Sea\\_tcm146-429433.pdf](http://www.dnv.fi/Binary/Greener%20Shipping%20in%20the%20Baltic%20Sea_tcm146-429433.pdf)

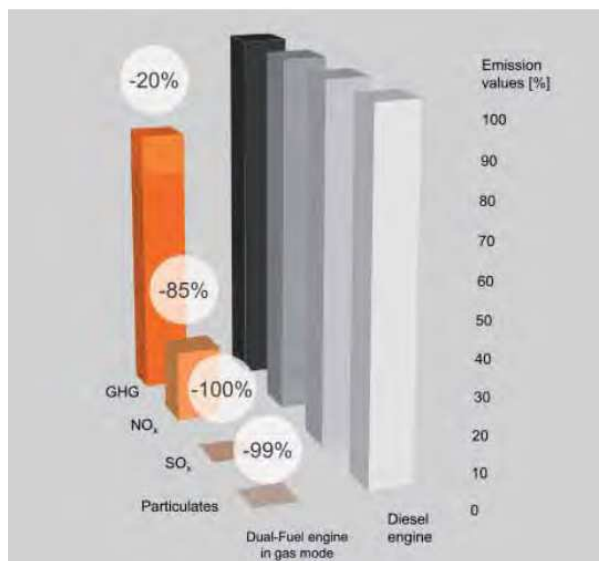


Fig. 3.5. Reducción de emisiones atmosféricas pasando de un motor diésel a dual en modo gas (Fuente: Wärtsilä)

A pesar de que el gas natural licuado está siendo utilizado como combustible por alrededor de 20 buques pequeños en Noruega y tanto fabricantes de motores como sociedades de clasificación han destinado millones de dólares a su desarrollo, la división impera entre las grandes empresas navieras que apoyan o rechazan este combustible. Sin embargo, la sociedad de clasificación DNV, otras compañías -caso de Bureau Veritas o el Germanischer Lloyd- trabajan con astilleros y armadores en distintos proyectos, que involucran diferentes tipos de buques para el uso de motores a gas o duales. Germanischer Lloyd avanza en un proyecto a tres años para desarrollar un buque de pasaje financiado en parte por el Gobierno alemán, pero con sustanciales contribuciones del mismo ente.

En cuanto a los aspectos económicos de la propulsión con GNL, existe una importante reducción de los costes de combustible, dados los precios actuales del GNL. La utilización del GNL como combustible genera una importante disminución de los costes de mantenimiento. Por el contrario, la inversión tecnológica es mayor, pero de pronta amortización en el ciclo de consumo en el caso de que la red de comercialización del gas sea suficientemente extensa. De hecho, la infraestructura de GNL es un punto crucial para el desarrollo de este combustible en transporte marítimo.

A nivel regional, hay que destacar la Acción COSTA (TEN-T Priority Project 21)<sup>19</sup> que tiene como objetivo desarrollar un marco de condiciones para el uso del GNL en buques en el Mediterráneo, Océano Atlántico y el Mar Negro. Resultará en la preparación de un Plan Director para el uso del GNL en Short Sea Shipping entre el Mediterráneo y el Atlántico Norte así como el crucero de larga distancia en el Atlántico Norte hacia las islas de Azores y Madeira.

Por otra parte, en noviembre de 2012 la Comisión Europea publicó un importante estudio sobre el suministro de GNL en la región este del Báltico<sup>20</sup>. Además de identificar el emplazamiento más adecuado para una terminal de GNL, propone un marco estratégico para que los Estados Miembro y promotores tomen decisiones en base a él. Identifica la infraestructura requerida para un funcionamiento adecuado del mercado interno y seguridad del suministro en la región.

<sup>19</sup> Más información en:

[http://tentea.ec.europa.eu/download/project\\_fiches/multi\\_country/fichenew\\_2011eu21007s\\_final\\_1.pdf](http://tentea.ec.europa.eu/download/project_fiches/multi_country/fichenew_2011eu21007s_final_1.pdf)

<sup>20</sup> Disponible en: [http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/20121123\\_lng\\_baltic\\_area\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/20121123_lng_baltic_area_report.pdf)

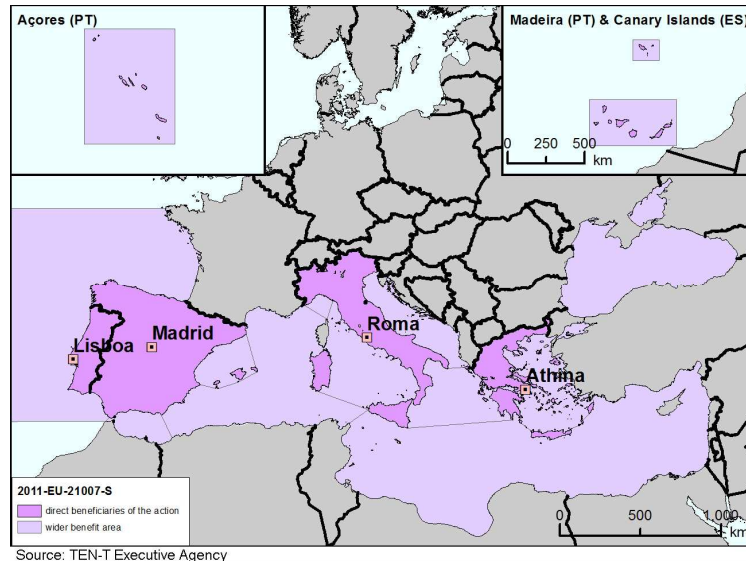


Fig. 3.6. Ámbito geográfico de la Acción COSTA (Fuente: TEN-T)

Este proyecto complementa los resultados de los proyectos de GNL en curso en el Mar del Norte y Báltico (proyecto 2010-EU-21112-S). Está previsto que finalice en abril de 2014.

[http://tentea.ec.europa.eu/download/project\\_fiches/multi\\_country/fichnew\\_2011eu21007s\\_final\\_1.pdf](http://tentea.ec.europa.eu/download/project_fiches/multi_country/fichnew_2011eu21007s_final_1.pdf)

### Descripción de la medida

#### ○ Desarrollo de la normativa para embarcaciones propulsadas por GNL

Actualmente, a excepción de los buques gaseros de transporte de GNL, no existe normativa alguna ni internacional ni española, sobre la distribución y uso de GNL como combustible de embarcaciones, lo que supone una barrera para la introducción generalizada de este combustible. Sin embargo, se está desarrollando dicha reglamentación:

#### *A nivel internacional*

- Código Internacional de Seguridad para los Buques que utilicen gas u otros combustibles con bajo punto de inflamación (código IGF). El Código está siendo desarrollado por la sociedad de clasificación DNV para disponer de un estándar internacional para los buques que operen con gas o combustibles líquidos con flash point por debajo de 60°C. En un futuro sería aprobado por la OMI teniendo así un reconocimiento internacional. Permitirá disponer de criterios obligatorios para la disposición, instalación de maquinaria, equipos y sistemas de los buques que operen con gas o líquidos con bajo flash point. Se estructura en 4 partes:

- Parte A. Diseño
- Parte B. Diseños alternativos
- Parte C. Fabricación
- Parte D. Operación (requisitos de formación para las tripulaciones)

El código cubre los siguientes combustibles: gas natural líquido y comprimido, propano líquido y comprimido, butano (*i* y *n*) líquido y comprimido, mezclas propano/butano líquido y comprimido, alcohol etílico líquido, alcohol metílico líquido, hidrógeno líquido y comprimido, dimetileter.

- Norma ISO TC 67/WG 10 (*Guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships*). Incluirá los Requisitos mínimos para procedimientos, formación y equipos necesarios para la operación segura de tomas de combustible en buques propulsados por gas, y buques de suministro. Esta norma deberá ser compatible con el código IGF.

### *A nivel español*

- Para buques, se permite el uso de la resolución MSC 285(86) “Directrices provisionales sobre la seguridad de las instalaciones de motores de gas natural en los buques” con modificaciones siempre que estén justificadas.

- Para embarcaciones de hasta 12 m de eslora L: “Directrices provisionales que se deben seguir a la hora de aprobar la transformación de combustible de gasolina a GLP”

-Para la propulsión de embarcaciones de pesca local de eslora (L tal y como se considera en el RD 543/2007) menores de 12 m y embarcaciones propulsadas por motores fueraborda de potencia igual o inferior a 150 BHP, se aplicaría la derivada de UNE-EN ISO 10239 y reglamentos de OR’s.

En el caso de que una naviera española quisiera poner en circulación en aguas jurisdiccionales una embarcación propulsada por GNL antes de que la normativa entre en vigor, la Dirección General de la Marina Mercante debería crear un código específico para su aprobación. En cualquier caso, también debe jugar un papel importante impulsando el desarrollo y aprobación del código a nivel internacional en el marco de la OMI.

Finalmente, es importante destacar los aspectos de seguridad del GNL en bunkering y operaciones. Estos aspectos deberán ser estudiados y reglamentados en profundidad para evitar cualquier accidente que tendría efectos nefastos dadas las características de este combustible.

#### o **Implementación de la infraestructura y logística para el suministro de GNL**

En relación a este punto, sería conveniente esperar a la publicación del Plan Director para el uso del GNL en Short Sea Shipping en el Mediterráneo que está previsto que se elabore como uno de los resultados del proyecto COSTA (ver arriba) que puede constituir un ejemplo para la estandarización de este tipo de instalaciones. No obstante, los estudios llevados a cabo hasta el momento en el Báltico, en particular el citado en la introducción de este capítulo, podrían servir de base para el desarrollo del GNL en el Mediterráneo, creándose estructuras de distribución y suministro de GNL análogas a las del Norte de Europa.

Así, se tendría que desarrollar una infraestructura básica, como proyecto piloto, para dar un impulso inicial importante a este combustible. Según un estudio del Lloyd’s Register<sup>21</sup>, la utilización del GNL como combustible marítimo probablemente comenzaría por su uso generalizado en Short Sea Shipping. Atendiendo a las relaciones comerciales actuales, sería conveniente dedicar este proyecto piloto en el Mediterráneo occidental para el Short Sea Shipping. Los puertos que podrían formar parte de esta red serían: Valencia, Barcelona, Palma de Mallorca, Marsella-Fos, Bastia, Génova, Livorno, Civitavecchia y Olbia.

---

<sup>21</sup> Aagensen, J. (2012). Lloyd’s Register LNG Bunkering Infrastructure Study. Disponible en: [http://www.lr.org/Images/LR\\_LNG%20bunkering%20infrastructure%20study\\_tcm155-237162.pdf](http://www.lr.org/Images/LR_LNG%20bunkering%20infrastructure%20study_tcm155-237162.pdf)



Fig. 3.7. Propuesta de red logística piloto de GNL en el Mediterráneo noroccidental (Fuente: APICE)

En el puerto de Barcelona, la creación de la infraestructura puede ser impulsada por las sinergias con otros ámbitos, como la alimentación con gas natural de las flotas de transporte terrestre (camiones, trenes) para la entrada y salida de la mercancía de los puertos, la maquinaria de manipulación de mercancías en las terminales o el suministro eléctrico a buques a partir del gas natural. Además, el puerto de Barcelona dispone de una importante terminal de descarga de GNL.

○ **Trabajar en red para promover el GNL en el transporte marítimo**

El desarrollo del GNL como combustible es complejo desde el punto de vista normativo y de logística. Para ello se requiere trabajar en red y de manera coordinada, ya que por ejemplo, es imprescindible la existencia de una mínima red de suministro para que los navieros instalen o adapten motores para el uso del gas natural, o se requiere normativa para que los armadores y navieros se decidan a apostar por este combustible. Así, a nivel español, la Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España (AINE) ha decidido crear un área de trabajo (PAT-20) para abordar principalmente lo correspondiente a legislación y tecnología. Sus objetivos son:

- Encontrar soluciones técnicas para su uso generalizado en el ámbito marítimo.
- Fomentar el desarrollo de la normativa marítima aplicable.
- Identificar problemáticas en su entorno que frenen su desarrollo y proponer soluciones a las mismas.

Paralelamente, distintas empresas y entidades están impulsando la creación de una Asociación para promocionar el uso del gas natural en el transporte y resolver las dificultades que puedan surgir. Dicha Asociación tendría una subpresidencia dedicada a impulsar el gas natural en el transporte marítimo. Empresas, instituciones, organismos y entidades que eventualmente podrían formar parte de la asociación son: Gas Natural Fenosa, la Dirección General de la Marina Mercante, DNV, Rolls-Royce, COTENAVAL, Balearia, Endesa, Bureau Veritas, CAT, Petrogás, CEPSA, MAN, Astilleros Gondan, S.A., ARMON, Wärtsilä, etc.

Así pues, esta medida tendría por objeto la creación y operatividad de la Asociación para impulsar el uso del gas natural en embarcaciones y puertos desde el punto de vista normativo, logístico y de suministro. El Puerto de Barcelona y la Generalitat de Cataluña también podrían formar parte de este grupo para aportar el conocimiento local e implementar las acciones de infraestructura necesarias.

**Efecto de la medida**



La introducción del GNL es todavía un escenario de futuro y ciertamente tendrán que pasar décadas para una implementación significativa en el sector marítimo. Sin embargo, en APICE hemos creído conveniente considerar un escenario donde el GNL tiene importancia en la navegación. Por sus características de Short Sea Shipping, hemos considerado que los ferries de pasajeros utilizaran GNL en el futuro y hemos tomado la previsión de tráfico de 2015.

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a ferries	695,48	104,32	591,16 tn/año
Emisiones PM <sub>10</sub> asociadas a ferries	58,44	~ 0	58,44 tn/año

## Medida 1.2. Control a bordo de las emisiones de los buques

### Estado del arte

Tanto el plan estatal como autonómico de mejora de la calidad del aire contemplan la necesidad de medidas de control de las emisiones de los buques. Sin embargo, antes de implementar dicha medida, habría que analizar mejor su alcance y acordar entre las administraciones implicadas cómo debería ejecutarse dicho control.

En la actualidad, las inspecciones a los barcos, incluidas aquellas en materia de medio ambiente, están reguladas por el Real Decreto 1837/2000, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de inspección y certificación de buques civiles<sup>22</sup>. Respecto a las emisiones atmosféricas, los inspectores de la Marina Mercante revisan documentalmente el contenido de azufre del combustible (a través de los comprobantes de compra a suministradores) y los certificados de fábrica de los motores. En raras ocasiones se han abierto expedientes administrativos por incumplimiento de estos requisitos.

Por otra parte, los estudios del CSIC-IDÆA muestran una bajada en los niveles de SO<sub>x</sub> en el puerto de Barcelona tras la entrada en vigor de la Directiva 2005/33/EC, lo que lleva a pensar que la reglamentación está siendo respetada por las navieras (ver figura 3.8).

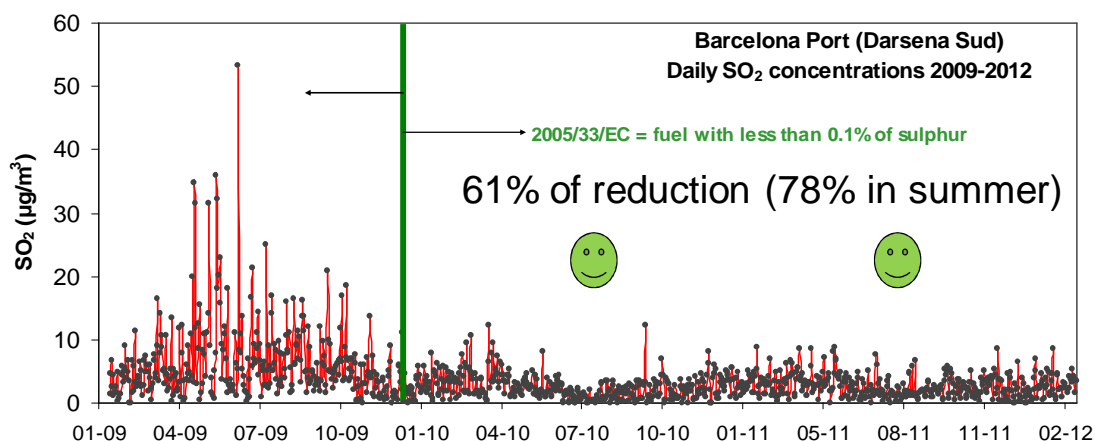


Fig. 3.8. Concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en el Puerto de Barcelona en el período 2009-2012 (Fuente: APICE)

Se trata pues de una manera indirecta de controlar tan solo las emisiones de SO<sub>x</sub> pero no sirve para el resto de contaminantes, y por tanto cubre sólo parcialmente la necesidad del control de emisiones. Sería necesario controlar específicamente las emisiones de NO<sub>x</sub>, que no dependen del contenido de azufre en combustible.

<sup>22</sup> [http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/CC70085A-2639-45C0-ADFF-9082D588C0AD/2152/inspeccion\\_buques\\_nacionales.pdf](http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/CC70085A-2639-45C0-ADFF-9082D588C0AD/2152/inspeccion_buques_nacionales.pdf)

### Descripción de la medida

Resulta necesario plantear la medición de gases emitidos por las chimeneas de los buques. En primer lugar, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y/o la Generalitat de Catalunya deberían comunicar a la Dirección General de la Marina Mercante la necesidad de aplicar esta medida para sus planes de calidad del aire. Una vez acordado con la Marina Mercante, se debería entonces desarrollar un protocolo de inspección de los gases de las chimeneas de los barcos, así como establecer los niveles de emisión admisibles. También habría que dotar a las capitanías marítimas de los instrumentos necesarios para la medición, o delegarse esta tarea a otras entidades acreditadas.

### Efecto de la medida

Dado que actualmente no existen mediciones previas resulta complicado evaluar el efecto de la medida en cuanto a la reducción de emisiones que podría conseguirse.

## Medida 1.3. Suministro eléctrico a barcos atracados en puerto

### Estado del arte

En la actualidad existen algunos puertos a nivel mundial que suministran electricidad a barcos mientras están atracados en el puerto, evitando así emisiones locales. El Puerto de Barcelona llevó a cabo un estudio de viabilidad para el suministro eléctrico de buques desde el muelle. Los resultados obtenidos limitaban esta posibilidad a algunos ferries que hacen el trayecto Barcelona-Baleares. Lamentablemente, las dificultades encontradas para extender esta solución al resto del puerto son tanto técnicas (conseguir y transportar la energía requerida) como de índole económica por el coste de la energía dado el elevado término de potencia requerida.

Por ello, para desarrollar esta medida debes explorarse otras posibilidades para suministro eléctrico a barcos, como a través de barcasas híbridas dotadas de generadores alimentados con GNL, como el prototipo desarrollado por Becker Marine Systems<sup>23</sup>. Otra alternativa que se está barajando es el suministro directo de gas natural en fase gaseosa a los motores auxiliares de barcos desde tierra.



Fig. 3.9. Prototipo de barcaza suministradora de GNL (Fuente: GreenPort)

### Descripción de la medida

Aprovechando el potencial del gas natural, se propone profundizar en el estudio ya comenzado sobre la construcción de plataformas/barcasas flotantes equipadas con generadores de gas natural que podrían producir electricidad y suministrarla directamente a barcos de crucero. También sería conveniente estudiar la posibilidad de emplazar estos generadores en tierra, incluso sobre remolques. Por otra parte, la opción de suministro de gas natural en fase gaseosa desde tierra parece ser factible y los estudios están en curso.

### Efecto de la medida

APICE considera como escenario de futuro la electrificación del 10% de buques de crucero en la fase de atraque o hotelling, con lo que se evitarían todas las emisiones derivadas en la zona portuaria.

<sup>23</sup> Más información en: [www.greenport.com/news101/products-and-services/lng-hybrid-berge-to-end-cruise-pollution](http://www.greenport.com/news101/products-and-services/lng-hybrid-berge-to-end-cruise-pollution)

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a cruceros	776,62	725,36	51,25 tn/año
Emisiones PM <sub>10</sub> asociadas a cruceros	57,02	53,26	3,76 tn/año

### RECAPITULACIÓN DE EMISIONES DE BUQUES EN ESCENARIO 2008, 2015 TENDENCIAL Y APICE

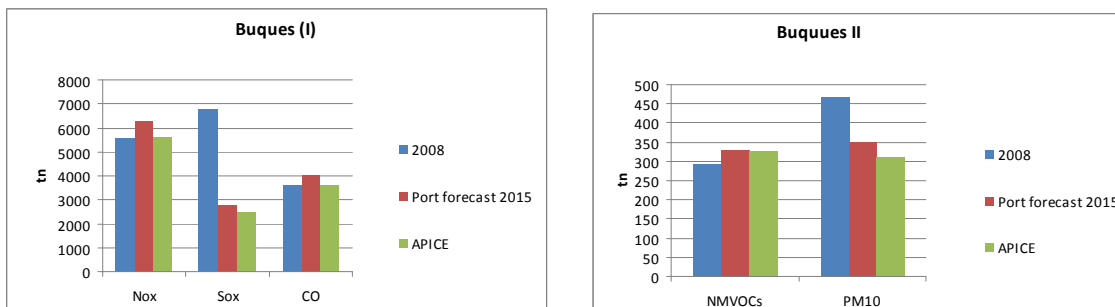


Fig. 3.10. Comparación emisiones de buques en tres escenarios (Fuente: APICE)

Las figuras muestran los niveles de emisión de contaminantes en los diferentes escenarios. Cabe destacar que con la entrada en vigor de la directiva por la que se hace obligatorio el uso de combustible contenido inferior al 0.1% en la fase de hotelling (buque atracado) tiene un efecto considerable en las emisiones de SO<sub>x</sub> y material particulado. Sin embargo, no es así en las de NO<sub>x</sub>, cuyas emisiones irán en aumento. Las acciones propuestas en APICE permiten reducir los NO<sub>x</sub> en un 10% y las de PM<sub>10</sub> en 12% respecto a la tendencia de 2015.

### III.3. Flota interna del puerto

#### Introducción a la situación de emisiones de la flota interna del puerto

La flota interna del puerto está constituida por los remolcadores y otras embarcaciones que realizan tareas diversas como las de limpieza de residuos flotantes, bunkering, etc. Respecto a las emisiones atmosféricas, la contribución principal corresponde a la actividad de los remolcadores, estimadas por APICE en 538 tn de NO<sub>x</sub> en 2008. En cuanto al resto de flota interna, se estima una emisión de 120 tn de NO<sub>x</sub> para ese año.

Así pues, nos centraremos en las emisiones de los remolcadores. Esta actividad es llevada a cabo por dos empresas, Remolcadores, S.A. y SAR Remolcadores, S.L., según lo previsto en las "Prescripciones particulares del servicio portuario básico de remolque en el Puerto de Barcelona"<sup>24</sup>. No está previsto aumentar o renovar la flota de embarcaciones, ya que la más antigua data de 2005 (Tier I). Todas las embarcaciones tienen el certificado IMO-NO<sub>x</sub>, expedido por Marina Mercante y requerido por el pliego de condiciones del servicio de la APB.



Foto: Remolcadores atracados en puerto con suministro eléctrico (Fuente: APICE)

<sup>24</sup> Disponible en [http://www.portdebarcelona.cat/c/6cc36d3bb051/DOC\\_PLEC\\_Remolc.pdf](http://www.portdebarcelona.cat/c/6cc36d3bb051/DOC_PLEC_Remolc.pdf)

Ambas empresas son certificadas anualmente por el registro Lloyd's, y para ello las emisiones atmosféricas son abordadas proponiéndose acciones de mejora. La APB también exige este certificado para operar en el puerto. Además, en el caso de la compañía SAR, se tomaron medidas de gases a bordo. Estos controles tienen por objetivo verificar que las emisiones están por debajo de las permitidas en el Anexo VI de MARPOL. Los remolcadores utilizan combustible con contenido en azufre por debajo del 0,1% tal y como marca la legislación. Cuando están atracados se encuentran electrificados y por tanto no hacen uso de sus motores (ver foto).

En este contexto, parece difícil disminuir las emisiones de esta fuente ya que se encuentran bastante controladas y dentro de los límites legales. Sin embargo, se proponen dos medidas que pueden ayudar a reducirlas.

## Medida 2.1. Optimizar el tiempo de trabajo de los remolcadores

### Estado del arte

La APB marca indirectamente el tiempo que los remolcadores deben operar para remolcar los buques que entran y salen del puerto. La prescripción 23 del servicio de remolcadores trata sobre el "Rendimiento mínimo y calidad del servicio": *La prestación del servicio se realizará con la máxima diligencia evitando retrasos en el inicio del mismo, **debiendo responder a cualquier petición de servicio con el tiempo máximo de respuesta de 25 minutos** [...] A estos efectos se considera tiempo de respuesta al transcurrido desde que se realiza la petición del servicio a un remolcador disponible hasta que dicha unidad se posiciona en el lugar requerido con todos los medios necesarios, humanos y materiales, en condiciones de iniciar la asistencia.*

Se trata de un período en que el remolcador puede encontrarse inactivo por estar a la espera de la llegada del barco en caso que el buque entrante hubiera anticipado excesivamente su petición de servicio. Por ello ese desfase se debería reducir al mínimo, de modo que esas emisiones podrían ser evitadas sin perjudicar el servicio de remolcador y la seguridad del puerto.

Por ejemplo, si el remolcador recibe el aviso con una hora de antelación de la llegada del buque, el remolcador emitiría un mínimo de 35 minutos mientras espera al navío de manera innecesaria.

### Descripción de la medida

La medida propone modificar ese tiempo de disponibilidad de los remolcadores. Para ello, la APB debería juzgar la adecuación y acordar la modificación a las prescripciones, siempre asegurando la calidad del servicio y la seguridad.

### Efecto de la medida

La aplicación de la medida tendría un efecto en el tiempo de operación de los remolcadores, si bien hay que reconocer que el tiempo de espera es una fracción generalmente pequeña del tiempo total de remolque, y además en régimen de espera el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes asociadas es mucho menor.

## Medida 2.2. Uso de GNL como combustible de remolcadores

### Estado del arte

Actualmente los remolcadores del puerto de Barcelona utilizan motores diésel con combustible gasóleo con contenido en azufre menor al 0.1%, tal y como requiere la legislación. Todos ellos tienen certificación IMO-NO<sub>x</sub> y son relativamente nuevos. Por ello, no se contempla a corto plazo una sustitución de unidades de la flota. Sin embargo, a largo plazo, es oportuno pensar en reemplazar el

gasóleo como combustible y utilizar otras tecnologías. Existen ya remolcadores en el mercado propulsados por GNL (como por ejemplo en Noruega, fabricados por Rolls-Royce<sup>25</sup>) e híbridos (como por ejemplo en el Puerto de Rotterdam<sup>26</sup>). Otras opciones tecnológicas a tener en cuenta son las de tratamiento de gases de escape, como los filtros antipartículas o catalizadores de oxidación diésel.



Foto. Remolcador E-KOTUG (Fuente: Kees Thorn, Rotterdam)

### Descripción de la medida

La medida consiste en la incorporación, conversión o sustitución progresiva de unidades de la flota actual de remolcadores operados con gasóleo por unidades propulsadas con GNL. Para ello se debería iniciar por un proyecto piloto sobre un remolcador que demostrara la viabilidad de las soluciones propuestas, mediante la necesaria colaboración entre diferentes entidades. Los promotores del proyecto serían las empresas del servicio de remolque y las empresas distribuidoras de gas. La APB debería facilitar los trámites en cuanto a seguridad y normativa, junto a la Dirección General de la Marina Mercante. La Generalitat también podría participar en el proyecto piloto a través del ICAEN.

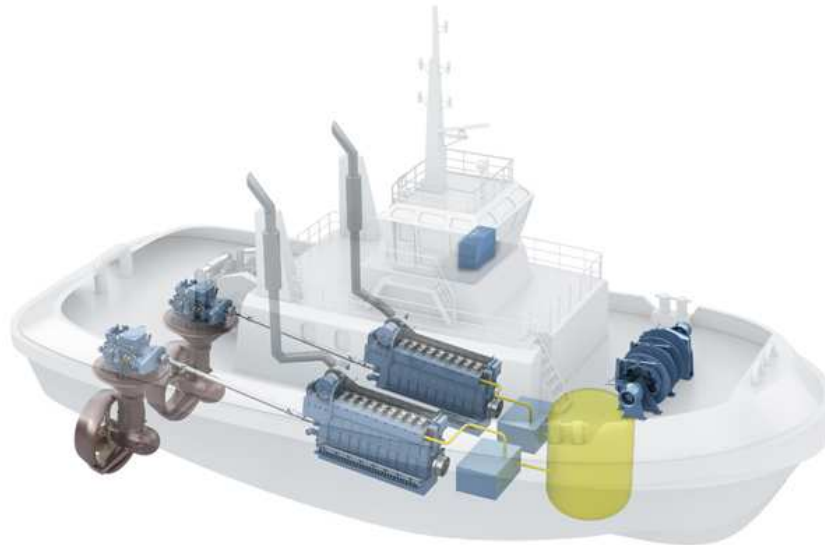


Foto. Modelo de remolcador de Rolls Royce propulsado por GNL

### Efecto de la medida

De manera análoga al tráfico de buques, el GNL permite disminuir las emisiones de NO<sub>x</sub> en un 85%. Teniendo en cuenta que la mitad de la flota utilizaría esta tecnología, las emisiones evitadas serían las siguientes:

<sup>25</sup> Más información en: <http://www.ngvglobal.com/powerful-tugboats-adopt-lng-0113>

<sup>26</sup> Más información en: [http://www.kotug.nl/en-GB/news-events/33\\_europe-s-first-hybrid-rotor-r-tug-e-kotug-operating-in-port-of-rotterdam.html](http://www.kotug.nl/en-GB/news-events/33_europe-s-first-hybrid-rotor-r-tug-e-kotug-operating-in-port-of-rotterdam.html)

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a remolcadores	600,55	345,32	255,23 tn/año

### RECAPITULACIÓN DE EMISIONES DE REMOLCADORES EN ESCENARIO 2008, 2015 TENDENCIAL Y APICE

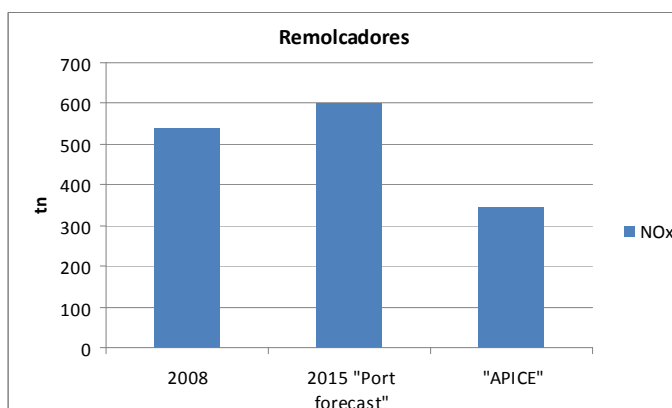


Fig. 3.11. Comparación de emisiones NO<sub>x</sub> de remolcadores en tres escenarios (Fuente): APICE

Como se observa en la figura, la conversión a gas natural de remolcadores tiene un impacto tendría un impacto muy positivo, llegando a disminuir las emisiones casi en un 50% respecto al escenario tendencial. En este escenario las emisiones son mayores que en 2008 debido a un incremento en la actividad portuaria.

## III.4. Transporte terrestre: camiones

### Introducción a la situación de emisiones de los camiones en el puerto

Según datos de la APB, diariamente acceden al puerto de Barcelona aproximadamente 4.500 camiones, gran parte de ellos de manera regular y la gran mayoría de ellos diésel. En 2008, 32.687.121 tn de mercancías fueron transportadas en camión, suponiendo el 98,3% (el resto es transportado en tren o tubería). En ese año, la APB aprobó la normativa Proatrans del transporte de contenedores en el Puerto de Barcelona, por el que camiones con menos emisiones tenían ciertas ventajas (como facilidad en el parking), pero fue anulada por motivos legales ajenos a los ambientales y actualmente la APB no regula el tráfico de camiones en función de su categoría Euro según la clasificación europea de emisiones.

### Medida 3.1. Conversión de camiones a GNC y GNL

#### Estado del arte

Aprovechando el potencial del gas natural en el puerto, el GNC y GNL pueden verse como combustibles de futuro con una generación mucho menor de emisiones. El mercado ya ofrece modelos de tractoras para dichos combustibles. El exitoso caso de sustitución de autobuses en Barcelona por autobuses propulsados a gas natural debería ser un ejemplo para seguir esta línea en el transporte de mercancías en el puerto. Además, Barcelona ya cuenta con infraestructura suficiente de estaciones para suministrar gas natural a camiones.

#### Descripción de la medida

La medida consistiría en la implementación de un programa piloto al que algunas empresas de transportistas se podrían suscribir para sustituir sus motores diésel a dual. Para ello, contarían con el

apoyo de empresas suministradoras de gas natural y la administración, ya que existen programas de incentivo económico para la adquisición de vehículos menos contaminantes.



Foto. Modelo de tractora SCANIA propulsado con GNC (Fuente: SCANIA)

### Efecto de la medida

El efecto global del plan APICE respecto a emisiones de camiones se estudia de manera al final del presente capítulo.

## Medida 3.2. Conducción eficiente en el ámbito portuario

### Estado del arte

En noviembre de 2011, la Zona de Actividades Logísticas (ZAL) del Port de Barcelona y la asociación Barcelona Catalunya Centre Logístic (BCL) firmaron convenios de colaboración con el Institut Català de l'Energia (ICAEN) para fomentar el ahorro y la eficiencia energética en el sector de la logística y del transporte de Barcelona y Cataluña. Los convenios de colaboración tienen el objetivo de potenciar la competitividad del sector logístico y del transporte mediante el ahorro energético y la mejora de la eficiencia energética, reduciendo su impacto en el medio ambiente, al tiempo que posicionan la ZAL como plataforma logística referente en excelencia ambiental.

Además, la ZAL y BCL firmaron un acuerdo de colaboración con el Reial Automòbil Club de Catalunya (RACC) en octubre de 2011, por el que se ofrece a las empresas integrantes de estas entidades logísticas ventajas para realizar, entre otros:

- Planes de Movilidad para empresas y trabajadores (planes de gestión eficiente de flotas y empresas y planes de desplazamientos de trabajadores)
- Conferencias de Movilidad Sostenible
- Cursos de Conducción Eficiente para vehículos turismo e industrial



La conducción eficiente de camiones puede reducir el uso de combustible en aproximadamente un 12%. En condiciones normales, un transportista gasta entre 2.000 y 3.000 euros al mes en combustible, por lo que el porcentaje de reducción puede tener un importante impacto positivo en sus ingresos.

La experiencia indica que hay que trabajar directamente con los beneficiarios potenciales y explicarles en qué consisten las acciones y los beneficios que pueden tener. Hay varios niveles en los que actuar para lograr una conducción más eficiente:

- Conducción eficiente del vehículo. Esto depende de la actitud del chófer del camión

- A nivel del vehículo:
  - Un vehículo más aerodinámico puede reducir un 6% de combustible, especialmente con unas estructuras deflectoras que se colocan sobre la parte posterior del contenedor.
  - Presión adecuada de los neumáticos
  - Centralita electrónica, para adecuar las marchas y la potencia al modo de conducción, permite reducir hasta un 8% el consumo.
- A nivel de ruta, se puede intervenir sobre los sistemas de gestión de rutas y horarios.

### Descripción de la medida

Los cursos de conducción eficiente todavía están en fase de sensibilizar y atraer a transportistas, que se interesen por los cursos. Es fácil llegar a flotas de empresas que operan en la ZAL, pero más difícil a transportistas autónomos.

La ZAL explicará y formará sobre estos elementos a las flotas que operan en el puerto, tanto propias de marcas como autónomos. Se explorará un sistema de microcréditos para financiar inversiones en transportistas autónomos. La ZAL organizará jornadas para promover esta iniciativa. A través de CBL se pretende abarcar toda la flota de camiones, incluyendo la del transporte de contenedores. La implementación de esta medida puede incluir la explicación de un eventual programa de introducción del gas natural en camiones, descrito en la medida anterior.

### Efecto de la medida

Esta medida tiene un efecto en la zona metropolitana del Barcelona y no es específica para emisiones dentro del puerto. En esta fase de implementación es difícil evaluar el efecto de la medida, ya que el plan en sí todavía no está en fase operativa. Sin embargo, es importante tener en cuenta el potencial de reducción del consumo de combustible, estimado en 12%, y por tanto debe ser considerada como una medida importante para reducir emisiones del transporte terrestre portuario.

## Medida 3.3. Sistemas lava-ruedas

### Estado del arte

De acuerdo a los resultados de la campaña de monitoreo de calidad del aire de APICE, los viales, junto a las obras, son una fuente importante de contribución a la contaminación por partículas. Ello se debe a que el paso de vehículos produce resuspensión de las partículas ya depositadas. El Puerto de Barcelona cuenta con un sistema de máquinas barredoras aspiradoras para mitigar este problema.

### Descripción de la medida

Según el documento *Estudios de Medidas Atenuantes y correctoras de las emisiones a la atmósfera provocadas por actividades portuarias*<sup>27</sup> del Proyecto HADA en el que participó la Autoridad Portuaria de Barcelona junto con el Organismo Estatal de Puertos del Estado y distintas Autoridades Portuarias, existen diferentes métodos que reducen el desprendimiento de materiales en los viales, y por consiguiente, evitan el arrastre de partículas por el viento:

- Sistema lava-ruedas con rodillos que permiten eliminar la suciedad incrustada. Se hace girar las ruedas sobre unos rodillos que desprenden la suciedad. Tanto el tiempo como el volumen de agua de lavado se puede regular en función de la necesidad.

<sup>27</sup> Disponible en:

<http://www.portonovoproject.org/clubUploads/fckeditor/port/file/Good%20Practice%20Documents/Specific/3%20Bulk%20Storage/emisiones%20a%20la%20atmosferaprovocades-2005.pdf>





Foto. Sistema lava-ruedas (Fuente: Puertos del Estado)

- Sistema de paso, si el material es fino y la suciedad es relativamente poca, se puede instalar un sistema que elimine el material con una intensa difusión de agua. La conducción optimizada del agua se realiza a través de soportes de difusor de gran tamaño. Estos difusores permiten cubrir un área mayor. Así mismo, el diámetro de las boquillas es mayor, lo que evita la obturación de los mismos. La conducción se realiza mediante una instalación en circuito cerrado galvanizada para evitar la corrosión.

El área de lavado es variable, permitiendo lavar camiones de diferente tamaño tanto en longitud como en anchura (4 m; 6,67 m; 8 m, además son adaptables a longitudes especiales). La estimación del coste de la instalación dependerá del modelo y tamaño de instalación, así como el número de bombas que contenga, estimándose un rango de coste que va desde los 26.000 € a los 63.000 €.

Una alternativa a estos sistemas a considerar serían los lechos de grava, tal y como apunta la Generalitat para las actividades extractivas<sup>28</sup>.

#### Efecto de la medida

La potencial reducción de emisiones no se ha tenido en cuenta para los escenarios ya que no ha sido posible asignar una cantidad de emisiones de material particulado para esta fuente difusa.

#### Efectos de las medidas referentes a tráfico terrestre de camiones

Se ha calculado el efecto del conjunto de medidas referentes a camiones y teniendo en cuenta la distribución modal con el tren. Así, se tiene en cuenta para el escenario APICE una distribución del 85% de mercancías transportadas en camión, en comparación con el escenario tendencial 2015 desarrollado por la Generalitat en el que se le asigna el 86,1% de las mercancías. La mejora en los accesos a las terminales contenedores tiene como efecto un menor tiempo de los camiones en la zona portuaria (un 12,5% menos tiempo respecto al escenario tendencial), y por tanto una disminución de sus emisiones. Finalmente, la mejora tecnológica de los camiones, sobre todo con la introducción de camiones de gas natural, tendrían un efecto en la reducción del factor de emisión, estimado en un 15% para NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>. La siguiente tabla muestra las emisiones evitadas con la aplicación de las medidas APICE.

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a camiones	493,86	452,70	41,16 tn/año
Emisiones PM <sub>10</sub> asociadas a camiones	21,22	19,45	1,77 tn/año

<sup>28</sup> Disponible en:

<http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.198a6bb2151129f04e9cac3bb0c0e1a0/?vgnnextoid=d60be3c3f338c210VgnVCM2000009b0c1e0aRCD&vgnnextchannel=d60be3c3f338c210VgnVCM2000009b0c1e0aRCD&vgnnextfmt=default>

**RECAPITULACIÓN DE EMISIONES DE CAMIONES EN ESCENARIO 2008, 2015 TENDENCIAL Y APICE**

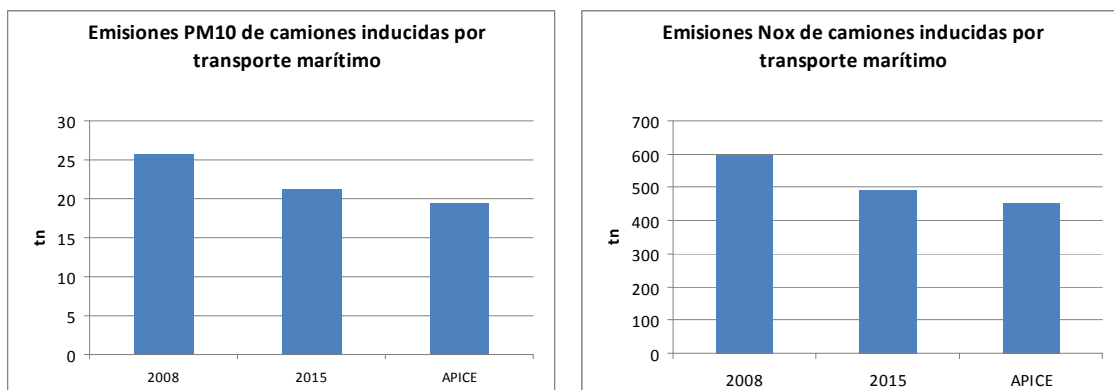


Fig. 3.12. Comparación de emisiones de camiones en tres escenarios (Fuente: APICE)

Como muestran las figuras, las emisiones del escenario tendencial 2015 son inferiores a las de 2008, incluso habiendo un incremento en el tráfico de mercancías en el puerto. Ello se debe a la distribución modal, que pasa del 98,3% al 86,1% por el aumento del transporte por ferrocarril proyectado. En el escenario APICE las emisiones son menores por un mayor transporte por ferrocarril, más agilidad en el tráfico viario y mejoras tecnológicas en camiones.

**III.5. Transporte terrestre: trenes**

**Introducción a la situación de emisiones de los trenes en el puerto**

El Puerto de Barcelona ha dedicado grandes esfuerzos al desarrollo del ferrocarril como opción de transporte terrestre en el puerto, por sus ventajas estratégicas, económicas y ambientales, sobre todo con la implementación del Plan Director Ferroviario del Puerto de Barcelona<sup>29</sup>. La siguiente imagen muestra el nuevo sistema ferroviario del puerto.

<sup>29</sup> Disponible en: <https://www.portdebarcelona.es/wps/wcm/connect/9623920049290d02a97bb973eb65d2bd/PlanDirectorFerrov.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=9623920049290d02a97bb973eb65d2bd>



Fig. 3.13. Nuevos accesos y terminales ferroviarias del puerto de Barcelona (Fuente: APB)

La mercancía transportada por ferrocarril ha aumentado considerablemente, sobre todo en el caso de contenedores. La figura 3.14 muestra su evolución desde 2006.



Fig. 3.14. Evolución de la cuota ferroviaria de contenedores en el puerto de Barcelona (Fuente: APB)

La siguiente figura muestra la situación en 2010, especificando el destino de la mercancía.

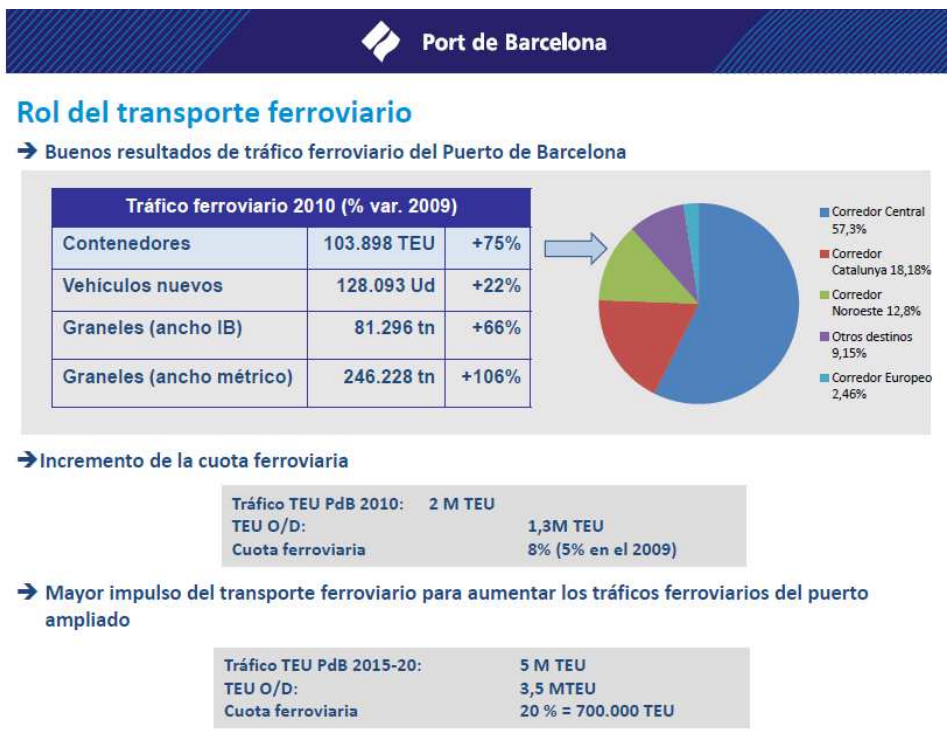


Fig. 3.15. Datos de tráfico ferroviario en el puerto de Barcelona en 2010 (Fuente: APB)

Es interesante conocer las unidades de mercancía transportadas por tren, mostradas en la siguiente tabla (datos de 2011). Hay que notar que los trenes trabajan a máxima capacidad, por lo que un aumento de la mercancía supone un aumento de la circulación de trenes.

	Num trens	Ratio Sortida Unitats/tren	Ratio entrada Unitats/tren	Ratio Sortida tn/tren	Ratio entrada tn/tren
Contenedores EU (TEU/tren)	222	42,6	14,2	553,6	184,7
Contenedores (TEU/tren)	3032	46,5	46,1	604,2	599,6
Automobilis SEAT (Veh./tren)	1034	0,0	175,3	0,0	210,3
Automobilis (Veh./tren)	800	6,8	179,8	8,2	215,7
Granel solid (tn/tren)	896	0,0	838,4	0,0	838,4
Granel liquid (tn/tren)	188	823,1	0,0	823,1	0,0

Finalmente, el Puerto de Barcelona prevé el ratio de transporte terrestre camión/tren para 2015 como indica la figura siguiente (% de mercancía en ferrocarril), considerando el comercio de vehículos nuevos y contenedores (con escenarios optimista y pesimista).

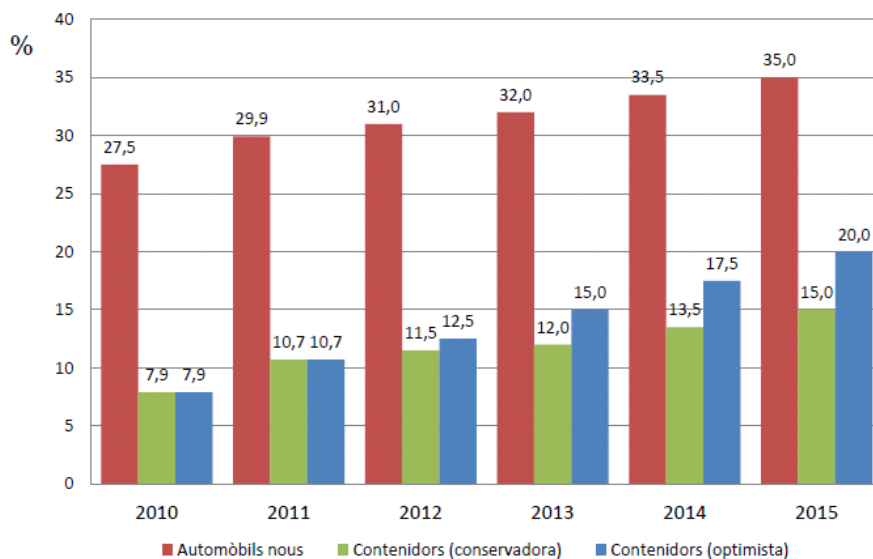


Fig. 3.16. Evolución estimada de la cuota ferroviaria (Fuente: APB)

## Medida 4.1. Aumento de la cuota de mercado

### Estado del arte

Como se ha indicado en la introducción, el ferrocarril ha ido ganando terreno al camión en los últimos años, y se espera que su uso siga aumentando en el futuro. Además de la infraestructura construida y mejoras en las operaciones, hay un ámbito clave para el aumento de la cuota de mercado: el comercial. Se trata de ganar más clientes que utilicen este medio de transporte. El Puerto de Barcelona, a través de su Departamento Comercial, trabaja continuamente estos aspectos.

Una estrategia a destacar para aumentar la cuota del ferrocarril es la aplicación de una política de tasas que favorece el transporte ferroviario. La ley española 33/2010 aplica un descuento del 25% y la Autoridad Portuaria aplica el máximo del 40% de descuento al elegir el transporte por tren. En el caso de régimen simplificado, el descuento para transporte de contenedores resulta en:

- Contenedores de 20 pies: 11,16€
- Contenedores de 40 pies: 16,74€

Estos descuentos tienen un impacto directo en el cliente final, y significan un no ingreso de aproximadamente 15 millones de euros para la Autoridad Portuaria, lo que demuestra su compromiso férreo hacia el ferrocarril<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Para más información sobre descuentos, visitar <http://www.portdebarcelona.cat/ca/web/port-dels-negocis/bonificaciones>



Foto: Transporte de contenedores por ferrocarril en el Puerto de Barcelona (Fuente: APB)

### Descripción de la medida

La medida consiste en intensificar las misiones comerciales para ganar más clientes que utilicen el ferrocarril en lugar del camión, aprovechando la extensa red existente y la oferta comercial de trenes.

### Efecto de la medida

El efecto combinado de las medidas de esta categoría se discute al final del capítulo.

## Medida 4.2. Incorporación de locomotoras de gas natural

### Estado del arte

Las locomotoras que operan en el puerto son diésel, aunque la mayoría electrificadas una vez fuera del puerto, en la estación de Can Tunis. Por tanto, las emisiones corresponden sólo a los trayectos en el recinto portuario. Para los trenes que transportan coches de/a la factoría SEAT, la tracción es diésel hasta Sant Boi (a unos 3 km de distancia del puerto) y desde allí la tracción es eléctrica. Los graneles sólidos son transportados en totalidad por tracción diésel a las minas de potasa de Súa.

### Descripción de la medida

Si bien existen diferentes opciones respecto a tecnologías de reducción de emisiones y combustible alternativos, APICE propone también la introducción del gas natural en las locomotoras que operan dentro del puerto como tractores, ya sea por sustitución o por conversión. El uso del gas natural como alternativa al combustible diésel puede ser aplicado a la flota existente de locomotoras con un coste-beneficio relativamente efectivo. Las emisiones de NO<sub>x</sub> pueden reducirse hasta en un 78%. Un co-beneficio de la tecnología dual de combustible es la de tener flexibilidad para operar completamente con diésel si no hay gas natural disponible. El coste de reemplazar un motor de locomotora diésel por un motor dual diésel o de gas natural oscila entre 300.000 y 600.000€ (EFEE, 1995<sup>31</sup>, Bailey & Solomon, 2004<sup>32</sup>).

<sup>31</sup> Engine, Fuel, and Emissions Engineering, Inc. (EFEE 1995). "Controlling Locomotive Emissions in California Technology, Cost-Effectiveness, and Regulatory Strategy," ARB Contract No. A032-169 & 92-917, March 1995. Disponible en: <http://www.hewlett.org/uploads/files/ClearingTheAir.pdf>

<sup>32</sup> Bailey & Solomon (2004). Pollution prevention at ports: clearing the air. Environmental impact assessment review, ISSN 0195-9255, Nº. 7, 2004, págs. 749-774

### Efecto de la medida

El efecto global del plan APICE respecto a emisiones de trenes se estudia de manera global al final del presente capítulo.

### Efectos de las medidas referentes a trenes

Se ha calculado el efecto combinado de las dos medidas referentes a trenes. Una mayor incidencia en los aspectos comerciales podría elevar la cuota de ferrocarril más de lo previsto, estimada para el escenario en 15% (mientras que el escenario de la Generalitat lo estima en 13,9%). Por otra parte, la implementación de medidas tecnológicas para reducir emisiones de locomotoras operando el diésel, sobre todo incidiendo en la posibilidad del gas natural, disminuiría las emisiones en el futuro. Puesto que la sustitución de locomotoras es más lenta que la de camiones, se considera una disminución del factor de emisión de NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> en un 10% (en el caso de camiones, se consideraba una disminución del 15% en el escenario APICE). Así, la siguiente tabla muestra el ahorro de emisiones respecto al escenario tendencial 2015.

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a trenes	26,85	26,08	0,77 tn/año
Emisiones PM <sub>10</sub> asociadas a trenes	0,52	0,50	0,02 tn/año

### RECAPITULACIÓN DE EMISIONES DE TRENES EN ESCENARIO 2008, 2015 TENDENCIAL Y APICE

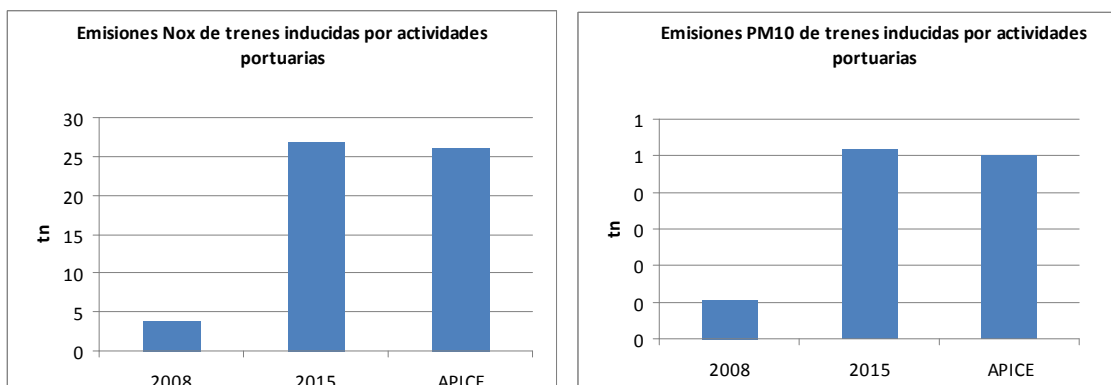


Fig. 3.17. Emisiones de los trenes en tres escenarios (Fuente: APICE)

Como puede apreciarse, la reducción de emisiones respecto al escenario tendencial es mínima. Ello se debe al mayor número de trenes en circulación que compensa la menor emisión por locomotora. Sin embargo, lo más interesante es considerar el global de emisiones de transporte terrestre inducido por la actividad portuaria.

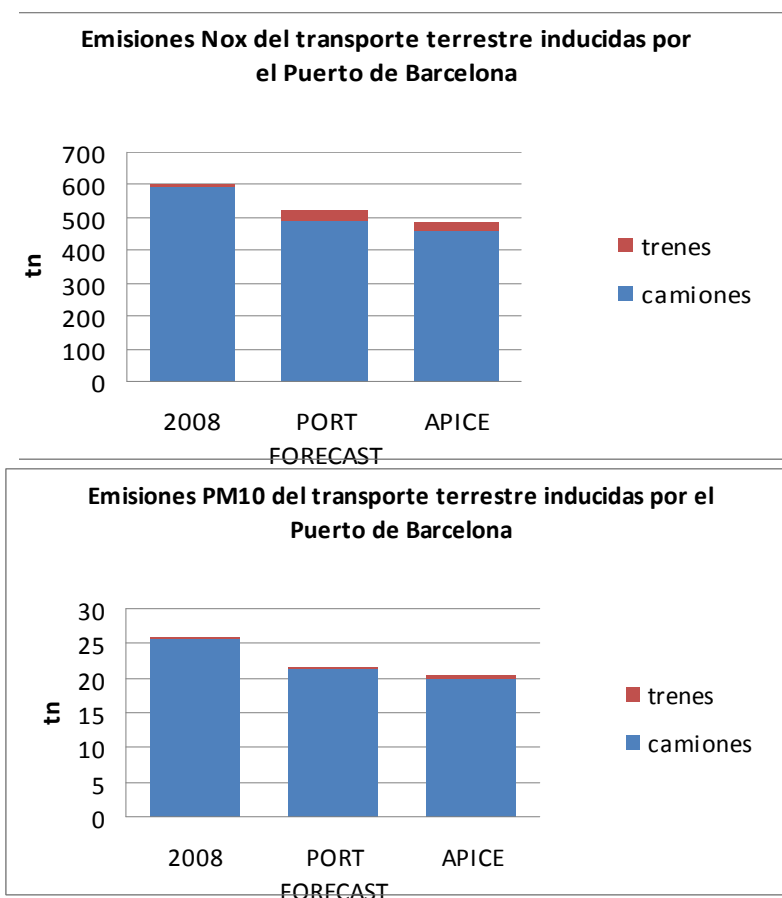


Fig. 3.18. Emisiones del transporte terrestre inducido por el puerto de Barcelona en tres escenarios (Fuente: APICE)

### III.6. Maquinaria de manipulación de mercancías

#### Introducción a la situación de emisiones de la maquinaria de manipulación de mercancías en el puerto

En este sector de emisión nos centramos en las tres terminales de contenedores, TCB, Muelle Príncipe de España y Muelle del Prat (éstas dos últimas operadas por TERCAT), donde se concentra el mayor número de maquinaria de manipulación de mercancías. A modo de ejemplo, la siguiente tabla muestra la maquinaria utilizada en la terminal de TCB.

MAQUINARIA	NÚM.
Container Cranes Babcock & Wilcox Panamax	3
Container Cranes Paceco Panamax	2
Container Cranes ZPMC Panamax	1
Container Cranes Konecranes Super Post-Panamax	5
Container Cranes ZPMC Super Post-Panamax	3
Straddle Carriers Sisu/Valmet (3-HIGH)	19
Straddle Carriers Kalmar (4-HIGH)	33
Straddle Carriers Noell (4-HIGH)	12
Reach Stackers Sisu/kalmar	2
Empty Container Forklifts Sisu /Kalmar/Fantuzzi	9
Extra complementary equipment (forklifts)	31



TCB ha invertido en la instalación de catalizadores en algunas máquinas. La mayor parte de la actividad se hace con maquinaria que ha sido mejorada y las más antiguas sólo se utilizan cuando hay una punta de trabajo.

Respecto a la terminal de Muelle del Prat de TERCAT, hay que señalar que es semiautomatizada, lo que significa la gran parte de su maquinaria funciona con electricidad y va a asumir progresivamente la actividad de la terminal del muelle Príncipe de España, lo supone una reducción de sus emisiones puesto que la maquinaria diesel de esta terminal dejara de funcionar al ser sustituida por la eléctrica del muelle Prat.

Ambas compañías tienen sistemas de calidad que consideran el consumo de combustible y trabajan en una mayor eficiencia y disminución de sus emisiones.



Foto. Grúas de la Terminal Muelle Príncipe de España (Fuente: APICE)

## Medida 5.1. Sustitución/conversión de máquinas a gas natural

### Estado del arte

La sustitución de maquinaria diésel por versiones de gas natural puede reducir considerablemente las emisiones, incluyendo 50-80% de NO<sub>x</sub> y 90-95% de material particulado. Sin embargo, puede ser muy costosa. Los motores deben cumplir mínimos para su posible conversión o adaptación a gas natural, pero muchos tendrían que ser sustituidos completamente con un coste que oscila entre 23.000 y 54.500€. También se requeriría una estación de aprovisionamiento en el recinto portuario (que podría servir a otras operaciones que usan gas natural), con un coste entre 400.000 y 800.000€.

### Descripción de la medida

La medida consistiría en sustituir o convertir la maquinaria de la terminal de TCB, total o parcialmente según sea posible, de manera análoga a la medida de gas natural en remolcadores.

### Efecto de la medida

El escenario APICE considera la sustitución total de la maquinaria de la terminal de TCB por gas natural. Esto supondría una reducción del 50-80% de NO<sub>x</sub> y 90-95% del material particulado. Junto con la electrificación de la nueva terminal de TERCAT, ya considerada en el escenario tendencial 2015, el escenario APICE considera una reducción del 65% de NO<sub>x</sub> y 80% del material particulado respecto a las

emisiones de 2008. Así, la siguiente tabla muestra el ahorro de emisiones respecto al escenario tendencial 2015.

	Escenario tendencial 2015	Escenario APICE	Emisiones evitadas
Emisiones NO <sub>x</sub> asociadas a maquinaria de contenedores	84,28	53,63	30,65 tn/año



Foto: Maquinaria de manipulación de contenedores (Autor: Juanjo Martínez. Port de Barcelona)

**RECAPITULACIÓN DE EMISIONES DE MAQUINARIA DE CONTENEDORES EN ESCENARIO 2008, 2015 TENDENCIAL Y APICE**

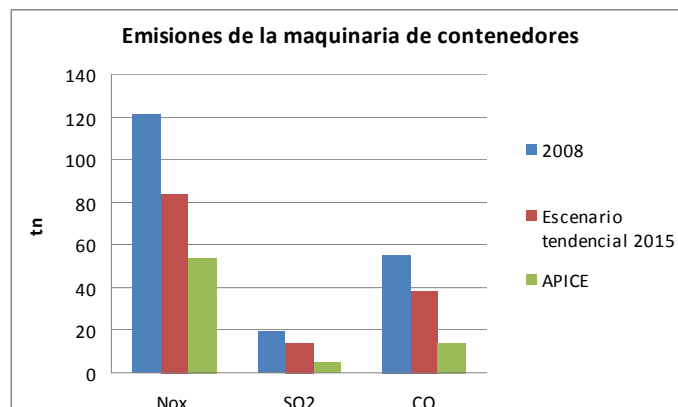


Fig. 3.19. Emisiones de la maquinaria de transporte de contenedores en tres escenarios (Fuente: APICE)

Las emisiones disminuyen en escenario tendencial debido a la entrada en funcionamiento del Moll del Prat, semiautomatizado. En el escenario APICE, la conversión a gas natural reduce todavía más estas emisiones.

## Medida 5.2. Otras estrategias de reducción de emisiones (tecnológicas, combustibles y operacionales)

Si bien la apuesta de APICE es la conversión a gas natural, existen otras medidas de tipo tecnológico, de combustible y operacional que pueden ser introducidas.

En cuanto a medidas de mejoras de los equipos para reducir emisiones a través de procesos químicos y físicos que cambian la composición de los gases de escape, cabe destacar:

- Filtros antipartículas
- Filtros antipartículas parciales
- Catalizador de oxidación diésel
- Catalizador de NO<sub>x</sub>
- Reducción catalítica selectiva
- Catalizador por absorción de NO<sub>x</sub>

En cuanto a opciones de combustible, también existen:

- Emulsiones diésel
- Biodiésel
- Diésel Fischer-Tropsch
- E-diésel

En cuanto a medidas operacionales, sería interesante introducir un programa de reducción de inactividad, que además ahorraría costes a la empresa. Estos programas se han introducido con éxito en los puertos de Nueva York y Nueva Jersey.

Un desarrollo resumido de estas medidas está recopilado en un estudio de medidas potenciales para el área de Sidney, Australia: *Potential measures for air emissions from NSW ports* (State of NSW and the Office of Environment and Heritage, 2011), disponible en: <http://www.environment.nsw.gov.au/resources/air/PortsPreliminaryStudy.pdf>. Este completo estudio incluye una estimación de la reducción de las emisiones, el coste de implementar las medidas y la visión de los agentes implicados.

## III.7. Manipulación de graneles sólidos

### Medida 6.1. Aplicación de buenas prácticas desarrolladas por Puertos del Estado

El Puerto de Barcelona ha introducido considerables mejoras en la manipulación de materiales pulverulentos a granel, que se van a regular con una nueva ordenanza portuaria, y tal y como se recogía en el plan anterior de la Generalitat sobre calidad del aire. Por otro lado, está previsto el traslado de la terminal de graneles a otra zona del puerto, si bien todavía no hay un calendario para la actuación.

Esta medida consiste en la aplicación de la Guía de Buenas Prácticas en la Manipulación de Graneles Sólidos desarrollada con Puertos del Estado en el marco del proyecto

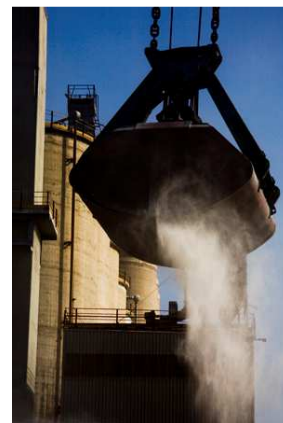


Foto: Pala manipulando mercancía a granel  
(Autor: Óscar Ferrer. Port de Barcelona)

HADA<sup>33</sup> a través de la nueva ordenanza portuaria, tanto en las nuevas instalaciones como en las existentes.

### III.8. Obras

#### Introducción a la situación de emisiones derivadas de las obras en el puerto



Foto: Panorama del puerto de Barcelona desde la Playa de San Sebastián (Autor: Nacho Vaquero. Port de Barcelona)

Recientemente el puerto de Barcelona ha llevado a cabo una importante ampliación de extensión e instalaciones. Las obras asociadas han tenido una incidencia notable en la emisión de partículas debido al movimiento de arenas y tráfico de camiones, tal y como queda en evidencia en la campaña de muestreo del aire llevada a cabo por APICE. No obstante, hay que señalar que se toman medidas correctoras como el riego de la zona. Además de estas obras, el recinto portuario acomete a menudo otro tipo de obras, ya sean de mantenimiento o pequeñas ampliaciones, por lo que conviene controlar las emisiones asociadas.

#### **Medida 7.1. Control de las emisiones de obras**

Tal y como recoge el plan 2011-2015 de mejora de la calidad del aire de la Generalitat para el caso de municipios, también habría que restringir las operaciones en el puerto en episodios ambientales de contaminación. La Direcció General de Qualitat Ambiental comunicaría a la Autoridad Portuaria la necesidad del cese de actividad, y ésta a su vez a las empresas encargadas de ejecutar las obras.

### III.9. Seguimiento de emisiones y calidad del aire

#### Introducción al seguimiento de emisiones y calidad del aire

La Generalitat de Catalunya es el organismo encargado de la evaluación de la calidad del aire en Catalunya a través de la Red de Vigilancia y Previsión de la Contaminación Atmosférica. Además, a través de su Oficina Técnica de Planes de Mejora de la Calidad del Aire, realiza periódicamente inventarios de emisiones como base de los planes de calidad del aire. El plan 2007-2010 establecía un sistema de seguimiento por el que la Autoridad Portuaria de Barcelona reportaba anualmente sobre los avances en cada una de las 8 medidas que afectaban al puerto. Por otra parte, el Puerto de Barcelona tiene su propia red de vigilancia de calidad del aire y emite informes anuales. Finalmente, cabe destacar

<sup>33</sup> La guía y más información está disponible en: <http://www.puertos.es/node/5503>

que varias empresas portuarias (como los remolcadores) realizan un seguimiento exhaustivo de sus operaciones y eficiencia energética en el marco de sus sistemas de calidad, por lo que son una fuente valiosa para realizar inventarios.

### Medida 8.1. Actualización periódica del inventario de emisiones

#### Estado del arte

En el Plan 2011-2015 de la Generalitat, la Oficina Técnica de Planes de Mejora de la Calidad del Aire se ha encargado de realizar el inventario de emisiones del puerto centrándose en el tráfico de buques, concretamente en la fase de maniobra y atraque en el puerto. El proyecto APICE, en estrecha colaboración con la Autoridad Portuaria y la Oficina Técnica ha ampliado este inventario para incluir otros contaminantes y fuentes relacionadas con la actividad portuaria: remolcadores y flota interna, maquinaria de terminales, graneles sólidos y tráfico terrestre. Así, el inventario de emisiones para el puerto en 2008 realizado por APICE para los contaminantes NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y NMVOC<sub>s</sub> se muestra en las siguientes figuras:

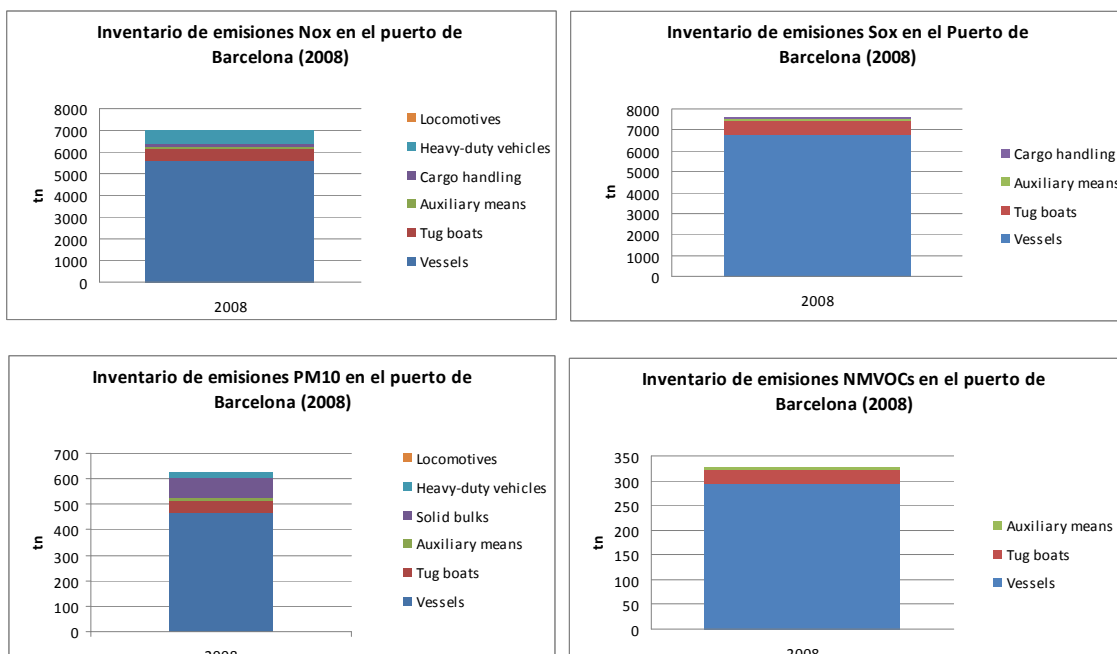


Fig. 3.20. Inventario de emisiones 2008 para el puerto de Barcelona (Fuente: APICE)

#### Descripción de la medida

Dada la posición de la Autoridad Portuaria y su accesibilidad a los datos, es la institución más adecuada para llevar a cabo dichos inventarios. El proyecto APICE pone a su disposición la hoja de cálculo utilizada para el inventario de 2008, que podría servir de base para próximos inventarios. Además, dicha hoja incluye los dos escenarios considerados por lo que esta herramienta puede seguir siendo utilizada. Los inventarios de emisiones deberían actualizarse al mismo tiempo que la Generalitat actualiza sus planes de mejora de calidad del aire, para compatibilizar los esfuerzos.

#### Efecto de la medida

El efecto combinado de las medidas de esta categoría se discute al final del capítulo.

## Medida 8.2. Modelización de la calidad del aire

### Estado del arte

El proyecto APICE ha desarrollado un sistema de evaluación de la calidad del aire mediante el modelo de dispersión CHIMERE. Las actividades de modelización se han realizado tanto sobre el escenario de emisión de 2008, como en el tendencial 2015 y APICE. Así, permiten constatar la incidencia de las medidas propuestas sobre los niveles de inmisión.

### Descripción de la medida

El proyecto APICE pone a disposición de la Generalitat y de la Autoridad Portuaria los datos de emisión utilizados para la modelización así como la cartografía generada. Estos datos podrán ser utilizados libremente para futuras modelizaciones que cualquiera de las dos entidades desee realizar en el futuro.

Además, cabe destacar que el equipo APICE ha participado en la propuesta de un proyecto que daría seguimiento a éste y consistiría en la evaluación económica una calidad del aire por debajo de niveles óptimos, teniendo en cuenta impactos en salud, agricultura y edificios, tomando como base los escenarios modelizados. En caso de ser aprobado dicho proyecto (Programa MED de capitalización), los resultados ofrecerían herramientas suplementarias para la toma de decisiones.

## Medida 8.3. Muestreo de la calidad del aire

### Estado del arte

El control periódico de la calidad del aire en las proximidades de las fuentes de emisión es una de las medidas más eficaces. El Puerto de Barcelona dispone de una red de control de diferentes contaminantes atmosféricos, siendo las partículas en suspensión ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) las más monitoreadas. En algunos de los puntos de observación se miden las concentraciones de algunos contaminantes gaseosos como óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). Mientras que las partículas en suspensión proceden de diferentes fuentes naturales y antrópicas, los óxidos de nitrógeno se emiten a partir de procesos de combustión (tráfico marítimo y terrestre, emisiones industriales), el dióxido de azufre se relaciona con el tráfico marítimo (si bien las concentraciones se han reducido sustancialmente desde la entrada en vigor de la Directiva 2005/33/EC), y el sulfuro de hidrógeno se libera durante algunos procesos industriales muy concretos.

En el puerto de Barcelona, la medida continuada de los diferentes contaminantes atmosféricos ha sido clave para la identificación de problemas concretos asociados a estas sustancias. Gracias a este control se han identificado las fuentes responsables y se han tomado las medidas oportunas para la mitigación de los efectos adversos.



Foto: Emisiones contaminantes a la atmósfera de actividades registradas en el puerto de Barcelona  
(Fuente: APICE)

### Descripción de la medida

El control de la contaminación atmosférica en el puerto de Barcelona debe continuar. Actualmente existen 7 estaciones fijas de control de las partículas en suspensión, más una estación móvil. Los niveles de contaminantes gaseosos se controlan en uno de los puntos fijos ( $\text{SO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ), aunque la unidad móvil dispone de numerosos analizadores para la medida de diferentes contaminantes gaseosos ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{COV}_s$ ).

Con respecto a las partículas en suspensión, y a la vista de los resultados obtenidos durante los últimos años, sería recomendable suprimir algunos de los puntos de medición de partículas (mantener 3 o 4 de los 7 puntos). Por contra, sería conveniente destinar recursos al mantenimiento de 2 emplazamientos bien instrumentados (partículas,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{COV}_s$ ). Es importante determinar las concentraciones de ciertos contaminantes atmosféricos ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{COV}_s$ ) dado que son precursores de partículas de origen secundario (sulfatos, nitratos, carbono orgánico), que en masa representan entre el 35-60% del  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .

El Puerto de Barcelona dispone de 2 emplazamientos bien ubicados para el control de dichos parámetros. Uno de estos emplazamientos funciona en la actualidad (Dársena Sud) aunque no dispone de todos los analizadores deseados. El otro emplazamiento está en proceso de implementación.



Foto: Estación de medida de la calidad del aire en el puerto (Autor: Óscar Ferrer. Port de Barcelona)

### Efecto de la medida

La medición continuada de los niveles de contaminación permite conocer el grado de cumplimiento de los umbrales establecidos para los diferentes contaminantes atmosféricos de acuerdo a la legislación nacional e internacional. Además, el estudio de series temporales extensas posibilita el estudio de tendencias y su relación con aspectos socioeconómicos, actividades portuarias y/o metropolitanas, aspectos tecnológicos, o la puesta en marcha de medidas correctoras.

## Medida 8.4. Estructura de colaboración sobre emisiones atmosféricas

### Estado del arte

Como queda patente en este capítulo, la Generalitat de Catalunya y la Autoridad Portuaria de Barcelona son dos actores clave en el control y seguimiento de las emisiones y calidad del aire del entorno portuario. Ambas entidades han colaborado en la identificación de medidas apropiadas para mitigar emisiones, así como compartiendo datos. La APB ha reportado anualmente a la Generalitat el avance en la implementación de las acciones incluidas en el plan 2007-2010, de manera narrativa y utilizando la hoja de cálculo proporcionada por la Generalitat.

Por otra parte, el proyecto APICE ha organizado reuniones con ambas instituciones en forma de “mesas de trabajo”. Han servido para validar resultados preliminares y trabajar conjuntamente.

### Descripción de la medida

APICE propone como medida la formalización de esta mesa de trabajo como herramienta de seguimiento del plan APICE y como estructura para consensuar las acciones necesarias de control y seguimiento de emisiones portuarias. En concreto, debería estar compuesta como mínimo por el Servicio de Seguridad Industrial y Medio Ambiente de la APB y la Oficina Técnica de Planes de Mejora de la Calidad del Aire de la Generalitat. Sería conveniente que otros departamentos de estos organismos asistieran a las reuniones por la transversalidad de la temática de la calidad del aire. En estas reuniones, que podrían tener carácter anual, se expondrían los avances en las medidas de control de las emisiones y se adaptaría el plan cuando fuera necesario.



### Efecto de las medidas referentes al seguimiento de emisiones y control de la calidad del aire

La implementación de este grupo de medidas por una parte debería conducir de una manera progresiva a conocer mejor la contribución del puerto a la calidad del aire del entorno metropolitano de Barcelona. Por otra parte, el trabajo conjunto de Generalitat y APB sería más efectivo y consensuado, facilitando así el seguimiento de las emisiones y la implementación de medidas de atenuación.

### III.10. Gobernanza, seguimiento y financiación del plan

El plan APICE ha sido desarrollado con un espíritu de consenso entre los socios del proyecto y los agentes implicados, especialmente la APB y la Generalitat de Catalunya. Estos dos organismos son los máximos encargados de su implementación y seguimiento. La Generalitat, a través de sus planes de mejora de calidad del aire, puede incluir estas medidas. La APB, a través de sus diferentes departamentos y normativas, puede favorecer o ejecutar algunas medidas como ha sido descrito en los capítulos precedentes. Ambos organismos estarían encargados de realizar el seguimiento del plan como se indica en la medida 8.4, y los socios de APICE en Barcelona, el Centro Mediterráneo EUCC y CSIC-IDÆA podrían contribuir de la manera considerada como más oportuna.

Respecto a las medidas que conciernen a empresas que operan en el puerto, los convenios de “Buenas Prácticas Ambientales” con la APB pueden ser una buena fuente de financiación. Cuando se establecen dichos convenios, las empresas tienen derecho a bonificaciones tal y como se describe en el Artículo 19 de la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general, modificada por la Ley 33/2010, de 5 de agosto:

*Artículo 19. Bonificaciones de las tasas de actividad y utilización.*

*1. Para incentivar mejores prácticas medioambientales, la Autoridad Portuaria aplicará las siguientes bonificaciones:*

*a) Cuando los buques acrediten el cumplimiento de unas determinadas condiciones de respeto al medio ambiente, mejorando las exigidas por las normas y convenios internacionales, y además, la compañía naviera o, en su caso, el armador, al que pertenece el buque tenga suscrito un Convenio con la Autoridad Portuaria en materia de buenas prácticas ambientales asociadas a las operaciones y a la permanencia de buques en puerto, a la cuota de la tasa del buque se aplicará una bonificación de un 5 por ciento.*



*Dicho Convenio deberá contemplar un conjunto de instrucciones técnicas y operativas, basado en las guías de buenas prácticas ambientales aprobadas por Puertos del Estado, cuyo cumplimiento operativo pueda ser verificado mediante un sistema de gestión medioambiental. El cumplimiento por el buque de las normas y convenios internacionales en esta materia deberá estar certificado por entidades de certificación acreditadas para ello por organismos pertenecientes a la International Accreditation Forum. El cumplimiento del Convenio suscrito se acreditará por parte de la Autoridad Portuaria.*

*b) Cuando el titular de una autorización para prestar el servicio portuario de manipulación de mercancías, o el titular de la concesión o autorización de una terminal de manipulación de mercancías cumpla los requisitos que se citan posteriormente se aplicarán las siguientes bonificaciones a la cuota de la tasa de actividad:*

*Con carácter general: 15 por ciento.*

*A la parte de la cuota de la tasa correspondiente a tráfico manipulado de graneles sólidos o líquidos: 20 por ciento.*

*c) Cuando el titular de una concesión o autorización realice actividades pesqueras, náutico-deportivas o de construcción, reparación, transformación o desguace de buques, se aplicará una bonificación del 15 por ciento a la cuota íntegra de la tasa de actividad.*

*De acuerdo con lo mencionado anteriormente en los apartados b) y c), los requisitos que debe cumplir el titular de la autorización o concesión, en su caso, serán los siguientes:*

*1.º Tener suscrito un Convenio con la Autoridad Portuaria en materia de buenas prácticas ambientales. Dicho Convenio deberá contemplar un conjunto de instrucciones técnicas y operativas cuyo cumplimiento pueda ser verificado mediante un sistema de gestión medioambiental, basado en las guías de buenas prácticas ambientales aprobadas por Puertos del Estado, cuyo alcance comprenda la totalidad de los tráficos manipulados.*

*2.º Estar inscrito en el registro del sistema comunitario de gestión y auditoría ambiental (EMAS) o tener implantado un sistema de gestión ambiental basado en UNE-EN-ISO-14001 certificado por una entidad acreditada a tal efecto por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), y cuyo alcance comprenda todos aquellos servicios relacionados con la actividad objeto de autorización o concesión.*

Con el fin de poder dar cumplimiento a lo indicado en el citado artículo, Puertos del Estado ha elaborado un borrador de las citadas "Guías de Buenas Prácticas Ambientales"<sup>34</sup>.

Respecto a las medidas de carácter energético y combustible, empresas suministradores de gas podrían financiar la conversión o sustitución de algunas unidades como proyectos piloto. Asimismo, el ICAEN podría apoyar este tipo de acciones. En cualquier caso, las empresas portuarias también deberían participar en estos esfuerzos que a medio y largo plazo tendrían aspectos positivos en cuanto a gastos operacionales.

Finalmente, es importante destacar la disponibilidad de fuentes de financiación europeas para implementar algunas acciones. Por ejemplo, la APB ya ha movilizado más de un millón de euros para mejorar la red ferroviaria interna del puerto a través de TEN-T, entre otros proyectos. El caso del GNL parece de los más adecuados a dicha financiación.

### **III.11. Escenarios futuros de emisión e inmisión en el área metropolitana de Barcelona**

El proyecto APICE ha seguido el mismo enfoque que la Generalitat de Catalunya respecto a la evolución de las emisiones. Como queda patente en este plan, APICE ha evaluado las fuentes de emisión derivadas

<sup>34</sup> Disponible en: <http://www.puertos.es/content/guia-de-buenas-practicas-ambientales>

del transporte marítimo y actividad portuarias. Por su parte, la Generalitat evalúa el conjunto de fuentes de emisión, incluyendo generación de energía, calefacción, transporte terrestre, actividades extractivas, etc.

Es interesante combinar ambas evaluaciones y constatar cómo APICE puede contribuir a los esfuerzos de la Generalitat para estimar y reducir las emisiones totales del área afectada por el plan de mejora de la calidad del aire. De este modo, las emisiones estimadas para el transporte marítimo de la Generalitat han sido afinadas con los estudios de APICE, añadiendo fuentes de emisión del puerto y ajustando las del escenario tendencial y del plan de mitigación. La siguiente tabla compara la estimación de emisiones para el transporte marítimo.

	Generalitat	APICE
<b>NO<sub>x</sub></b>		
2008	5.602,60	6.464,08
Tendencial	5.609,90	7.157,98
Plan	5.609,90	6.266,97
Reducción tendencial-plan	0%	12%
<b>PM<sub>10</sub></b>		
2008	469,2	607,79
Tendencial	473,2	449,69
Plan	473,2	390,97
Reducción tendencial-plan	0%	13%

Tabla. Comparación de emisiones (en tn) del transporte marítimo ente los estudios de APICE y la Generalitat (Fuente: Generalitat de Catalunya y APICE)

Como puede observarse, las emisiones de partida de 2008 son mayores en el caso de APICE ya que la Generalitat sólo considera el tráfico de buques mientras que APICE completa el inventario de emisiones con otras fuentes portuarias. El plan de la Generalitat no contempla cambios entre el escenario tendencial y el plan, de hecho se incrementan en muy poco en comparación con las emisiones de 2008. En el caso del plan APICE, las emisiones de NO<sub>x</sub> en el escenario tendencial son mayores porque se tienen en cuenta más fuentes de emisión y el incremento de actividad del puerto. Sin embargo, las medidas del plan consiguen reducir las emisiones a niveles inferiores a los de 2008, y reducen un 12% las emisiones respecto a la tendencia estimada de 2015. En cuanto al PM<sub>10</sub>, el escenario tendencial de APICE considera una reducción de las emisiones como consecuencia de medidas ya tomadas o previstas, y una reducción suplementaria con las medidas de APICE. En este caso, APICE reduciría considerablemente la contribución del sector marítimo a la contaminación por partículas del área metropolitana de Barcelona.

Las siguientes figuras y muestran todas las fuentes de emisión en los tres escenarios para NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>. Las emisiones marítimas consideradas son las de APICE, mientras que el resto son datos de la Generalitat.

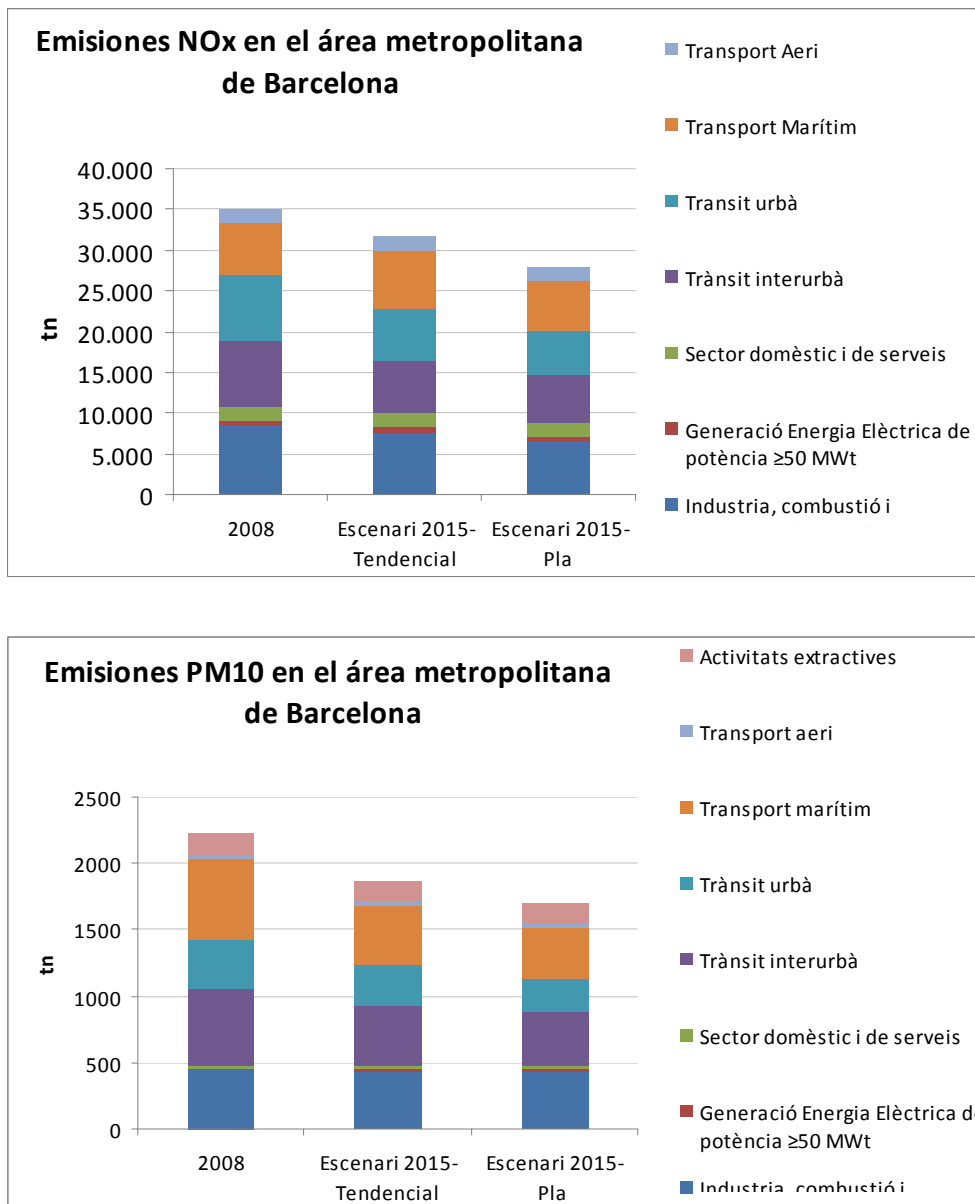


Fig. 3.21. Escenarios de emisión en el área metropolitana de Barcelona (Fuente: Generalitat de Catalunya y APICE)

Así, considerando todos los sectores, el escenario de implementación del plan de la Generalitat y el de APICE refleja unas reducciones del 12% y 9% de los NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub> respectivamente, respecto al escenario tendencial. Si consideramos la reducción de emisiones entre 2008 y la implementación del plan, la reducción es en ambos casos del 18%.

Para evaluar el impacto de las medidas de mitigación portuarias, los resultados de CHIMERE están basados en simulaciones de resolución 0.5 km y cubren los cuatro escenarios descritos en la fase de análisis (página 14). La figura 3.22 y 3.23 presenta los cambios en el PM en el área de Barcelona para un periodo estival (datos meteorológicos de agosto 2011) según los escenarios futuros de tendencia y mitigación. Los máximos descensos en los niveles medios de PM ocurren sobre el área litoral, donde valores de PM<sub>10</sub> de hasta 80.3 µg m<sup>-3</sup> en el escenario base presente (emisiones año 2008) se reducen a 66.3 µg m<sup>-3</sup> en el escenario base 2015 (pronóstico del puerto + tendencia Generalitat). Por otra parte, al comparar el escenario de mitigación con el escenario base futuro, encontramos reducciones máximas en los niveles de PM<sub>10</sub> alrededor del -10.2% en el área del puerto (reducciones muy similares, -11.3%, se modelizan en el caso de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>). Como promedio del dominio entero del modelo, se observa una reducción de PM10 (PM<sub>2.5</sub>) de alrededor del -6.1% (-6.3%) en este escenario de mitigación. Resultados análogos se observan en el escenario de mitigación APICE + Plan Generalitat para

2015, donde las reducciones máximas a sotavento de la zona portuaria alcanzan los -12.8% y -11.9% para las reducciones máximas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, en ese orden (-5.7% y -5.4% para el promedio del dominio entero de modelización). Eso indica que la mayor parte de la reducción de las emisiones proviene de las medidas de mitigación en el puerto y no del resto de las emisiones previstas para las actividades de otras fuentes.

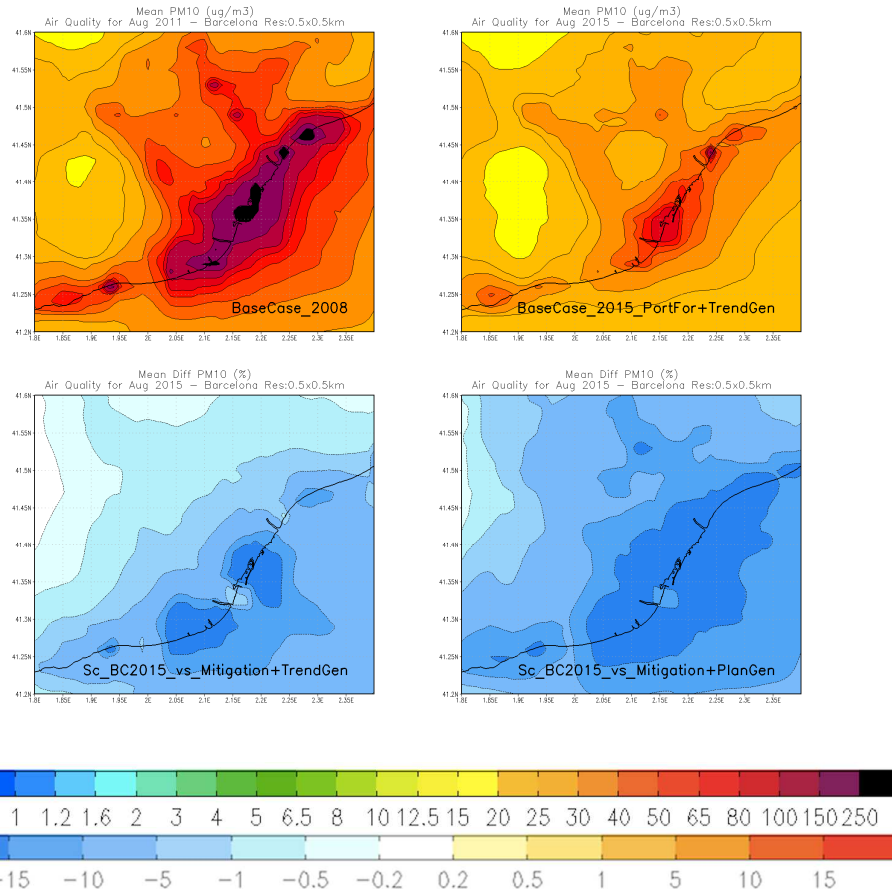


Figura 3.22. Modelización de la contaminación atmosférica y evolución futura en diferentes escenarios. El mapa de arriba a la izquierda, indica las concentraciones de PM10 en  $\mu\text{g m}^{-3}$  en agosto de 2011. Arriba a la derecha, se indican las concentraciones para el escenario tendencial 2015, donde se pone de manifiesto un ligero descenso de las concentraciones. Los mapas de abajo muestran dos escenarios de mitigación con la diferencia en porcentaje respecto al escenario 2015. A la izquierda se muestran las reducciones conseguidas por APICE, mientras que a la derecha, la combinación de la implementación del Plan de la Generalitat y el Plan APICE (Fuente: APICE)

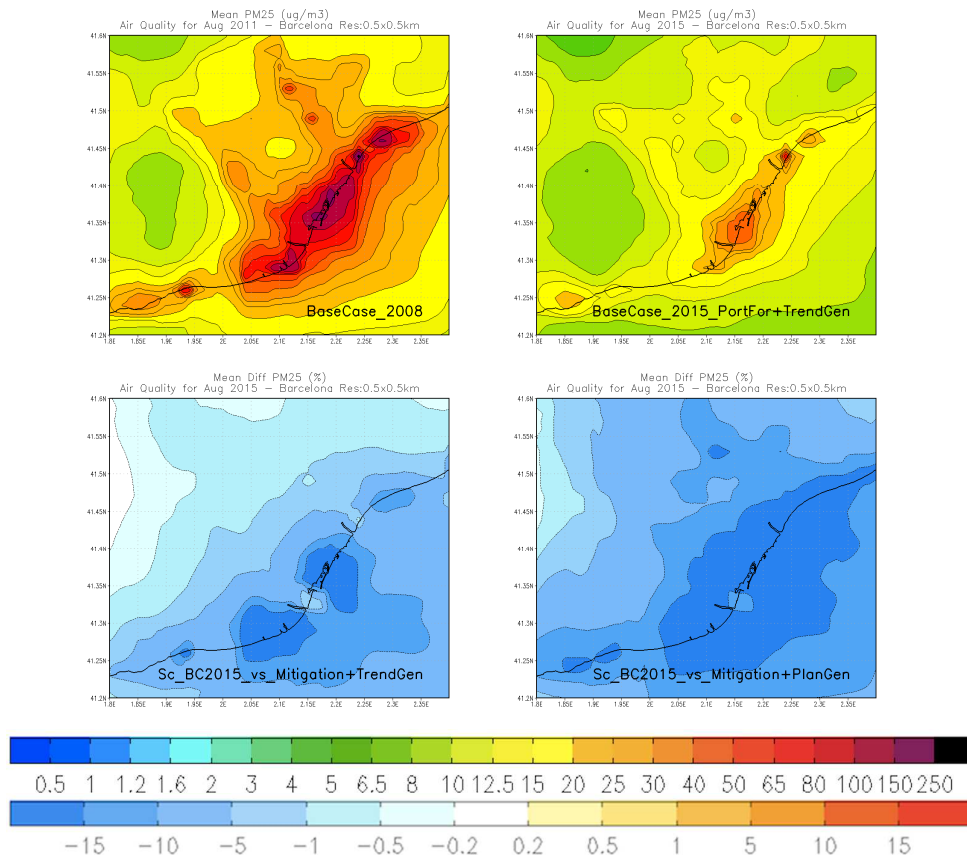


Figura 3.23. Id. a figura 2.6 para el caso del PM<sub>2.5</sub> (Fuente: APICE)

Similares resultados se obtienen para Barcelona en los meses de invierno (simulaciones utilizando la meteorología de diciembre de 2011). La máxima disminución en los niveles de material particulado medio (Figura 3.24 y 3.25) se produce sobre las zonas costeras, y especialmente en el puerto de Barcelona, donde las reducciones máximas de PM<sub>10</sub> alcanzan el -10.3%, en el escenario incluyendo las medidas de mitigación definidas en APICE en comparación con el escenario base futuro. Los resultados son similares para las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, donde reducciones de -9.9% se modelizan como variaciones máximas. Cuando se considera la media en el dominio BCN005, se observa una reducción de PM<sub>10</sub> (PM<sub>2.5</sub>) niveles en torno a -5.6% (-5.2%) en el escenario mitigación APICE + Tendencia Generalitat. Resultados similares se observan en el escenario de mitigación APICE + Plan Generalitat, donde las reducciones máximas se encuentran cerca del puerto: -10.6% y -10.1% para las disminuciones máximas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, respectivamente (-5.2% y -4.9% como promedio en todo el dominio de modelización).

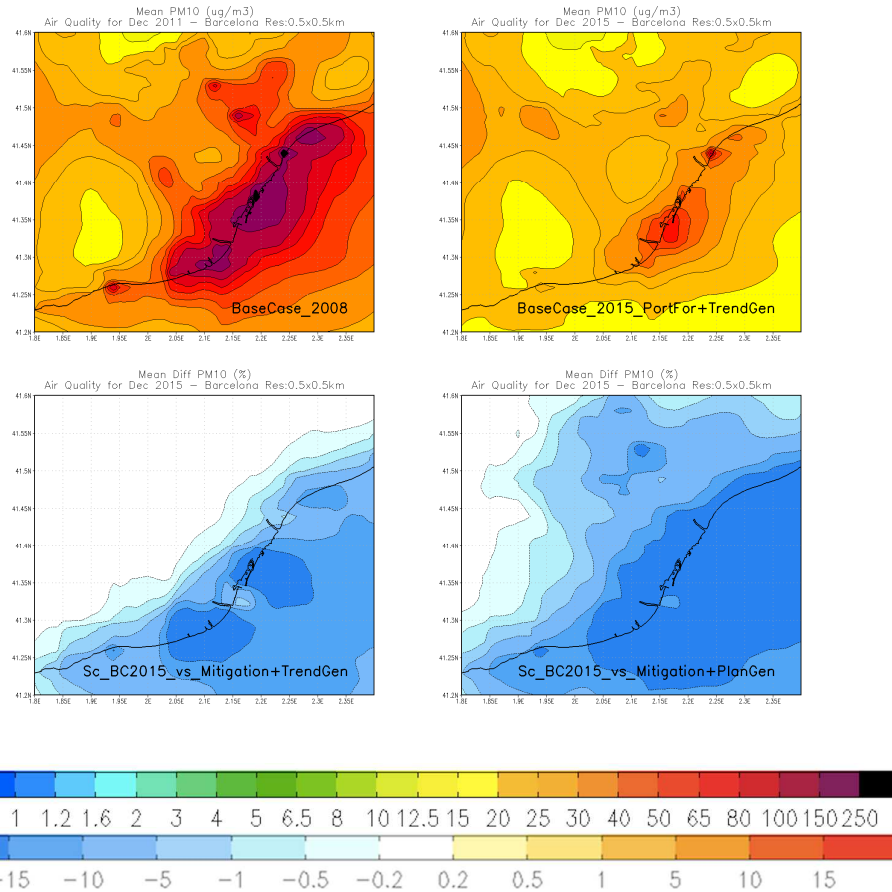


Figura 3.24. Modelización de la contaminación atmosférica y evolución futura en diferentes escenarios. El mapa de arriba a la izquierda, indica las concentraciones de PM2.5 en  $\mu\text{g m}^{-3}$  en diciembre de 2011. Arriba a la derecha, se indican las concentraciones para el escenario tendencial 2015, donde se pone de manifiesto un ligero descenso de las concentraciones. Los mapas de abajo muestran dos escenarios de mitigación con la diferencia en porcentaje respecto al escenario 2015. A la izquierda se muestran las reducciones conseguidas por APICE, mientras que a la derecha, la combinación de la implementación del Plan de la Generalitat y el Plan APICE. Fuente: APICE

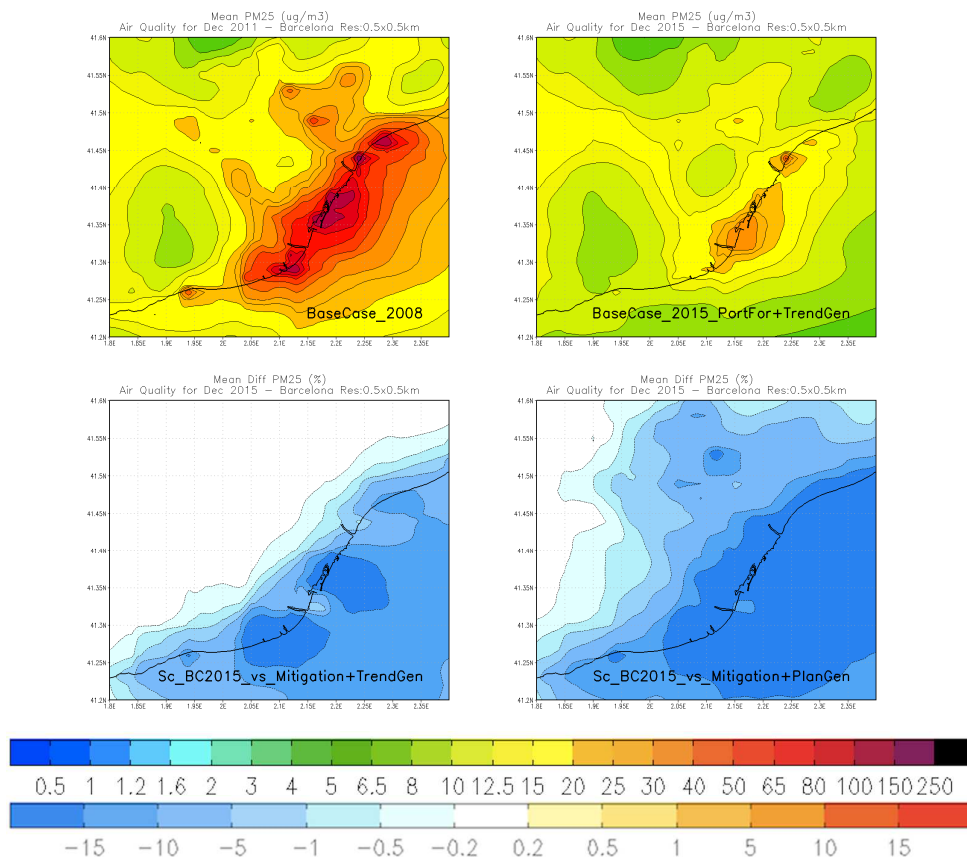


Figura 3.25. Id. a figura 2.8 para el caso del PM2.5. Fuente: APICE

Tal y como se ha observado para el periodo estival e invernal en el caso del material particulado, las acciones de mitigación también tienen un impacto significativo en las concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> (figura 3.26) en el puerto y sus inmediaciones. En esta figura, se comparan los escenarios base y escenarios futuros para tener una idea de la evolución de la calidad del aire para el 2015.

A modo de ejemplo, en el caso del NO<sub>2</sub>, el principal emisor en el área Metropolitana de Barcelona es el tráfico, y sus emisiones, en el escenario mitigación APICE + Plan Generalitat, se reducen en más de un 20% (las emisiones de PM<sub>10</sub> presentan reducciones significativas) respecto al escenario base del año 2008, y de ahí las importantes reducciones en los niveles de NO<sub>2</sub> modelizadas en todo el área metropolitana. En cambio, con las medidas de mitigación de APICE, las emisiones en el puerto de óxidos de nitrógeno se reducen únicamente en aproximadamente un 3% (6464 t/año vs. 6267 t/año). Es por esto que las reducciones en los niveles de óxidos de nitrógeno en el entorno del puerto sean menores que en el resto de la ciudad, gobernados por la reducción del tráfico rodado urbano e interurbano. Para el PM<sub>10</sub>, estos porcentajes de reducción son mucho mayores en el escenario de mitigación que para NO<sub>x</sub> (en torno al 35%, frente al 3% para los óxidos de nitrógeno), con lo cual la diferencia con la reducción en las emisiones de PM<sub>10</sub> de tráfico (20%) hace que las reducciones de PM<sub>10</sub> en el entorno del puerto sean mayores incluso que en la ciudad.

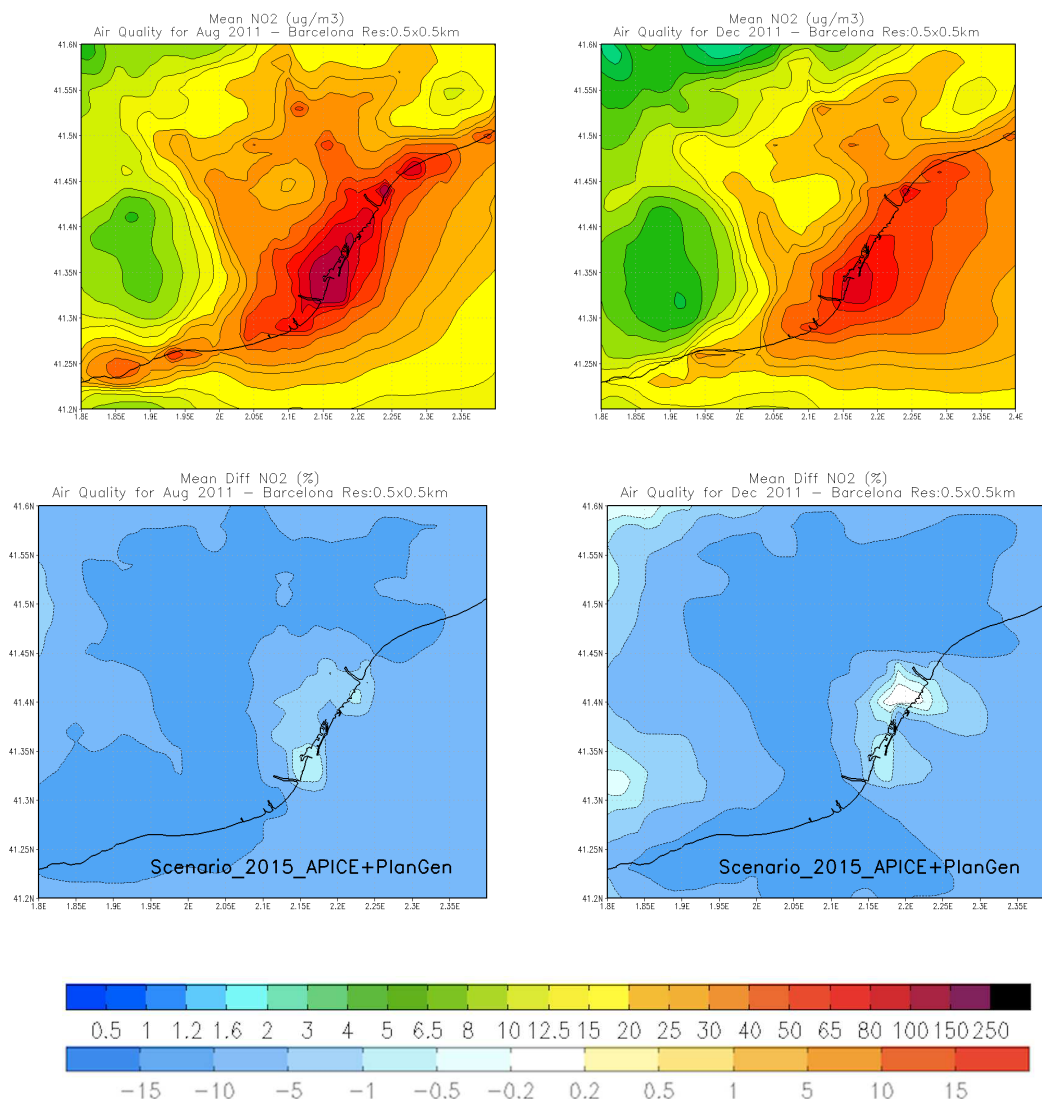


Figura 2.10. Arriba: Concentraciones de base de NO<sub>2</sub> en verano (izquierda) e invierno (derecha) para el escenario base presente (emisiones correspondientes al año 2008). Abajo: diferencia relativa (%) en el escenario APICE + plan Generalitat para el año 2015. Fuente: APICE

Finalmente, la siguiente tabla tiene en cuenta la reducción en el número de excedencias de estos contaminantes atmosféricos (NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>) respecto a los niveles y umbrales de calidad del aire establecidos en la legislación. El único escenario en el que aumentan las excedencias es en el caso del valor límite horario ( $200 \mu\text{g m}^{-3}$  como valor horario) para el NO<sub>2</sub> en verano, pasándose de 16 excedencias en el escenario con emisiones del año 2008 a 17 excedencias en el escenario base futuro (2015). Esto implica un aumento de un 6.3% en las excedencias, a consecuencia de que entre el escenario base presente y el escenario base futuro (pronóstico del puerto + tendencial Generalitat) las emisiones se incrementan de 6464 t/año en 2008 a 7158 t/año en el escenario base futuro. Para el resto de escenarios, el número de excedencias del valor límite de NO<sub>2</sub> se reducen en un 12.5%, llegándose a reducciones por encima del 40% en el número de horas mensuales en que se supera umbral superior de evaluación de NO<sub>2</sub>, tanto en verano como en invierno. Por lo tanto, la implementación de las medidas de mitigación de emisiones en el marco de lo establecido en APICE contribuye de manera sustancial a la mejora de la calidad del aire y al cumplimiento con los umbrales y límites de protección a la salud humana establecidas en las directivas europeas y en el Real Decreto 102/2011.



En el caso del PM<sub>10</sub>, se observa igualmente una disminución en el número de excedencias del valor límite diario de PM<sub>10</sub> (50 µg m<sup>-3</sup>) tanto en los meses de verano como en invierno. Dicha reducción ronda el 10-16% para el caso del pronóstico de las emisiones del puerto, escenario base futuro (las emisiones se reducen un 26% respecto al caso base con emisiones 2008, 607 t/año vs 450 t/año) y un 19-22% para el escenario que incluye las medidas de mitigación de las emisiones en el puerto (donde las emisiones del PM<sub>10</sub> de la actividad portuaria bajan por encima del 30% respecto al año 2008, llegando a 391 t/año).

Tabla. Diferencia en las superaciones de los umbrales y límites de protección a la salud entre los distintos escenarios modelizados en APICE. Se consideran las excedencias *en cualquier celda* del dominio de modelización. Los resultados se expresan en diferencia en el número de excedencias respecto al escenario base presente (emisiones 2008 + meteorología 2011).

Tipo	Valor (µg m <sup>-3</sup> )	Número excedencias (Verano)				Número excedencias (Invierno)			
		BC2008	BC2015	Mit+Tend	Mit+Plan	BC2008	BC2015	Mit+Tend	Mit+Plan
Alerta NO <sub>2</sub>	400, 3h	0	0 (-0%)	0 (-0%)	0 (-0%)	0			
Valor Límite NO <sub>2</sub>	200, 1h	16	17 (+6.3%)	14 (-12.5%)	14 (-12.5%)	8	8 (-0%)	3 (-62.5%)	3 (-62.5%)
Umbral Sup. Eval. NO <sub>2</sub>	140, 1h	81	81 (-0%)	48 (-40.7%)	41 (-49.4%)	11	11 (-0%)	6 (-45.5%)	5 (-54.5%)
Umbral Inf. Eval. NO <sub>2</sub>	100, 1h	163	163 (-0%)	139 (-14.7%)	139 (-14.7%)	49	49 (-0%)	31 (-36.7%)	28 (-42.9%)
Valor Límite PM10	50, 1 día	31	26 (-16.1%)	26 (-16.1%)	25 (-19.4%)	31	30 (-3.2%)	25 (-19.4%)	25 (-19.4%)
Umbral Sup. Eval. PM10	35, 1 día	31	27 (-12.9%)	27 (-12.9%)	27 (-12.9%)	31	30 (-3.2%)	24 (-22.6%)	24 (-22.6%)
Umbral Inf. Eval. PM10	25, día	31	28 (-9.7%)	28 (-9.7%)	28 (-9.7%)	31	30 (-3.2%)	27 (-12.9%)	27 (-12.9%)



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

La implementación del proyecto europeo APICE del Programa MED ha permitido la formulación consensuada de un plan de mitigación de las emisiones atmosféricas del puerto de Barcelona que tienen una incidencia negativa en la calidad del aire del entorno urbano. Puede afirmarse que los puntos fuertes del proyecto han sido la colaboración no sólo entre los integrantes científicos y de planificación del equipo APICE sino también con los agentes que intervienen en la actividad portuaria y marítima y la calidad del aire. Además, el plan tiene en consideración el Puerto de Barcelona como un polo de desarrollo por lo que el plan de acción en ningún caso compromete su crecimiento, sino que lo apoya en la excelencia ambiental y compromiso social.

Tras los estudios científicos y la elaboración del plan de acción llega el momento de la implementación de medidas. Tal y como se ha expuesto, la colaboración entre agentes es fundamental para llevar a buen término la reducción de emisiones. Así, la Generalitat de Catalunya y la Autoridad Portuaria de Barcelona juegan un papel fundamental por sus competencias en reglamentación. Pero más allá de este papel, pueden incitar a las empresas portuarias y marítimas a adoptar mejoras en su gestión ambiental que al mismo tiempo reviertan en ahorros económicos de sus operaciones. En cuanto a la financiación, sin duda uno de los mayores retos para la implementación, el Plan APICE prevé fuentes existentes sobre las que los agentes implicados se podrían apoyar.

Para concluir, el equipo APICE de Barcelona desea agradecer al Programa MED el apoyo prestado para realizar el proyecto, al partenariado europeo y especialmente al jefe de fila, la Agencia Regional para la Prevención y Protección del Medio Ambiente del Veneto (ARPA – Veneto), y a los agentes implicados en Cataluña y España por su colaboración para llevar APICE a buen puerto. Queremos reconocer especialmente el apoyo de Joaquim Cortés, Isabel Hernández, Sergi Balagué, Meritxell Margarit, Albert Garcia, Carles Rúa, Juan Carlos Murcia, David Pino, Juan Ramón Freire, Jordi Vila, Montserrat Beltrán, José Poblet, Esteban Molina, Pablo Pedrosa y Anna Parra, entre otros.

