



## **INFORME LAYMAN DEL PROYECTO HADA**

**LIFE02 ENV/E/000274**



30 de septiembre de 2005

## INFORME LAYMAN

### CONTEXTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Los puertos europeos manejaron en 2004, en torno a los tres mil quinientos millones de toneladas de mercancías de todo tipo. En ese mismo año se movieron por el sistema portuario de titularidad estatal español más de cuatrocientos millones de toneladas, de las cuales 105 millones lo fueron de graneles sólidos; entre ellos carbón, cemento y clinker, piritas, fosfatos, cereales, etc. La importancia de este tráfico para sectores económicos críticos como el energético, el alimentario o la construcción, y la situación de los recintos portuarios en las cercanías de importantes áreas urbanas, constituyen los factores de un problema que trasciende su componente ambiental y que necesita, junto con la contaminación acústica, de un “tratamiento específico” en el ámbito de las relaciones entre el puerto y la ciudad que lo acoge.

Ocho de los puertos españoles más relevantes en el tráfico de graneles sólidos (puertos de Huelva, A Coruña, Santander, Bilbao, Barcelona, Tarragona, Valencia y Cartagena), con más de 44 millones de toneladas trasegadas, contrajeron el compromiso de desarrollar, mediante un proyecto de demostración, las herramientas técnicas y metodológicas que permitieran disponer, sobre los vectores ambientales calidad del aire y niveles sonoros, de ese tratamiento específico.



Figura 1. Traseigo de granel sólido. Puertos de Cartagena y Huelva.

Así, el proyecto HADA ha implantado en estos ocho puertos una herramienta de diagnóstico y predicción de la calidad del aire, con un innovador sistema de apoyo a la toma de decisiones en caso de episodios de contaminación atmosférica, prestando especial atención al problema de las partículas en suspensión o sedimentables, y ha establecido una metodología de control de niveles sonoros en el puerto de Bilbao, diseñada para su aplicación en cualquier otro puerto comercial europeo.

### EL PROBLEMA AMBIENTAL

En el informe que la Organización Europea de Puertos Marítimos (ESPO) editó en 2001 sobre la situación ambiental de los puertos, se afirmaba que el 57% de los puertos europeos consideraba a la generación de material particulado como uno de sus principales problemas ambientales, siéndolo la generación de ruido para el 41% de los puertos consultados<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.espo.be/publications/environmentalreview2000.pdf>

## CALIDAD DEL AIRE

En los puertos graneleros, los impactos ambientales consecuencia de la emisión de partículas en suspensión, en concreto de aquella fracción con un diámetro inferior a 10 micras, o PM<sub>10</sub>, procedentes de las operaciones con graneles sólidos que tienen lugar en sus muelles, de las actividades industriales desarrolladas dentro de su zona de servicio o de las emisiones procedentes de las chimeneas de los buques y de los diversos modos de transporte que convergen en sus recintos, suscitan una creciente preocupación. En determinadas condiciones meteorológicas, las emisiones de partículas procedentes del trasiego o almacenamiento de ciertos graneles, manipulados con tecnologías inadecuadas, pueden ocasionar, por aportación de PM<sub>10</sub>, una alteración de los niveles de calidad del aire registrados en el entorno del puerto.

Las partículas sedimentables procedentes de estos graneles, arrastradas por el viento, pueden alcanzar zonas residenciales donde su depósito genera molestias y, consecuentemente, quejas por parte de la población afectada y dirigidas, normalmente, no al responsable directo de la actividad sino a la dirección de la Autoridad Portuaria. Es necesario, por tanto, prevenir y atenuar aquellos episodios de contaminación que pudieran deteriorar la coexistencia entre el puerto y la comunidad local directamente afectada. Para ello, la ESPO, en su Código de Conducta Ambiental<sup>2</sup>, recomienda “monitorizar el recinto portuario para la identificación temprana de problemas de calidad del aire”, evitando las quejas de la comunidad local.

## NIVELES SONOROS

Los grandes puertos comerciales funcionan las 24 horas del día, desarrollando una constante actividad de tráfico de todo tipo de mercancías, contenerizadas o no, entrada y salida de camiones y trenes del recinto portuario, arribada de buques y numerosas actividades industriales y logísticas. Esta incesante actividad de los puertos comerciales puede generar, en aquellos situados en las cercanías de grandes núcleos urbanos, superaciones de los niveles sonoros permitidos en estas aglomeraciones, principalmente de noche, causando molestias y alteraciones del sueño. El citado Código de Conducta Ambiental recomienda “crear instrumentos y herramientas que posibiliten el aprovechamiento eficaz de la capacidad de ruido autorizada”.

## METODOLOGÍA

El proyecto HADA pretende demostrar la viabilidad técnica de la implantación de un sistema automático de control de la calidad del aire y de los niveles sonoros en los entornos portuarios, respondiendo a las siguientes preguntas:

- 1º ¿Qué ocurre?,
- 2º ¿Qué va a ocurrir?,
- 3º ¿Qué alternativas de actuación tengo?,
- 4º ¿Qué alternativa debo escoger?.

---

<sup>2</sup> [http://www.espo.be/publications/ENVIRONMENTAL\\_Code\\_of\\_p.pdf](http://www.espo.be/publications/ENVIRONMENTAL_Code_of_p.pdf)

## ¿QUÉ OCURRE?

Para contestar la primera pregunta, se han instalado estaciones de control de la calidad del aire en siete de los puertos integrados en el proyecto; cada estación cuenta con un analizador de dióxido de azufre, un analizador de óxidos de nitrógeno, un analizador de monóxido de carbono y un captador de partículas  $PM_{10}$ , que registran y almacenan información sobre estas variables cada diez minutos, remitiéndola a los centros de control de cada puerto. En la figura 2 se puede observar la instalación, mediante una cabria flotante, de la estación de control de calidad del aire en el puerto de Bilbao, así como su situación actual. Se han instalado también seis estaciones meteorológicas automáticas completas con anemómetro sónico 3D, en aquellos puertos que requerían de información meteorológica complementaria (figura 3).



Figura 2. Instalación y ubicación definitiva de la estación de control de calidad del aire del puerto de Bilbao.

No obstante, los registros suministrados por estos sensores son solo representativos a escala muy local. Es necesario efectuar una “extrapolación física” de la información registrada mediante modelos numéricos de diagnóstico meteorológico, para disponer de un diagnóstico del comportamiento atmosférico en todo el recinto portuario y su área de influencia. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT) ha implantado en todos los puertos el modelo CALMET de la Agencia de Protección Ambiental Norteamericana (EPA). Este modelo, a partir de la información meteorológica registrada y considerando la topografía del puerto y los edificios más representativos, simula un campo de vientos tridimensional en todo el recinto portuario, extendiendo espacialmente la información obtenida por las estaciones automáticas. Del mismo modo, el Centro Tecnológico Labein ha instalado, en el puerto de Bilbao, la primera red acústica portuaria, constituida por dos terminales de monitorización: uno fijo, instalado en un muelle dedicado a mercancía general y un sistema portátil instalado actualmente en las cercanías de una terminal de contenedores (figura 3).

### ¿QUÉ VA A OCURRIR?

Con respecto a la segunda pregunta, se ha diseñado e implantado en todos los puertos implicados un sistema de predicción de la calidad del aire, basado en modelos numéricos de predicción meteorológica, como el HIRLAM, MASS o ARPS, los modelos de diagnóstico antes citados y un modelo de dispersión de partículas PM<sub>10</sub>, desarrollado para contemplar las características de emisión de PM<sub>10</sub> de las operaciones portuarias con graneles sólidos.



Figura 3. Sensores meteorológicos (puerto de Huelva) y terminal portátil de monitorización acústica del puerto de Bilbao.

Este modelo, denominado PORTPUFF, contiene el módulo SEDPORT, que simula el depósito de las partículas sedimentables. El sistema diseñado es el siguiente: los modelos numéricos de predicción, de una resolución espacial entre los 50 Km. (HIRLAM) hasta los 10 Km. (MASS), efectúan un pronóstico horario de un mínimo de dos días sobre los parámetros meteorológicos necesarios (viento, temperatura, presión atmosférica, humedad, altura de la capa de mezcla, etc) para ejecutar el modelo de diagnóstico CALMET, que aumenta la resolución espacial hasta 1 Km. Finalmente, empleando la información suministrada por este último, el modelo de dispersión de partículas PORTPUFF proporciona un pronóstico con una resolución espacial de 200 m, actualizada cada 10 minutos, sobre la posible incidencia en los niveles de concentración de PM<sub>10</sub> de las operaciones con graneles sólidos que tendrán lugar en el recinto portuario (figura 4).

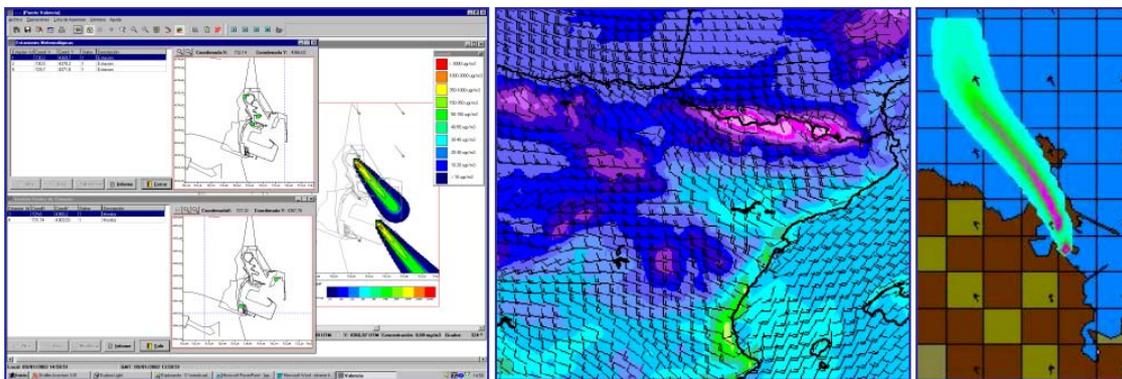


Figura 4. Modelos empleados en el proyecto HADA: PORTPUFF (Valencia), MASS (Tarragona y Barcelona), ARPS (A Coruña).

### EL MODELO EMIPORT

El sistema de previsión de la calidad del aire es capaz de reproducir las condiciones de dispersión de las partículas emitidas, durante las operaciones de manipulación o

almacenamiento de los graneles sólidos, con una antelación mínima de 48 horas. Se conocen, asimismo, qué operaciones van a tener lugar y en qué parte del recinto portuario pero, por su condición de emisiones difusas, se ignora realmente la cantidad de material emitido a la atmósfera por unidad de tiempo durante esas operaciones, esto es, su tasa de emisión. El modelo de emisiones portuarias desarrollado, denominado EMIPORT, es capaz de proporcionar las tasas de emisión de partículas  $PM_{10}$  y sedimentables en función del material trasegado, la tecnología de manipulación empleada, las medidas de atenuación y las condiciones meteorológicas. Sin pérdida de generalidad, se han estimado, por ejemplo, los siguientes factores de emisión de pellets de alfalfa para la Carga de Buque ( $105\pm 30$  gr/min), Descarga de Buque ( $140\pm 30$  gr/min) o Carga a Camión o Tren ( $96\pm 25$  gr/min).

#### CARACTERIZACIÓN DE GRANELES

Por último, la previsión de la calidad del aire en un entorno portuario, saber “qué va a ocurrir”, una vez que se predicen las condiciones meteorológicas y dispersivas en el entorno del puerto y se conocen las operaciones que van a tener lugar y sus tasas de emisión, requiere de información sobre las características químicas, morfológicas, granulométricas y mineralógicas de los graneles que se trasegarán o almacenarán. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas, a través del Instituto Jaime Almera, y el CIEMAT, han efectuado el análisis de las muestras de material en suspensión y sedimentable emitido en diferentes operaciones de carga y descarga de clinker (figura 5), tapioca, fosfato, harina de soja, cenizas de piritas, mineral de manganeso, carbón de coque, fino de silico-manganeso, alfalfa, carbón de hulla, andalucita, maíz y mandioca, analizando también las aportaciones del tráfico rodado.

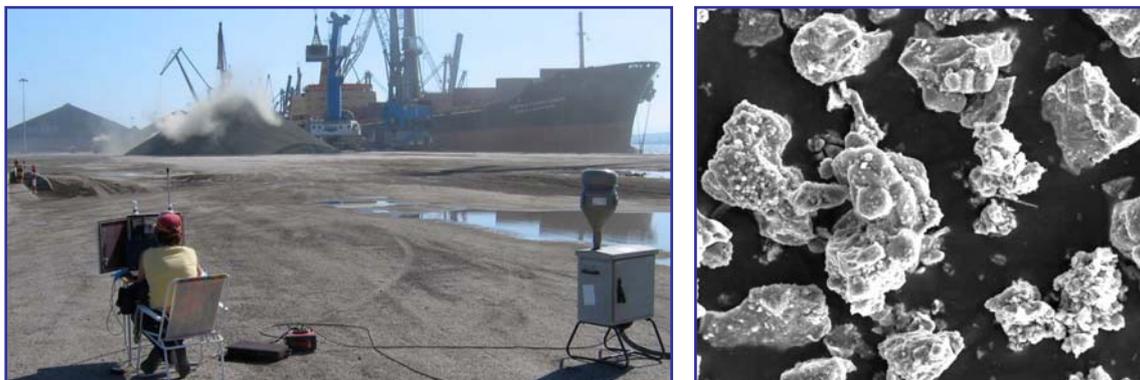


Figura 5. Monitorización de una descarga de clinker (en la microfotografía). Muelle de Navarra del puerto de Tarragona.

El resultado de estos análisis conforma un inventario de características y trazadores de cada tipo de material emitido en las diferentes operaciones monitorizadas, lo que permitirá identificar rápidamente al granel causante en caso de que se produzcan episodios de contaminación por partículas supuestamente originados en el puerto.

Un estudio desarrollado en paralelo sobre la contribución a los niveles de  $PM_{10}$  de las diferentes fuentes de emisión en el área del puerto de Tarragona permite concluir que las emisiones relacionadas con las actividades del Puerto contribuyen a incrementar los valores medios anuales de  $PM_{10}$  en el área urbana de Tarragona, como máximo, en  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de materia mineral. Las emisiones de otros compuestos no se reflejan en un incremento significativo de las concentraciones de partículas respecto a las obtenidas en el fondo urbano.

## ¿QUÉ ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN TENGO?

Responder adecuadamente a la tercera pregunta exige conocer el estado del arte sobre las medidas atenuantes o correctoras de las emisiones a la atmósfera provocadas por operaciones portuarias, analizando su viabilidad ambiental, técnica y económica. Para ello, se ha efectuado un análisis pormenorizado de las diferentes operaciones susceptibles de emitir PM<sub>10</sub> o partículas sedimentables. El trasiego de agregados (carga o descarga de buques, trenes o camiones), el desplazamiento de carga de un punto a otro del puerto (cintas transportadoras, tráfico pesado) y su almacenamiento en parvas o tinglados han sido estudiados. A cada operación se le ha asignado una relación de medidas aplicables (ecoequipamientos o buenas prácticas) y sus diferentes alternativas, con el fin de establecer las mejores técnicas disponibles (figura 6) para la disminución o eliminación de efectos ambientales no deseados, tal y como recomienda el Código de Conducta Ambiental: “procurar la mejora constante de los procedimientos de manipulación de la mercancía, aplicando las mejores técnicas disponibles siempre que sea económicamente viable”.

Especial atención han merecido las cintas transportadoras capotadas y cerradas, canaletas y tolvas ecológicas, barreras cortaviento y distintos sistemas de riego y sellado de las parvas de graneles.



Figura 6. Descarga de graneles en el puerto de Tarragona (con y sin buenas prácticas) y Bilbao (con medidas atenuantes).

### ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

También se ha evaluado el coste de la instalación y mantenimiento de las medidas de atenuación de emisiones y se ha comparado con el beneficio ambiental que produce su aplicación, identificándose medidas sencillas y económicas con un elevado rendimiento en la reducción de las emisiones. El estudio ha considerado no solo los costes de instalación y mantenimiento, sino que ha estimado los costes asociados a su operación, la variación en los rendimientos, el coste relativo de las paradas técnicas, las mermas y las posibles bonificaciones por buenas prácticas ambientales.

## ¿QUÉ ALTERNATIVA DEBO ESCOGER?

La estructura del proyecto HADA permite poner a disposición de los responsables ambientales de las Autoridades Portuarias, en tiempo real, información meteorológica, de calidad del aire y sobre los niveles sonoros, así como de las consecuencias que las posibles medidas atenuantes tienen sobre las emisiones acústicas y de PM<sub>10</sub>.

No obstante, en algunas ocasiones el responsable de medio ambiente debe tomar decisiones en situaciones de incertidumbre. Aun disponiendo de la relación de actividades que tendrán o están teniendo lugar, de las características de los graneles trasegados, de una descripción completa

de la meteorología reinante y prevista, y de la disponibilidad de medidas a aplicar, son aun muchas la variables no controladas que pueden afectar una operación, con severas consecuencias legales y económicas: el retraso o incluso la parada de una operación de carga o descarga, que a su vez puede demorar la salida del buque y, por tanto, el abandono del muelle para nuevas operaciones, tiene un elevado coste tanto para el puerto como para el naviero; por otro lado, permitir operaciones que puedan ser la causa de episodios de contaminación atmosférica por partículas en el entorno del puerto, con su posible incidencia en los niveles de calidad del aire, representan una comprometedor responsabilidad.

#### TEORÍA DE LA DECISIÓN BAYESIANA

Se ha desarrollado un método objetivo de apoyo a la toma de decisiones que proporciona, a partir de la información disponible, una sugerencia razonada e inmediata sobre la respuesta más adecuada frente a un posible episodio de contaminación atmosférica cuyo origen sea las actividades con graneles sólidos que tienen lugar en el puerto. Para ello, se han establecido tres posibles decisiones o alternativas de actuación: mantener las operaciones sin modificaciones, autorizar las operaciones con restricciones (ecoequipamientos o buenas prácticas) o retrasar todas o alguna de las operaciones.

La incertidumbre, presente porque para cada decisión adoptada existe un conjunto de “sucesos relevantes” que pueden influir en sus consecuencias, se ha medido mediante una distribución de probabilidad predictiva de las medias diarias de  $PM_{10}$ , calculándose también las distribuciones de probabilidad condicionadas a las variables meteorológicas consideradas relevantes y a 97 actividades de carga y descarga de distintos tipos de graneles en distintos muelles del puerto (carbón, caolín, clinker, avena, cebada, centeno, coque, fosfatos, maíz, etc.). Se ha establecido, sin pérdida de generalidad, que los sucesos relevantes, dependientes de la concentración de partículas  $PM_{10}$ , sean el cumplimiento o el incumplimiento de la legislación vigente.

La estructura del problema de decisión queda completada por las consecuencias asociadas a cada decisión adoptada, según el suceso relevante que haya tenido lugar. Estas consecuencias pueden ser retrasos indebidos en las operaciones y salida de buques, quejas, sanciones o, simplemente, operaciones sin alteración de la calidad del aire, entre otras.

Los criterios de decisión se introducen mediante las preferencias entre las posibles consecuencias, a través de la denominada función de utilidad, que representará el nivel de satisfacción de la Autoridad Portuaria al registrarse una determinada concentración de  $PM_{10}$  como consecuencia de haber tomado una decisión. Esta se habrá tomado correctamente si hace que el valor de la función de utilidad sea máximo.

#### ESTRATEGIA ÓPTIMA

Como consecuencia de lo anterior, se ha estimado un “índice climático” que permite introducir el factor meteorológico en la predicción de la concentración de  $PM_{10}$ . En el caso del puerto de Tarragona se trata de una función lineal de la componente sur de la velocidad del viento, de la presión atmosférica, de la temperatura y de la presencia o ausencia de precipitaciones. Los modelos de predicción meteorológica desarrollados dentro del proyecto se utilizarán para predecir el índice climático desarrollado con al menos 24h de anticipación lo que permitiría anticipar precauciones en la gestión de las actividades portuarias los días que se prevea un índice alto. Además, se ha desarrollado un indicador del riesgo para los niveles de  $PM_{10}$  asociado a cada actividad portuaria, basado en una estimación de la probabilidad de que la concentración de  $PM_{10}$  aumente cuando la actividad tiene lugar. Esta probabilidad de incidencia

ha permitido ordenar las 97 actividades registradas y clasificarlas en 6 grupos en función del riesgo que plantean. Finalmente, con esta información se ha calculado una tabla de doble entrada que permite determinar la probabilidad de que la media diaria de  $PM_{10}$  supere los umbrales impuestos por la legislación en función del índice climático previsto y del nivel de actividad que tendrá lugar en el puerto.

## BENEFICIOS AMBIENTALES Y TRANSFERIBILIDAD

La herramienta de gestión ambiental descrita proporciona información sobre la influencia en los niveles sonoros y de calidad del aire con tiempo suficiente para prevenir episodios de contaminación cuyo origen sean las operaciones desarrolladas en los puertos. Su estructura se ha basado en estrategias habituales de control ambiental y en el desarrollo de nuevos modelos numéricos de dispersión, modelos de emisión, caracterización de materiales y sistemas de apoyo a la toma de decisión, que cubren carencias halladas en el estado del arte. El exhaustivo análisis del coste económico de las medidas atenuantes y de la implantación de buenas prácticas proporciona información de base para operadores y Autoridades Portuarias.

En lo relativo al control de la calidad del aire, si bien el proyecto se ha centrado en el control de la contaminación por  $PM_{10}$  procedente de las operaciones con graneles sólidos, la nueva directiva sobre el contenido de azufre en los combustibles de los buques, elemento que contribuye asimismo a aumentar los niveles de  $PM_{10}$ , pone el acento en unos de los principales problemas ambientales que debe enfrentar la Unión Europea, esto es, las emisiones de  $SO_2$  de los buques. Su reducción es, actualmente, uno de las estrategias que mayores beneficios traerá a la mejora de los niveles de calidad del aire en el ámbito de la Unión Europea. Del mismo modo, la entrada en vigor el pasado 19 de mayo, del anexo VI del convenio MARPOL 73/78, cuyas reglas 13 (Óxidos de Nitrógeno) y 14 (Óxidos de Azufre) establecen límites a las emisiones de estos gases, incide sobre la necesidad de un mayor control sobre los combustibles empleados por los buques, control que puede ser efectuado en los puertos por las entidades de inspección y comprobación del cumplimiento de estos instrumentos legislativos; de esta forma, las redes de instrumentación y los modelos diseñados en el marco del proyecto HADA son, también, herramientas eficaces para cumplir tales funciones de control sobre el tráfico marítimo.

Con relación a los trabajos desarrollados en el puerto de Bilbao sobre una metodología para la implantación de un sistema de seguimiento y control de ruido en entornos portuarios, su aplicación a otros puertos comerciales es inmediata, así como los trabajos de caracterización de focos de ruido, escenarios de actividad y trazado de mapas de ruido.

Por último, el programa CORINAIR de la Unión Europea, autor del inventario de emisiones atmosféricas europeas, ha solicitado los factores de emisión estimados de las actividades portuarias del modelo EMIPORT.

Todos los objetivos planteados en el proyecto HADA han sido alcanzados y los trabajos realizados han contribuido a la constitución de un espacio de conocimiento sobre la correcta gestión de la calidad del aire y de los niveles sonoros en los recintos portuarios, única en Europa y reproducible, en su concepto, para la correcta gestión de otros vectores ambientales.