

## Desarrollo de un nuevo instrumento para la gestión de la calidad de los sistemas acuáticos portuarios. ROM 5.1. Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias

B. Ondiviela, A. G. Gómez, J.A. Revilla, J. A. Juanes, M. Sámano

### Introducción

Al objeto de abordar frontalmente el deterioro de la calidad de los sistemas acuáticos y de ordenar y simplificar la diversa y compleja legislación comunitaria en materia de aguas, en el año 2000 se publica la Directiva 2000/60/CE (en adelante, DMA) disposición que “establece un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas” con el objeto de prevenir, proteger y mejorar su estado ecológico antes del años 2015. El modelo de gestión planteado por la DMA aboga por aplicar políticas que, bajo un mismo marco de actuación, gestionen integralmente los sistemas acuáticos agrupados en una misma cuenca hidrográfica. No obstante, en este marco único de gestión es posible identificar elementos singulares como los puertos cuya excepcionalidad y, fundamentalmente, su potencialidad para poner en riesgo el cumplimiento de sus objetivos ambientales les hace merecedores de procedimientos de control del estado ecológico acordes con sus características.

En este sentido, la Directiva reconoce la existencia de una serie de *usos específicos* con un elevado valor económico y social, pero cuyo desarrollo requiere cambios en las condiciones hidromorfológicas de las masas de agua de tal magnitud que el *buen estado ecológico* de las masas de agua puede no llegar a ser alcanzable, sino es interrumpiendo el propio uso.

El conflicto entre la necesidad de priorizar el desarrollo de determinadas actividades económicas, y el cumplimiento de los objetivos de la Directiva se resolvió introduciendo la figura de *masas de agua muy modificadas* “masas de agua superficial que como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza (...)”. De este modo, la designación de una masa de agua como muy modificada justifica la reducción de sus objetivos ambientales hasta el denominado buen potencial ecológico, en lugar del buen estado ecológico requerido al resto de masas de agua.

Pero, ¿cuándo una masa de agua puede designarse como muy modificada? De acuerdo con el artículo 4 de la DMA, “los estados miembros podrán calificar una masa de agua superficial de *muy*

*modificada*, cuando los cambios de las características hidromorfológicas de dicha masa necesarios para alcanzar su buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en la *navegación* (...) incluidas las *infraestructuras portuarias* (...)”.

El reconocimiento explícito de los puertos como un uso con especial relevancia económica y social y, por tanto, como posibles masas de agua muy modificadas les ha dado la oportunidad de adecuar los objetivos ambientales de sus masas de agua al Buen Potencial Ecológico.

No obstante, los problemas ambientales no siempre se resuelven reduciendo los requerimientos ambientales. En este sentido, distintos estudios llevados a cabo en la región biogeográfica atlántica confirman los puertos de interés general como *presiones significativas en riesgo de incumplir sus objetivos ambientales*. Para estos casos particulares la Directiva, además de los programas de vigilancia sistemática, exige el desarrollo de programas de *control operativo* dirigidos a evaluar la magnitud y el impacto de las presiones con potencialidad para impedir el cumplimiento de los objetivos ambientales de las masas de agua en riesgo. Esta medida ha servido para reconocer que la compleja y diversa problemática ambiental de los espacios portuarios requiere herramientas de gestión específicas, que vayan más allá de su reconocimiento como masas de agua muy modificadas, y de la reducción de sus objetivos ambientales.

Conscientes de ello, los puertos se encuentran actualmente inmersos en un proceso de modificación de sus políticas de gestión hacia modelos en los que, además del factor económico, se considere el factor ambiental como variable de desarrollo (Ondiviela *et al.*, en prensa). No obstante, este objetivo sólo puede alcanzarse mediante instrumentos de gestión que, además de conjugar adecuadamente los imperativos socio-económicos, legales, técnicos y ambientales en el esquema portuario, den repuesta a las exigencias de la Directiva.

Aprovechando el nuevo marco de consenso ofrecido por la DMA, y al objeto de dotar a las administraciones portuarias de una herramienta de gestión capaz de satisfacer las bases del control operativo exigido por la Directiva a las masas de agua en riesgo, se inicia en el seno del Programa de Recomendaciones de Obras Marítimas (Programa ROM) del Ente Público Puertos del Estado la elaboración de la “ROM 5.1. Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias”.

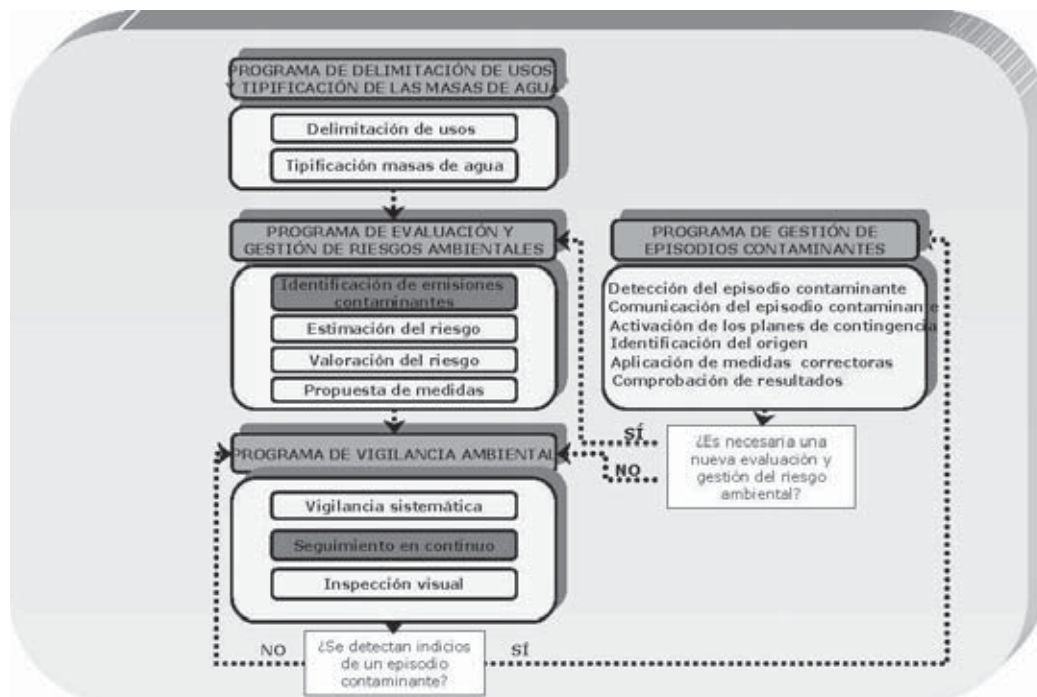


Figura 1. Procedimiento metodológico de la ROM 5.1. Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias.

Esta Recomendación, publicada en Noviembre de 2005, surgió con el objeto de ser un instrumento científicamente riguroso, sencillo en su diseño e interpretación, fácilmente integrable en los esquemas de gestión portuarios, sensible a las singularidades y problemática portuaria, sujeto a una evaluación sistemática, objetiva y periódica, y sustentado sobre la base de un procedimiento de redacción público y participativo (Puertos del Estado, 2005).

Un procedimiento metodológico como el planteado por la ROM 5.1. debe partir de esquemas básicos de gestión capaces de responder a cuestiones del tipo qué debería protegerse, de qué debería protegerse y cómo debería protegerse. En el caso de la ROM este análisis previo, además de poner en evidencia dónde estaban las necesidades reales de gestión, permitió reconocer los criterios mediante los cuales identificar las unidades de gestión, averiguar qué acciones tenían una mayor potencialidad para alterar esas unidades de gestión y definir indicadores capaces de evaluar y cuantificar esa potencialidad.

El resultado de este proceso de implementación ha sido un modelo metodológico integrado por cuatro elementos de análisis básicos: (i) La Delimitación de Usos y Tipificación de Masas de Agua, (ii) la Evaluación y Gestión de Riesgos Ambientales, (iii) la Vigilancia Ambiental y (iv) la Gestión de Episodios Contaminantes (Figura 1).

Actualmente la metodología de la ROM 5.1. está siendo sometida a un proceso de validación del que forman parte los Puertos de Tarragona, Huelva y Gijón. No obstante, en este artículo sólo

se presentan los resultados preliminares obtenidos en este último puerto por ser el primero en el que se inició la validación y, por tanto, del que se dispone de una información más completa.



Figura 2. Zona de Servicio del Puerto de Gijón.

## Zona de estudio

La consideración del puerto como unidad funcional ha permitido reconocer como límite jurídico-administrativo del espacio portuario la Zona de Servicio Portuario (en adelante ZSP), definida por la Ley 48/2003, de 26 de noviembre, de Régimen Económico y de Prestación de Servicios de los Puertos de Interés General, como los «espacios de tierra y de agua necesarios para el desarrollo de los usos portuarios y los espacios de reserva que garanticen la posibilidad de desarrollo de la actividad portuaria». Por tanto, considerando que, en ningún caso, el alcance de esta Recomendación debe exceder los límites competenciales de los puertos, la ZSP representa el ámbito del Puerto de Gijón en el que se aplicó la Recomendación (Figura 2).

## Material y métodos

La aplicación de la ROM 5.1 al puerto de Gijón se efectuó con base en las especificaciones metodológicas indicadas en la propia Recomendación para cada uno de los tres programas que están siendo validados: Delimitación de usos y tipificación de masas de agua, Evaluación y gestión de riesgos ambientales y Vigilancia ambiental (Puertos del Estado, 2005). La gestión de episodios contaminantes no se ha incluido en la validación porque este programa, al contrario que el resto, no es estrictamente un procedimiento metodológico sino una relación de indicaciones generales sobre cómo actuar en caso de episodios de contaminación marina accidental.

Para la validación de las métricas utilizadas en el programa de vigilancia ambiental se utilizaron los datos de la red de vigilancia ambiental de las obras de ampliación del puerto de Gijón recogidos entre enero y diciembre de 2006 en las masas de agua del Musel, Puerto deportivo y Costera, así como en dos estaciones de referencia situadas fuera de la zona de servicio para evaluar la posible influencia de la actividad portuaria en las masas de agua próximas (Figura 3). Dicha red contempló la realización de campañas mensuales de toma de datos de las variables que integran los sistemas de valoración en el agua (superficie, media profundidad y fondo) y bianuales en el sedimento (mayo y noviembre). De acuerdo con los objetivos perseguidos con el desarrollo de este trabajo, validar la metodología de la ROM, el estudio no abordó el análisis de la calidad química de las masas de agua, cuyo sistema de valoración responde al establecido por la Directiva Marco del Agua.

## Resultados y discusión

### Delimitación de usos y tipificación de masas de agua

La tipificación de masas de agua es el proceso que permite reducir la heterogeneidad de los sistemas acuáticos portuarios mediante su división, y posterior clasificación, en unidades de gestión denominadas masas de agua. En la ROM 5.1 la tipificación está basada en un sistema jerárquico de clasificación integrado por descriptores físicos representativos de las singularidades portuarias. Este es el caso de las características hidromorfológicas, que permiten desig-

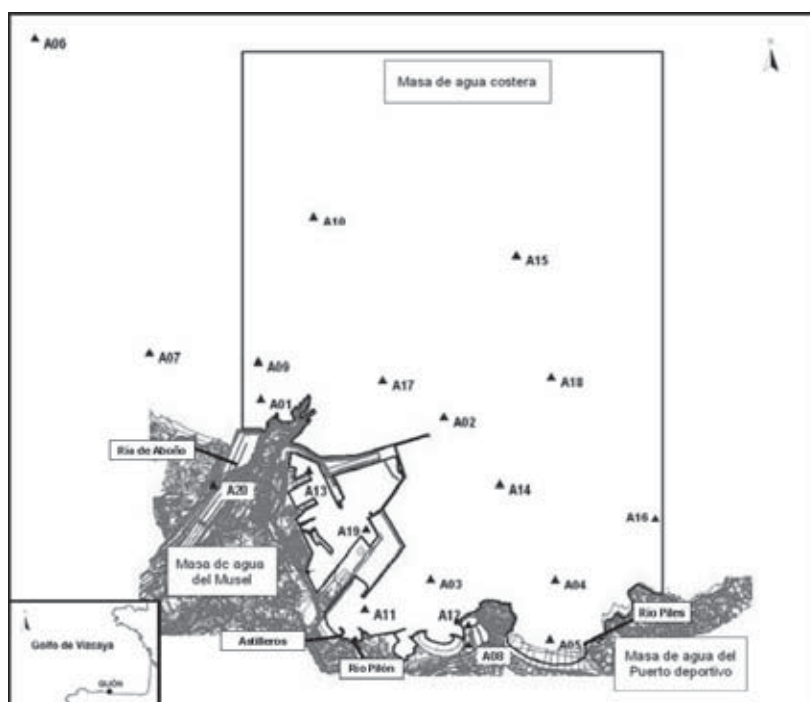


Figura 3. Localización de las estaciones de muestreo de la red de vigilancia ambiental de la zona portuaria.

nar masas de agua modificadas y no modificadas, las variaciones de salinidad, que permiten delimitar masas de agua de transición y costeras, el tiempo de residencia, que permite identificar masas de agua con distintas condiciones hidrodinámicas y el tipo de sustrato que permite reconocer masas de agua con fondos duros y blandos.

La consideración conjunta de los cinco descriptores utilizados en la delimitación de usos y tipificación de masas de agua permitió plantear distintos escenarios para la diferenciación de la zona acuática de Gijón. Con base en la delimitación de usos y, fundamentalmente, en las condiciones hidrodinámicas de la zona portuaria se plantearon dos posibles escenarios para la diferenciación.

En el primer escenario se propuso una delimitación de masas de agua coincidente con la división de las Zonas I y II del Puerto. Dicha clasificación consideraba toda la Zona I como masa de agua modificada y toda la Zona II como masa de agua no modificada (Figura 4-a).

En la segunda configuración se reconocían tres masas de agua, de las cuales dos eran modificadas (Musel y Puerto deportivo) y una no modificada (superficie acuática restante, una vez excluidas las dos masas de agua modificadas) (Figura 4-b). En esta alternativa los límites de las masas de agua del Musel y del Puerto Deportivo

se establecían de acuerdo con la superficie confinada entre los diques portuarios.

Preliminarmente la alternativa seleccionada ha sido la que reconoce una menor superficie modificada (escenario 4-b). No obstante, la Zona I de Gijón, al igual que la mayoría de Zonas I de los puertos españoles, se encuentra significativamente alterada hidromorfológicamente. Dichas alteraciones suelen relacionarse con la construcción de diques y la realización de dragados de mantenimiento, pero también con los procesos asociados a la navegación y a la explotación portuaria (p.e. desplazamiento de buques, acción de las hélices, etc) (GESHA, 2007). Por tanto, dichas zonas se encuentran sometidas a presiones con capacidad para poner en riesgo el cumplimiento de los objetivos ambientales.

En estos momentos, el debate sobre cómo abordar la designación de masas de agua modificadas está abierto y distintos organismos portuarios tanto nacionales (Puertos del Estado, Ministerio de Medio Ambiente), como europeos (European Sea Ports Organisation, ESPO) estudian la posible designación de toda la Zona I portuaria como una única masa de agua modificada.

No obstante, hasta que se establezca un modelo de designación definitivo, la clasificación de las masas de agua del puerto de Gijón resultante se corresponderá con lo indicado en la Tabla 1.

Masas de agua	Características Hidromorfológicas	Tiempo de residencia	Salinidad	Tipo de fondo
Costera	No modificada	Costera		Blando
Musel	Modificada	Bajo (<7 días)		Blando
Puerto deportivo	Modificada	Aceptable(>7 días)		Blando

Tabla 1. Clasificación de las masas de agua del entorno portuario de Gijón.

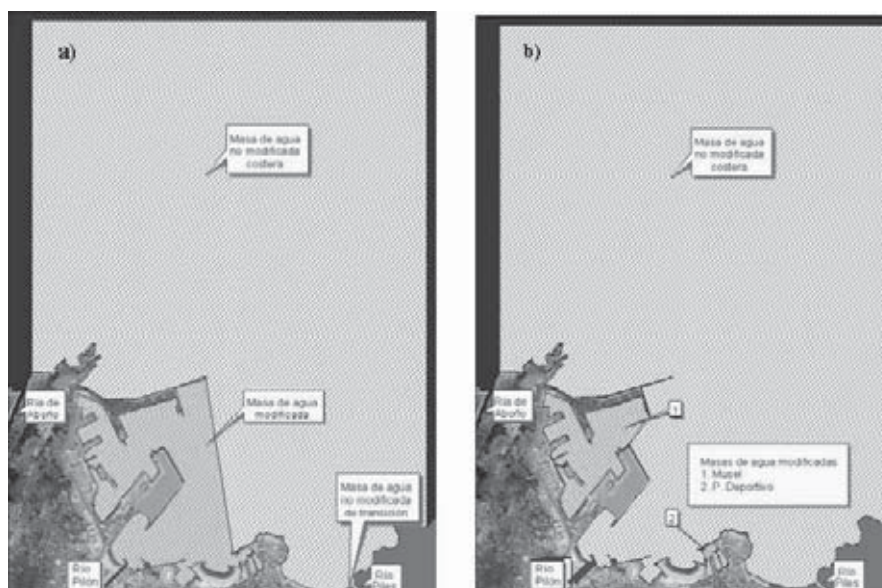


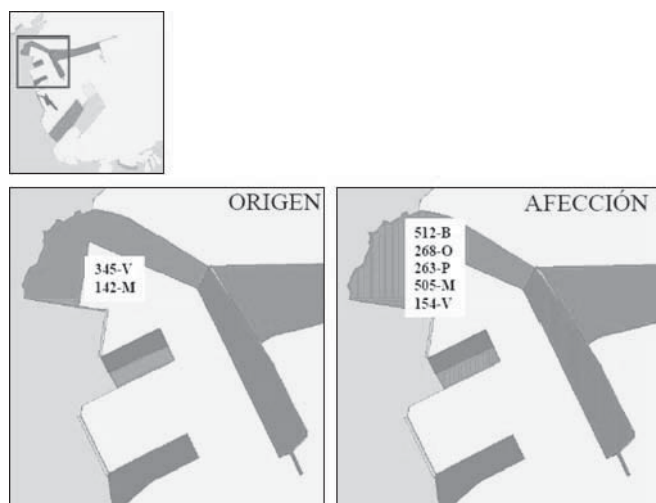
Figura 4. Escenarios de delimitación de masas de agua.



sólidos, suministro de combustibles a partir de estaciones y carga-descarga con la ayuda de las grúas.

Por otra parte, y al objeto de optimizar el tratamiento de datos, las incidencias se han agrupado en función del área de origen y/o del área de afección, reconociéndose 22 posibles áreas de emisión difusa. Para cada una de estas zonas se han elaborado fichas descriptivas específicas con información relativa a la localización y tipo de incidencias detectadas (basuras, manchas, derrames, polvos y vertidos), al origen de los episodios, a la extensión de la zona afectada y a los tipos de contaminantes (Figura 6). Este primer análisis ha servido para identificar las zonas que por la intensidad de su actividad requieren ser analizadas con más detalle.

Estos primeros resultados vienen a confirmar que, si bien los puertos son espacios donde tienen lugar usos y actividades con una elevada capacidad contaminante (Borrego *et al.*, In Press), la implantación de medidas de control ha favorecido que, en los últimos años, las emisiones portuarias al medio acuático se hayan reducido considerablemente (Casado-Martínez *et al.*, 2006). En cualquier caso, los puertos siguen necesitando métodos de evaluación y protección que les permitan gestionar cualquier situación, independientemente del tipo de actividad que la produzca (Wang *et al.*, 2004). De este modo, el conocimiento adquirido con la implantación de este programa, contribuirá a identificar las relaciones entre las presiones antrópicas y las condiciones ambientales (Pearson & Rosenberg, 1978).



**Figura 6.** Modelo de ficha descriptiva elaborada para recoger la información sobre cada una de las áreas de emisión difusa identificadas en el Puerto de Gijón.

### Vigilancia ambiental

La vigilancia, entendida como la observación y valoración continuada y sistemática de los componentes de los ecosistemas

marinos es, en última instancia, la base sobre la que se asienta la gestión del estado ecológico de las masas de agua. El impacto que la actividad portuaria produce en las masas de agua sólo es evaluable conociendo la relación entre las perturbaciones antrópicas y los atributos ecológicos más relevantes (Pearson & Rosenberg, 1978). En este sentido, la hipótesis de partida sobre la que se sustenta la formulación de los índices para valorar el estado ecológico ha sido que, en medios hidromorfológicamente tan alterados como los puertos, la información aportada por indicadores físico-químicos y orgánicos debería ser coincidente con la información aportada por indicadores biológicos. Tomando esta afirmación como hipótesis de partida, la ROM 5.1. ha diseñado un sistema de valoración del estado ecológico o potencial ecológico de las masas de agua portuarias en el que, contrariamente a lo indicado por la Directiva, la valoración se sustenta en indicadores físico-químicos y orgánicos. En este sentido, la propia Directiva señala en su artículo 2 como uno de sus objetivos “establecer un marco (...) que prevenga *todo deterioro adicional* y proteja y mejore el estado de los ecosistemas acuáticos”.

La forma de prevenir ese deterioro adicional en *masas de agua en riesgo*, como son las portuarias, debería ser identificando las fuentes que favorecen ese deterioro, adoptando medidas que reduzca esa incidencia, cuantificando directamente en el medio su presencia y valorando su efecto. La importancia de que los sistemas de valoración respondan a las singularidades de las masas de agua es especialmente llamativa en el caso de los puertos, espacios muy alterados y sometidos a un tipo de usos y actividades, cuya magnitud ha requerido una profunda transformación física del espacio litoral. Por ello, en un medio como el portuario, es importante analizar su calidad considerando explícitamente los elementos responsables de esa alteración.

Los resultados obtenidos en la vigilancia ambiental evidencian que todas las masas de agua del puerto de Gijón cumplen con la Directiva Marco del Agua (Tabla 2).

Un análisis detallado de los cinco indicadores de calidad del agua (saturación de oxígeno, turbidez, clorofila, detergentes e hidrocarburos totales) permite apreciar que, de forma general, el sistema se caracteriza por una marcada uniformidad de sus valores y una baja variabilidad de los valores medios (Figura 7). No obstante, el análisis de la varianza efectuado establece diferencias muy significativas para la saturación de oxígeno ( $p < 0.01$ ), significativas para la turbidez y la temperatura ( $p < 0.05$ ) y no significativas para la clorofila y la salinidad ( $p > 0.05$ ). Respecto a la saturación de oxígeno cabe indicar que dicha significación está relacionada con la baja varianza que presentan los datos y que conduce a que pequeñas oscilaciones en los valores registrados puedan interpretarse como significativas. En la Tabla 3 se indican los resultados obtenidos en la prueba no paramétrica de ANOVA de rangos (H) tomando como variable independiente las masas de agua.

Masa de agua	Estado/Potencial Ecológico
Costera	Muy Bueno
Deportivo	Bueno
Musel	Bueno
Referencia	Muy Bueno

Tabla 2. Valoración del estado ecológico y del potencial ecológico de las masas de agua del Puerto de Gijón.

ANOVA de rangos (Kruskal Wallis, H)					
	Sat. Oxígeno	Turbidez	Clorofila	Temperatura	Salinidad
N	152	152	152	152	152
H	11,09	5,98	0,76	7,5	0,7
p	<b>0,003</b>	<b>0,05</b>	0,68	<b>0,02</b>	0,68

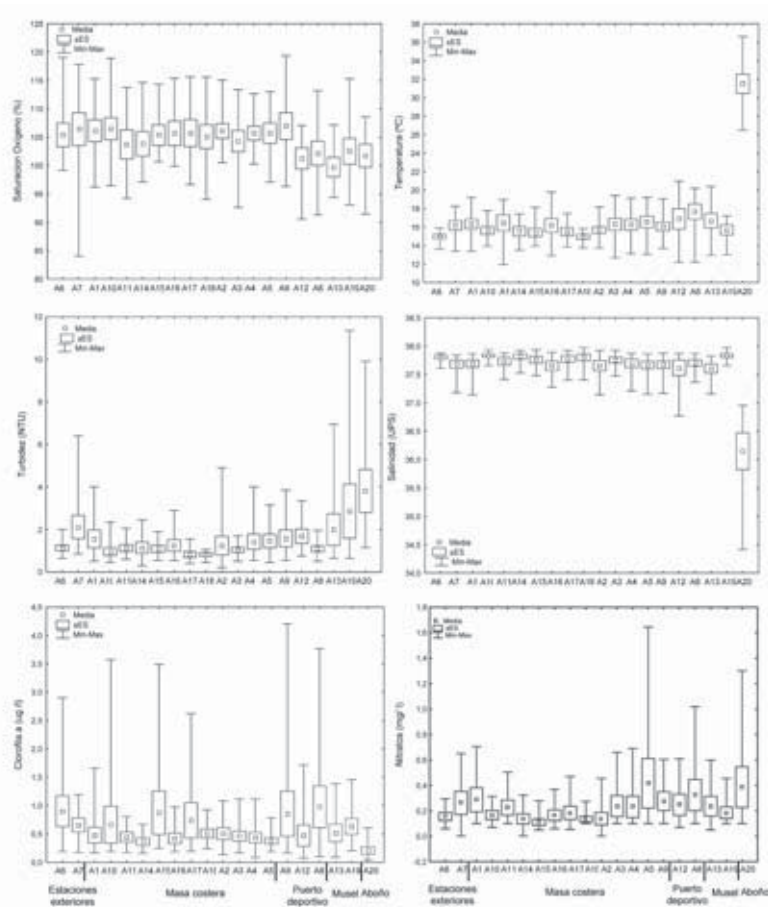
Tabla 3. Resultados del test no paramétrico ANOVA de rangos (Kruskal-Wallis, H) efectuado con los datos de las variables del agua registradas en cada estación, tomando como variable independiente las masas de agua. Los niveles de significación (p) que tienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita.

ANOVA de rangos (Kruskal Wallis, H)													
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	Pb	NTK	PT	COT	PCBs	HAPs
N	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
H	5,62	13,20	15,11	17,11	5,09	12,84	17,81	17,98	19,40	4,49	15,42	8,65	17,75
p	0,13	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,17</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,21	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>

Tabla 4. Resultados del test no paramétrico ANOVA de rangos (Kruskal-Wallis, H) efectuado con los datos de las variables del sedimentos registradas en cada estación, tomando como variable independiente las masas de agua. Los niveles de significación (p) que tienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) se indican en negrita.

Por el contrario, la valoración de los indicadores de contaminación química (metales pesados, PCBs y HAPS) y contaminación orgánica del sedimento (Carbono orgánico total, fósforo total, nitrógeno Kjeldahl) ponen en evidencia la heterogeneidad de las masas de agua del entorno portuario de Gijón, siendo especialmente marcadas las diferencias entre las masas de agua modificadas y no modificadas. El análisis de la varianza de las variables del sedimento confirma estos resultados y establece diferencias muy significativas para el cadmio, cobre, cromo níquel, zinc, plomo, nitrógeno Kjeldahl, carbono orgánico total y HAPs ( $p < 0.01$ ), significativas para el mercurio y PCBs ( $p < 0.05$ ) y no significativas para el arsénico y fósforo total ( $p > 0.05$ ). En la Tabla 4 se indican los resultados obtenidos en la prueba no paramétrica de ANOVA de rangos (H) tomando como variable independiente las masas de agua.

Estos resultados representan una primera aproximación a la valoración del estado y potencial ecológico de las masas de agua del Puerto de Gijón. De acuerdo con lo que debe acontecer en un medio altamente hidrodinámico y con una elevada renovación mareal, como es el puerto de Gijón, el agua no refleja signos de perturbación antrópica siendo sus características físico-químicas muy uniformes en todas las masas de agua. Por el contrario, el sedimento se postula como el compartimento ambiental que mejor refleja dicho gradiente de alteración. En cualquier caso, estos resultados ponen de manifiesto que la incidencia es localizada, poco significativa y menor de la que cabría esperar de acuerdo con la intensidad de las actividad desarrollada en el Puerto de Gijón.



**Figura 7.** Valores de saturación de oxígeno (%), turbidez (NTU), clorofila a ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ), salinidad (UPS), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y nitratos ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en las estaciones de muestreo de Gijón (Clave: ES: Error estándar; Min: mínimo; Max: Máximo).

## Conclusiones

Para terminar se exponen las conclusiones que preliminarmente se desprenden de la aplicación de la ROM 5.1 al Puerto de Gijón:

El estudio de la problemática ambiental en el ámbito portuario ha puesto en evidencia que las necesidades y prioridades portuarias no son reducir sus objetivos ambientales, sino disponer de procedimientos metodológicos que, al tiempo que den respuesta a las exigencias legales en materia ambiental, les permitan analizar en qué grado afectan sus actividades a la calidad de los sistemas acuáticos que integran los espacios portuarios.

En el marco de la ROM 5.1 se han desarrollado aproximaciones metodológicas y conceptuales que dotan a las autoridades portuarias de una herramienta única, estandarizada y coherente dirigida a satisfacer el *control operativo* exigido por la Directiva Marco del Agua a las masas de agua en riesgo de incumplir los objetivos ambientales.

Este artículo presenta los primeros resultados obtenidos en la validación preliminar efectuada en el puerto de Gijón. No obstante, debe indicarse que el proceso de validación definitivo de todos los sistemas de valoración utilizados debe extenderse a lo largo de los próximos años.

Si bien los resultados obtenidos ponen en evidencia que la delimitación y tipificación de las masas de agua efectuada en Gijón reconoce unidades homogéneas, significativas y adecuadas a la intensidad de la actividad portuaria, esta configuración está sujeta a las modificaciones que surjan de los debates que ahora mismo se están manteniendo a nivel nacional y europeo en torno a la posibilidad de reconocer toda la Zona I como modificada.

Del análisis preliminar de las emisiones contaminantes identificadas destaca el hecho de que el puerto no tenga ninguna emisión puntual sobre el medio acuático.

El entorno portuario de Gijón se caracteriza por una marcada homogeneidad de las características físico-químicas de las masas de



agua y así se ha reflejado en la valoración de la calidad de las masas de agua y en el análisis directo de las series de datos medidas.

En puertos con una elevada renovación mareal, en condiciones de funcionamiento normal, el impacto que la actividad portuaria parece causar en el agua es poco significativo. No obstante, para valorar la capacidad de discriminación del índice, estos resultados tendrán que confirmarse con los obtenidos en otros puertos y en gradientes de actividad portuaria bien definidos.

La calibración de los sistemas de valoración del estado y potencial ecológica de las masas de agua debe abordarse a una mayor escala temporal y espacial, con un mayor número de puertos y con registros de datos suficientemente extensos como para poder validar los niveles de referencia establecidos.

### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Ente Público Puertos del Estado y el Puerto de Gijón. Los autores quieren agradecer a Juan Luis Doménech del Departamento de medio ambiente del Puerto de Gijón su ayuda y colaboración en el desarrollo de los trabajos.

### Referencias

- Borrego, C., Costa, A.M., Amorim, J.H., Santos, P., Sardo, J., Lopes, M.&Miranda, A.I., In Press. Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. Atmospheric environment.
- Casado-Martinez, M.C., Buceta, J.L., Belzunce, M.J.&DelValls, T.A., 2006. Using sediment quality guidelines for dredged material management in commercial ports from Spain. *Environment International*, 32: 388 – 396.
- GESHA, 2007. Documento de trabajo. Propuesta técnica para la adopción de un criterio comun a nivel Puertos del Estado en relación a la designación de masas de agua muy modificadas (MAMM) en las zonas portuarias, Universidad de Cantabria, Santander.
- Ondiviela, B., García, A., Revilla, J.A.&Juanes, J.A., en prensa. ROM 5.1. Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias. En: Proc. III Congreso de ingeniería civil, territorio y medio ambiente: Agua, biodiversidad e ingeniería. Zaragoza.
- Pearson, T.&Rosemberg, R., 1978. Macrobenthic sucession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology, Annual Review*, 16: 229-311.
- Puertos del Estado, 2005. ROM 5.1. Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias. Ministerio de Fomento, Madrid, 136 pp.
- Wang, J., Sii, H.S., Pillary, A., Yu, D., Liu, J., Maistralis, E.&Saajedi, A., 2004. Use of advances in technology for maritime risk assessment. *Risk analysis*, 24(4): 1041-1063.