

# Gestión ambiental de sistemas acuáticos portuarios: aplicación al puerto de Tarragona

## Environmental management of seaport water bodies: application to the port of Tarragona

Revista de Obras Públicas  
nº 3.508. Año 157  
Marzo 2010  
ISSN: 0034-8619

**Aina G. Gómez.** Posgraduada en Hidráulica Ambiental.

Personal investigador del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria.

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria. aina.gomez@unican.es.

**Estefanía Bravo Román.** Posgraduada en Gestión Ambiental de Sistemas Hídricos.

Técnico del Departamento de Medio Ambiente de la Autoridad Portuaria de Tarragona.

estefy236@hotmail.com

**María L. Sámano Celorio.** Posgraduada en Hidráulica Ambiental.

Personal investigador del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria.

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. samanomi@unican.es.

**Bárbara Ondiviela Eizaguirre.** Dra. en Ciencias del Mar.

Personal investigador del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria.

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. ondiviela@unican.es.

**José A. Juanes de la Peña.** Dr. en Biología.

Profesor de Universidad. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria. juanesj@unican.es.

**José A. Revilla Cortezón.** Dr. Ingeniero de Caminos, canales y Puertos.

Catedrático de Universidad. Profesor titular. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria.

Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria. revillaj@unican.es.

**Resumen:** Puertos del Estado, tras la aprobación de la Directiva Marco del Agua (DMA), consideró esencial el proporcionar herramientas científica y técnicamente sólidas que pudieran contribuir a la gestión de las aguas portuarias. Fruto de esta inquietud, se desarrolló la ROM 5.1 "Calidad de aguas litorales en áreas portuarias", procedimiento fácil de implementar dentro de los esquemas de gestión portuaria, y económicamente viable. La aplicación de la ROM 5.1 al Puerto de Tarragona ha permitido confirmar que dicha recomendación permite llevar a cabo una gestión integral de los sistemas acuáticos portuarios coherente con los principios establecidos por la Directiva Marco del Agua.

**Palabras Clave:** Puertos; Gestión ambiental; Calidad de aguas; Programa ROM; DMA; Puerto de Tarragona

**Abstract:** On the passing of the EU Water Framework Directive (WFD), Puertos del Estado, Spain's national port agency, considered it essential to provide scientific and technically proven tools to contribute to the management of seaport waters. This led to the development of the ROM 5.1 (Recommendations for Maritime Works) "Quality of coastal waters in seaport areas", an economically viable procedure that may be readily implemented within port management schemes. The application of the ROM 5.1 to the Port of Tarragona has confirmed the validity of these recommendations to ensure the integral management of port water bodies in accordance with the guidelines established by the Water Framework Directive.

**Keywords:** Ports; Environmental management; Water quality; ROM programme; WFD; Port of Tarragona

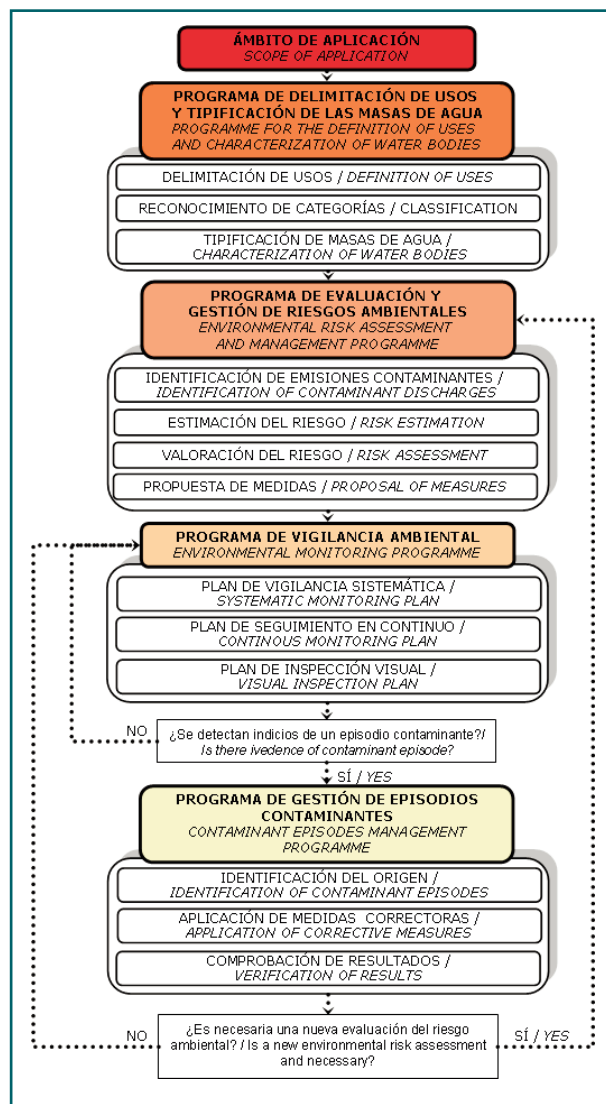
### 1. Introducción

Todos los puertos, independientemente de su tamaño o volumen de mercancías, provocan efectos adversos en el medio en función de su extensión, características físicas y actividades comerciales desarrolladas en el mismo. De hecho, la diversidad existente de puertos debido a su tamaño, tipo de operaciones,

### 1. Introduction

*All ports, regardless of size or cargo volume, cause adverse effects on the environment on account of their scale, physical characteristics and the commercial activities conducted at the same. The very diversity of ports in terms of size, type of operations, volume of traffic and geographic and*

Fig.1. Modelo conceptual de la ROM 5.1/Conceptual model of the ROM 5.1



volumen de tráfico y características geográficas e hidrográficas, plantea un desafío al sector portuario para obtener una respuesta unificada a las demandas del desarrollo sostenible y de protección del medio (1, 2).

La respuesta de Puertos del Estado a las responsabilidades ambientales asociadas a los puertos ha sido reflejada en el Programa de Recomendaciones de Obras Marítimas, Programa ROM, bajo el nombre de "ROM 5.1. Calidad de aguas litorales en áreas portuarias" (3). Puertos del Estado consideró que era necesario el establecimiento de procedimientos metodológicos bien fundamentados científica y tecnológicamente, que contribuyeran a la gestión de las masas de agua portuarias; todo ello, de acuerdo con el espíritu y los principios establecidos por la Directiva Marco del Agua (4).

hydrographic characteristics poses a challenge to the port sector to provide uniform response to the demands of sustainable development and environmental protection (1, 2).

The response by Puertos del Estado, Spanish national port agency, to environmental responsibilities associated with ports is reflected by their Recommendations for Maritime Works Programme, going under the name of "ROM 5.1. Quality of coastal waters in seaport areas" (3). Puertos del Estado considered it necessary to establish scientifically and technically founded methodological procedures that would contribute to the management of seaport water bodies; all in accordance with the intentions and guidelines of the Water Framework Directive (4).

The general objective behind the development of these recommendations was the establishment of environmental evaluation systems that would ensure compatibility between port activities and maintained environmental quality. This objective was materialized in the form of a methodological methods composed of four basic analytical components: i) definition and classification of management units; ii) assessment and management of environmental risks; iii) environmental monitoring, and; iv) management of contaminant episodes (Figure 1).

In order to resolve the uncertainties raised and to gauge the elements of analysis, the method has been subject to a validation process over recent years at three pilot ports; the Port of Tarragona, the Port of Huelva and the Port of Gijón (5). The method is currently being implemented at other Spanish seaports (Santander, Valencia, Bahía de Cádiz, Santa Cruz de Tenerife, etc). The following sections of this article provide a summary of the results and conclusions obtained after the application of the different programmes to Port of Tarragona.

## 2. Scope of application

The scope of application of the ROM 5.1 for all ports corresponds to the area legally defined as the Port Service Area (6, 7). In the Port of Tarragona this area was defined by Zone I and Zone II (8) as follows:

- Zone I: The port area bordered by the quays and the line joining the main and secondary outer breakwaters (170 Ha).

El objetivo general planteado para el desarrollo de dicha recomendación fue el establecimiento de sistemas de evaluación del medio que hicieran compatible el mantenimiento de su calidad con las actividades portuarias. Este objetivo se vio traducido en un modelo metodológico integrado por cuatro elementos de análisis básicos: i) la delimitación y tipificación de las unidades de gestión; ii) la evaluación y gestión de los riesgos ambientales; iii) la vigilancia ambiental, y; iv) la gestión de los episodios contaminantes (Figura 1).

Con el fin de resolver las incertidumbres generadas y poder calibrar los elementos de análisis, la metodología desarrollada ha sido sometida, durante los últimos años, a un proceso de validación mediante su aplicación a tres puertos piloto: el Puerto de Tarragona, el Puerto de Huelva y el Puerto de Gijón (5). En la actualidad, está siendo implementada en otros puertos del litoral español (Santander, Valencia, Bahía de Cádiz, Santa Cruz de Tenerife, etc). En los apartados posteriores se recogen los resultados y conclusiones obtenidos tras la aplicación de los diferentes programas al Puerto de Tarragona.

## 2. Reconocimiento del ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de la ROM 5.1 se corresponde, para cualquier puerto, con el área legalmente establecida como Zona de Servicio Portuario (6, 7). En el de Tarragona ésta queda definida por la Zona I y Zona II (8) de la siguiente manera (Figura 2):

- *Zona I:* Delimitada por los muelles del puerto y la línea que une el extremo del morro del dique exterior y el contradique (170 Ha).
- *Zona II:* Delimitada por la costa, las líneas rectas imaginarias descritas como límites de la Zona I y los meridianos 1°09'36"E y 1°20'33"E, hasta que encuentran el paralelo 41°00'00"N (17600 Ha).

## 3. Programa de delimitación de usos y tipificación de masas de agua

El programa de delimitación de usos y tipificación de las masas de agua constituye el instrumento básico de ordenación del medio acuático portuario, en tanto que permite reconocer "unidades de gestión" a la vez que permite clasificarlas en "tipos". Esta orde-

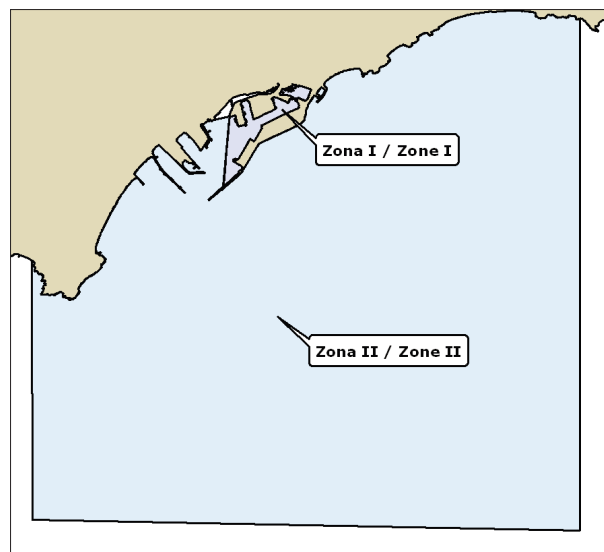


Fig. 2.  
Delimitación del  
ámbito de  
aplicación de la  
ROM 5.1: Zona  
de Servicio  
Portuario del  
Puerto de

- *Zone II:* Bordered by the coast, the imaginary straight lines indicated as the boundaries of Zone I and the meridians 1° 09'36" E and 1°20'33"E, until meeting the parallel 41°00'00"N (17600 Ha).

## 3. Programme for the definition of uses and characterization of water bodies

The "programme for the definition of uses and characterization of water bodies" forms the basic instrument for the organization of the aquatic environment of the seaport, as it establishes "management units" and allows their classification by "type". The organization is carried out in three different stages (Figure 1):

- Definition of uses: Recognition of the use of the port's water environment, differentiating between port and non-port usages. Port usage is taken to be commercial, fishing, pleasure vessel usage and areas associated with these activities. Non-port usage refers to those areas protected by community and national legislation (bathing areas, Sites of Community Interest, Special Protection Areas for Birds, etc) and those recognised as non-port areas by the plan of usage of port areas.
- Classification: Classification of the water bodies in accordance with the degree of hydromorphological modification and saline characteristics in: modified water bodies; natural

nación se lleva a cabo mediante el desarrollo de tres etapas diferenciadas (Figura 1):

- I) *Delimitación de usos*: Reconoce la utilización del medio acuático portuario, diferenciándose entre usos portuarios y usos no portuarios. Se entiende por usos portuarios los comerciales, pesqueros, náutico-deportivos y complementarios a éstos. Por usos no portuarios se entienden zonas protegidas por alguna normativa comunitaria (zonas de baño, Lugares de Interés Comunitarios, Zonas de Especial Protección para la Aves, etc) y reconocidas como no portuarias por el plan de utilización de espacios portuarios.
- II) *Reconocimiento de categorías*: Clasifica las masas de agua de acuerdo a su grado de alteración hidromorfológica y a su carácter salino en: masas de agua modificadas; masas de agua no modificadas costeras; y masas de agua no modificadas de transición.
- III) *Tipificación de las masas de agua*: Caracteriza las masas de agua en función de descriptores físicos. Las masas de agua modificadas se tipifican en función de su clase de fondo (duro/blando) y su tasa de renovación (baja/aceptable). Ésta se calcula a través del tiempo de renovación, mediante el estudio de la evolución de un trazador conservativo haciendo uso de modelos numéricos (9-11). Por otro lado, las masas de agua no modificadas se tipifican en función de su clase de fondo (duro/blando) y su carácter salino (costeras/de transición).

La integración jerárquica de este conjunto de descriptores al ámbito espacial del Puerto de Tarragona supuso la segregación del espacio portuario en dos masas de agua de características hidromorfológicas muy distintos. Por un lado, la zona interior del puerto, confinada entre dársenas, se caracterizó por ser una masa de agua modificada debido a la presencia de alteraciones hidromorfológicas; dicha masa de agua presenta una baja tasa de renovación y fondos blandos. Por otro, la zona exterior quedó delimitada como una masa de agua no modificada de carácter costero y fondos blandos (Figura 3).

El tipo asociado a cada masa de agua es representativo de su potencialidad ecológica, es decir, de los niveles de calidad que sus características físicas les permiten alcanzar. Es por ello que, para el cálculo del

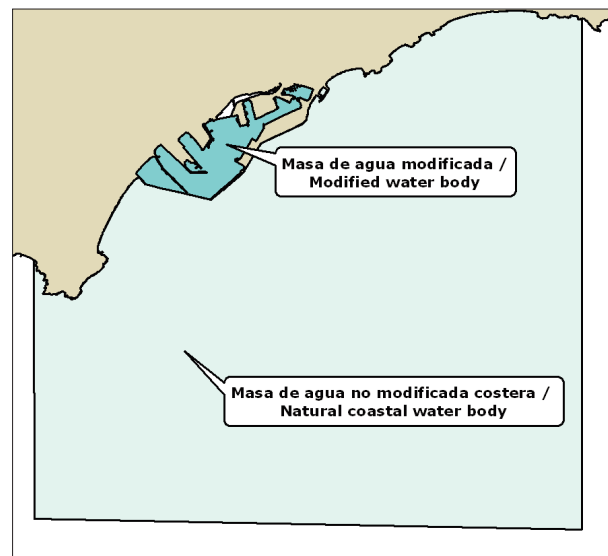


Fig. 3. Representación de las masas de agua delimitadas y tipificadas en el Puerto de Tarragona/Diagram of defined and characterized water bodies at the Port of Tarragona.

*coastal water bodies; and natural transitional water bodies.*

- III) *Characterization of water bodies*: Characterize water bodies in accordance with physical description. Modified water bodies are characterized in accordance with their bottom type (hard/soft) and their rate of renewal (low/acceptable). This is calculated in terms of water renewal time scales through the study of a conservative tracer and on the basis of numerical models (9-11). Natural water bodies, on the other hand, are characterized in accordance with bottom type (hard/soft) and their saline characteristics (coastal/transitional waters).

*The hierarchical integration of this group of descriptors within the spatial environment of the Port of Tarragona required the segregation of the seaport space into two water bodies with very different hydromorphological characteristics. One being the inner area of the port set in basins, considered as a modified water body due to the presence of hydromorphological modifications; with a low rate of renewal and soft bottom. The second being the outer area classified as an natural coastal water body with soft bottom (Figure 3).*

*The type associated with each water body is representative of its ecological potential, that is to say,*

estado o potencial ecológico mediante las valoraciones en agua y sedimento, que más adelante se detallarán, se tienen en cuenta diferentes umbrales de calidad en función del tipo de masa de agua.

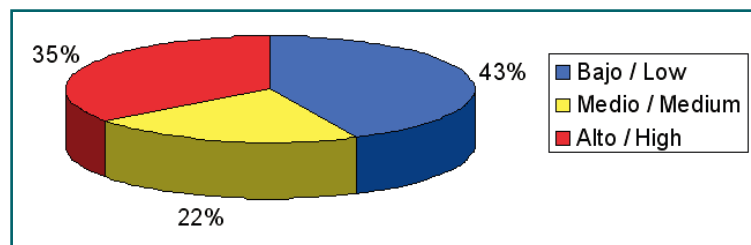
#### 4. Programa de gestión y evaluación de riesgos ambientales

El *programa de evaluación y gestión de riesgos ambientales* tiene por objeto evaluar la incidencia que tienen las emisiones contaminantes sobre las aguas litorales de la zona portuaria. Para llevar a cabo dicho objetivo es necesario el desarrollo de las siguientes cuatro etapas (3) (Figura 1):

- I) *Identificación de las emisiones contaminantes*: Localiza y caracteriza las emisiones puntuales y difusas al medio acuático portuario que puedan alterar la calidad de las masas de agua receptoras.
- II) *Estimación del riesgo ambiental*: Estima el riesgo de cada una de las emisiones identificadas mediante una metodología que tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia, la vulnerabilidad de las masas de agua y la magnitud de las consecuencias (12-15).
- III) *Valoración del riesgo ambiental*: Clasifica las emisiones según la tolerabilidad del riesgo en emisiones con un nivel de riesgo alto, medio o bajo.
- IV) *Propuesta de medidas preventivas y correctoras*: Define las medidas requeridas para aquellas emisiones contaminantes que presenten un nivel de riesgo medio o alto.

En el Puerto de Tarragona se identificaron un total de 23 emisiones puntuales y 19 emisiones difusas. Las emisiones puntuales, todas ellas ajenas a las actividades portuarias, se correspondieron con vertidos de emisarios submarinos, vertidos de EDARs, descargas de aguas residuales industriales, aguas de proceso, aguas fecales y aguas de refrigeración, así como descargas de fosas sépticas. El 35% de las emisiones obtuvieron un nivel de riesgo alto, el 22% riesgo medio y el 43% restante riesgo bajo (Figura 4).

Las emisiones puntuales con nivel de riesgo alto se refieren a vertidos con presencia de sustancias prioritarias, aspecto muy penalizado en la formulación de la estimación de riesgo, y a vertidos con información



the quality levels that can be obtained on account of their physical characteristics. It is for this reason that the calculation of the ecological status or potential made by evaluation of water and sediment, and as described further on, incorporates different quality thresholds in accordance with the type of water body.

#### 4. Environmental risk assessment and management programme

The *environmental risk assessment and management programme* serves to evaluate the effect of pollution on the coastal waters of the seaport area. In order to meet this objective it is necessary to develop the following four stages (3) (Figure 1):

- I) *Identification of pollution discharges*: Location and classification of point and diffuse discharges in the seaport water body which may affect the quality of receiving water bodies.
- II) *Risk estimation*: Estimation of the risk of each identified discharge using a methodology that considers the probability of occurrence, the vulnerability of the water bodies and the scale of consequences (12-15).
- III) *Risk assessment*: Classification of discharges according to the risk tolerability of discharges with high, medium or low risk levels.
- IV) *Proposal of preventative and corrective measures*: Definition of the measures required for those contaminant discharges with medium or high risk levels.

A total of 23 point and 19 diffuse discharges were identified at the Port of Tarragona. The point discharges, all unrelated to port activities, corresponded to underwater discharges, discharge from water treatment plants, industrial waste-water discharge, treated water, sewage and discharge from

Fig. 4. Valoración del riesgo ambiental de las emisiones contaminantes puntuales producidas por agentes ajenos a la Autoridad Portuaria/ Environmental risk assessment of point contaminant discharges produced by agents unrelated to port activity.

nula o escasa sobre la existencia de sistemas de control, defensa y alarma, o de procedimientos operativos.

Como medidas preventivas y correctoras, los responsables de dichas emisiones, a través de la Asociación Empresarial Química de Tarragona, propusieron la construcción de un emisario submarino que concentrara la totalidad de las emisiones que en la actualidad se emiten de forma independiente. A su vez, la Autoridad Portuaria de Tarragona, como agente paciente de aquellas, llevó a cabo un proyecto dividido en tres fases, con el fin de identificar los vertidos al mar en el recinto portuario. La primera fase consistió en la medición de las 33 sustancias prioritarias (16) así como de una serie de indicadores de especial interés para el puerto, tanto en el medio pelágico como en el medio bentónico. En dicha campaña se establecieron 3 puntos de muestreo en la masa de agua modificada y 1 punto de muestreo en la masa de agua no modificada. En una segunda fase, se llevó a cabo la toma de muestras, y posterior análisis, en las arquetas de conexión final de aguas a la red de la Autoridad Portuaria en 13 puntos. Finalmente, en la tercera y última fase se elaboraron actas de inspección de los usuarios del puerto y se analizaron elementos significativos de aguas residuales emitidas a la red portuaria, con el objetivo de caracterizar de una forma más exhaustiva las emisiones puntuales.

Por su parte, las emisiones difusas se relacionaron con cuatro tipos de operaciones portuarias: carga y descarga de graneles sólidos; carga y descarga de graneles líquidos; suministro de combustible; y manejo de contenedores MARPOL. Para cada una de ellas se establecieron tres escenarios distintos: i) operaciones en condiciones normales (R1); ii) operaciones con ciertos problemas (R2), y; iii) operaciones bajo condiciones totalmente desfavorables (R3). Para cada uno de estos escenarios se llevó a cabo la estimación del riesgo. En el caso del primer y segundo escenario, el 100% de las emisiones difusas presentaron un nivel de riesgo bajo (Figura 5). Para el tercer escenario (R3), el 95% de las emisiones identificadas se valoraron con un nivel de riesgo bajo y el 5% restante con un nivel de riesgo medio (Figura 5). Por tal motivo, estas emisiones no requirieron de la adopción inmediata de medidas preventivas o correctoras. No obstante, se mantuvieron bajo observación a través de los resultados del *programa de vigilancia ambiental*. Además, el Puerto de Tarragona consideró oportuno la implementación de mejoras en las técnicas de carga/descarga de graneles sólidos como el carbón y los cereales.

sceptic tanks. The 35% of discharges had high risk level, 22% medium risk level and the remaining 43% low risk (Figure 4).

*The high risk point discharges referred to discharges containing priority substances, this being an aspect which is highly penalized in the preparation of risk estimation, and to those discharges where little or no information was available regarding the presence of control, protection or warning systems or the operational procedures related to the same.*

*As a preventive and corrective measure, those responsible for these discharges, under the name of the Chemical Business Association of Tarragona, proposed the construction of an underwater discharge outlet that concentrated all those discharges currently discharged independently. The Tarragona Port Authority, in turn, and in its capacity as the passive agent of these other discharges, conducted a project divided into three stages to identify discharges from the port area into the sea. The first stage consisted of the measurement of 33 priority substances (16) together with a series of indicators of special interest for the port, in both the pelagic and benthic environments. During the test campaign three sampling points were established in the modified water body and one sampling point in the natural water body. The second stage consisted of the taking of samples, and subsequent analysis, at 13 points at end collection boxes within the Port Authority network. During the third and final stage, inspection reports were made regarding port users and an analysis was made of significant elements of waste water discharged into the port network in order to provide a more detailed examination of point discharges.*

*The diffuse discharges were related to four types of port operation: loading and unloading of solid bulk; loading and unloading of liquid bulk; bunkering operations; and the handling of MARPOL containers. Three different scenarios were established for each of these operations: i) operations under normal conditions (R1); ii) operations with certain problems (R2), and iii) operations under totally unfavourable conditions (R3). A risk estimation was carried out for each of these scenarios. In the case of the first and second scenario, 100% of the diffuse discharges presented a low risk level (Figure 5). For the third scenario (R3), 95% of the identified discharges were assessed to have a low risk level and the remaining 5% a medium risk level (Figure 5). For this reason, these*

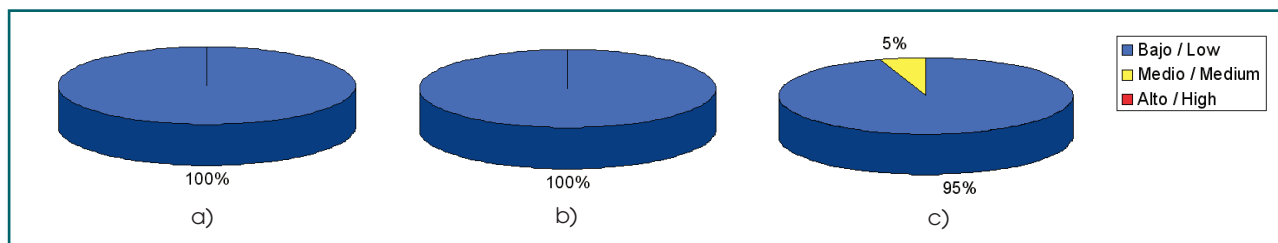


Fig. 5.  
Valoración del riesgo ambiental de las emisiones contaminantes difusas

## 5. Programa de vigilancia ambiental

El programa de vigilancia ambiental permite conocer el estado y evolución de las masas de agua mediante la aplicación de tres planes complementarios (Figura 1):

- I) *Plan de vigilancia sistemática*: Plan que mide y analiza de forma periódica, sistemática y estandarizada la calidad de la columna de agua y de los fondos.
- II) *Plan de seguimiento en continuo*: Plan opcional que incorpora sistemas de medición en tiempo real.
- III) *Plan de inspección visual*: Plan opcional que detecta precozmente posibles eventos contaminantes.

El Puerto de Tarragona llevó a cabo el plan de vigilancia sistemática mediante una intensa campaña de toma de datos que se inició en Octubre de 2007. De los planes opcionales, ejecutó el plan de inspección visual mediante diferentes equipos: policía portuaria, guardamuelles y personal de medio ambiente.

La vigilancia sistemática se efectuó a través de 8 estaciones de muestreo en las que se analizaron los indicadores físico-químicos y biológicos, recogidos en la ROM 5.1, mensualmente en la columna de agua y semestral en el sedimento. Además, de forma complementaria, dos veces al año, el puerto llevó a cabo un análisis de macroinvertebrados o fauna bentónica en el sedimento (Figura 6).

Para la valoración del estado o potencial ecológico, en la ROM 5.1 se definen índices específicos del medio que se quiere cuantificar (agua y sedimentos), en los que se integran indicadores de naturaleza físico-química y biológica. Los umbrales para la valoración de los indicadores se encuentran ampliamente detallados en la ROM 5.1 (3), umbrales establecidos de acuerdo con la potencialidad de los tipos de masas de agua.

La valoración de cada uno de los indicadores y su posterior integración en los índices de calidad de la columna de agua ( $I_{AG}$ ) y de sedimentos ( $I_{SED}$ ) permi-

*discharges did not require the immediate application of preventive or corrective measures. However, these aspects were kept under observation by the environmental monitoring programme. It was also considered necessary to introduce improvements in the loading/unloading techniques of solid bulk such as coal and cereals.*

## 5. Environmental monitoring programme

The environmental monitoring programme provides information on the state and development of water bodies through the application of three complementary plans (Figure 1):

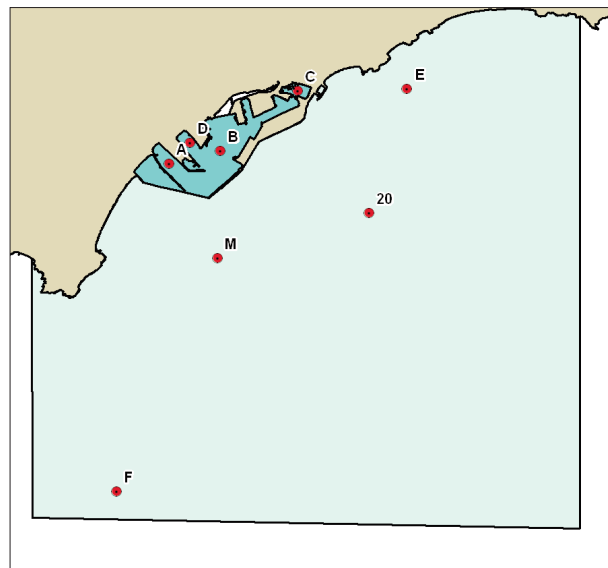
- I) Systematic monitoring plan: *A plan which periodically, systematically and uniformly measures and analyses the quality of water column and bottom.*
- II) Continuous monitoring plan: *Optional plan incorporating real-time measuring systems.*
- III) Visual inspection plan: *Optional plan providing early warning of potential contaminant episodes.*

*The Port of Tarragona conducted a systematic monitoring plan through an intensive data collection procedure that was started in October 2007. With regard to the optional plans, the port conducted a visual inspection plan divided among different teams: port police, wharfingers and environmental personnel.*

*Systematic monitoring was carried out from 8 sample stations and involved the monthly analysis of physical-chemical and biological indicators, established in the ROM 5.1, in the water column and six-monthly analysis of bottom sediment. Twice a year, and in a complementary manner, the port conducted an analysis of the macroinvertebrates or benthic fauna in the sediment (Figure 6).*

Aina G. Gómez, Estefanía Bravo Román, María L. Sámano Celorio, Bárbara Ondiviola Eizaguirre, José A. Juanes de la Peña, José A. Revilla Cortezón

Fig. 6.  
Localización de  
las estaciones  
de muestro de  
agua y  
sedimentos/  
Location of the  
water and  
sediment  
sample points.



tieron valorar el estado o potencial ecológico de cada masa de agua para la campaña Octubre 2007-Septiembre 2008 (3). En la Figura 7 se observa que la clasificación atribuida a las dos masas de agua fue "Muy Buena" en el caso de la columna de agua ( $I_{AG}$ ) y "Buena" en el caso de la calidad del sedimento ( $I_{SED}$ ). La combinación de ambos índices permitió valorar tanto, el potencial ecológico de la masa de agua modificada, como el estado ecológico de la masa de agua no modificada, como "Bueno".

Por último, cabe destacar que, como resultado de los análisis efectuados durante la citada campaña y la información generada a partir del análisis del riesgo ambiental, se eliminaron, reubicaron y añadieron nuevas estaciones de muestreo; otras estaciones, como la estación de control de la monoboya de REPSOL YPF, se mantuvieron debido a que se

In order to assess the ecological status or potential, the ROM 5.1 defines specific indices of the environment subject to evaluation (water and sediments) which incorporates indicators of physical-chemical and biological nature. The thresholds of the indicators are fully described in the ROM 5.1 (3), and are established in accordance with the potential of the types of water bodies.

The assessment of each of the indicators and their subsequent integration in the quality indices of the water column ( $I_{WAT}$ ) and sediments ( $I_{SED}$ ) made it possible to assess the ecological status or potential of each water body over the test period from October 2007 - September 2008 (3). Figure 7 shows that the classification of the two water bodies was "High" in terms of the water column ( $I_{WAT}$ ) and "Good" in terms of the quality of the sediment ( $I_{SED}$ ). The combination of both indices made it possible to establish that both the ecological potential of the modified water body and the ecological status of the natural water body were "Good".

As a result of the analysis conducted throughout the said test period and the information generated from the analysis of environmental risk, additional sampling stations were added while others were relocated or removed. Some stations, such as the REPSOL YPF monobuoy control station, were maintained as they were considered of utmost importance for the environmental management of the port.

## 6. Contaminant episodes management programme

The contaminant episodes management programme is an instrument by which to tackle potential loss of quality and one based on three main stages (Figure 1):

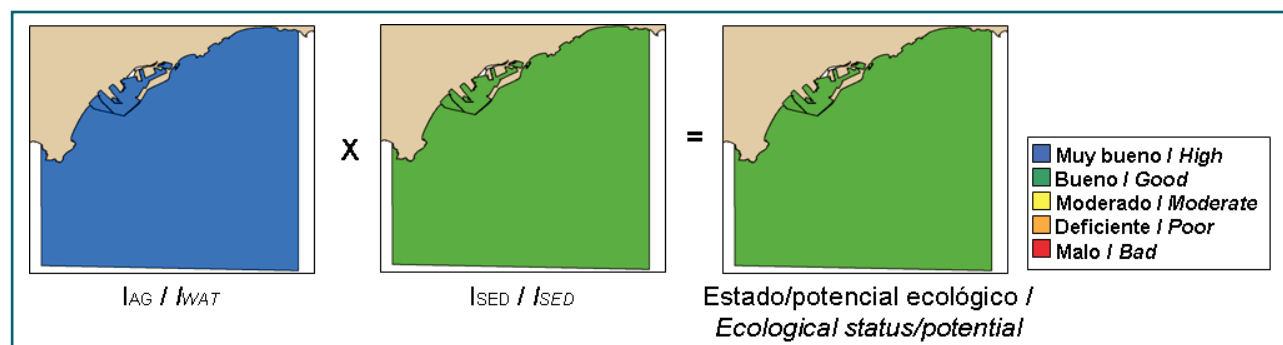


Fig. 7. Síntesis de la valoración del estado o potencial ecológico en las masas de agua del Puerto de Tarragona (Octubre de 2007 - Septiembre de 2008)/Synthesis of the appraisal of the ecological status or potential of water bodies at the Port of Tarragona (October 2007 - September 2008).

consideraron de vital importancia para la gestión ambiental portuaria.

6. Programa de gestión de episodios contaminantes

El programa de gestión de episodios contaminantes es el instrumento mediante el cual se abordan los posibles déficits de calidad detectados en las masas de aguas, con base en tres etapas principales (Figura 1):

- I) Identificación de episodios contaminantes: Detecta las posibles incidencias a través de denuncias de cualquier sector de la población, alertas de los propios responsables o por la aplicación de los planes del programa de vigilancia ambiental.
- II) Aplicación de medidas correctoras: Adopta las medidas necesarias para minimizar los efectos perniciosos del episodio.
- III) Comprobación de resultados: Certifica la eficacia de las medidas tomadas para determinar si el episodio está controlado.

Con base en la información contenida en los partes de incidencias recogidos por el Puerto de Tarragona entre los años 1984 y 2007, se llevó a cabo un análisis de detalle del procedimiento aplicado para hacer frente a los episodios contaminantes, y así analizar los sistemas de detección de los eventos, la franja horaria en la que se producían, el origen y los tipos de los mismos, así como, los productos vertidos y categorías correspondientes (17, 18). Cabe señalar el gran esfuerzo llevado a cabo por la Autoridad Portuaria en la realización de un registro de incidencias tan amplio y detallado, permitiendo perfeccionar y optimizar su gestión. No obstante, se propuso la elaboración de un formulario-ficha estandarizado donde se recogiera la información necesaria para solventar de forma rápida y eficaz un episodio contaminante. Este formulario que en primera instancia se implementó a nivel del puerto, posteriormente, se consideró conveniente extenderlo a nivel de los usuarios y empresas que desempeñan su actividad en el puerto.

Del análisis efectuado se observaron las circunstancias que acompañaban las máximas frecuencias de ocurrencia de eventos contaminantes que se indican en la Tabla 1, lo que permite optimizar la gestión ambiental del puerto.

| Tabla 1/ Table 1.                         |                                                            |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Variable analizada<br>Variable analysed   | Frecuencia máxima<br>Maximum frequency                     |
| Sistema de detección/<br>Detection system | Inspección visual/<br>Visual inspection                    |
| Franja horaria/<br>Peak hours             | 12:00-14:00                                                |
| Origen/<br>Source                         | Avería y carga/descarga<br>Breakdown and loading/discharge |
| Tipo de evento/<br>Type of incident       | Mancha/derrame<br>Slick/spill                              |
| Producto vertido/<br>Product spilled      | Hidrocarburo<br>Hydrocarbon                                |
| Categoría episodio/<br>Class of incident  | Menor<br>Minor                                             |

- I) Identification of contaminant episodes: Detection of contaminant episodes on the basis of reports from any sector of the population, alerts raised by those responsible or through the application of plans under the environmental monitoring programme.
- II) Application of corrective measures: Adopting the necessary measures to minimise the damaging effects of the episodes.
- III) Verification of results: Certifying the efficiency of the measures taken in order to establish whether the episode is under control.

On the basis of information contained in incident reports held at the Port of Tarragona between 1984 and 2007, a detailed analysis was carried out of the procedure applied to tackle contaminant episodes and to examine the detection systems of any such incident, the peak hours at which these occurred, the source and nature of the same as well as the products spilled or discharged and their corresponding categories (17, 18). In this regard the Port Authority has shown great diligence in recording such a wide-ranging and detailed incident report history, which allows the ongoing improvement and optimization of the port's management. Nevertheless, it was proposed that a standardised report form should be prepared which incorporated all the information necessary to allow a rapid and effective solution to a contaminant episode. This form was introduced at a port level at the outset, though it was later considered necessary to extend this to all users and companies operating at the port.



## 7. Conclusiones

En términos generales, cabe destacar que, la aplicación de la ROM 5.1 al Puerto de Tarragona permitió confirmar que las aproximaciones metodológicas y conceptuales desarrolladas en la recomendación hacen de ella una herramienta única, estandarizada y coherente para la gestión integral de los sistemas acuáticos portuarios.

Con respecto a cada uno de los programas aplicados, cabe mencionar que:

- Los resultados obtenidos pusieron en evidencia que la delimitación y tipificación de las masas de agua efectuada en el Puerto de Tarragona reconoce unidades de gestión homogéneas, permitiendo gestionarlas mediante la estimación de los riesgos asociados a las mismas y la valoración de su estado o potencial ecológico.
- Del análisis del riesgo ambiental de las emisiones contaminantes identificadas destaca el hecho que la mayoría de las emisiones difusas, asociadas a las actividades portuarias, para los tres escenarios considerados, presentaron un riesgo bajo y, por tanto, no fue necesaria la aplicación inmediata de medidas preventivas y correctoras. Sin embargo, se consideró que podrían implementarse técnicas de mejora en la carga/descarga de mercancías, sobre todo en lo que respecta a los graneles sólidos.
- La valoración del riesgo en las emisiones puntuales, todas ellas ajenas a la actividad portuaria, permitió priorizar la aplicación de medidas preventivas o correctoras encaminadas a disminuir el riesgo de aquellas para las que se obtuvo un riesgo más elevado.
- El entorno portuario de Tarragona se caracterizó por una marcada homogeneidad de las características físico-químicas de las masas de agua y así quedó reflejada en su valoración y en el análisis directo de las series de datos medidos.
- El análisis de la información contenida en los registros de episodios contaminantes realizados por la Autoridad Portuaria permitió mejorar la gestión y actuación frente a los mismos.

Finalmente, es importante resaltar que la estimación del riesgo permitió predecir que el impacto de la actividad portuaria sobre la calidad de las aguas es limitado

*From the analysis carried out it was possible to ascertain those variables affecting the majority of contaminant episodes and this then makes it possible to optimize the environmental management of the port. These variables are listed in Table 1 below.*

## 7. Conclusions

*It is possible to state in general terms that the application of the ROM 5.1 to the Port of Tarragona has made it possible to confirm that the methodological and conceptual approximations established in the recommendation make this a unique, standardizing and coherent tool for the integral management of seaport water bodies.*

*With regard to each of the programmes applied, it may be indicated that:*

- *The results obtained show that the definition and characterization of the bodies of water that was conducted at the Port of Tarragona identify uniform management units and allow the management of the same by an assessment of the associated risks and an assessment of their ecological status or potential.*
- *From the analysis of the environmental risk of identified contaminant discharges it may be indicated that the majority of diffuse discharges associated with port activities, for the three scenarios considered, present a low risk and that it was not, subsequently, necessary to immediately apply preventive and corrective action. However, it was considered that improved techniques could be introduced for the loading/unloading of goods and particularly with regards to solid bulk.*
- *The risk assessment of point discharges, all beyond the scope of port activity, allowed the priority application of preventive or corrective measures aimed at reducing the risk of those with a higher level of risk.*
- *The Port of Tarragona is characterised by the very uniform nature of the physical-chemical characteristics of the water bodies and this was reflected in its assessment and in the direct analysis of the series of data that were examined.*
- *The analysis of the information contained in the contaminant episode reports held by the Port Authority showed that improvements could be made in the management and control activities of the same.*

*Finally, it is important to underline that the risk assessment made it possible to predict that the impact of port activity*

y localizado en zonas concretas del espacio portuario. Hecho que fue corroborado por los resultados del programa de vigilancia ambiental obteniéndose una buena calidad de las masas de agua, previamente delimitadas y tipificadas en el programa de delimitación y tipificación.

## 8. Agradecimientos

Este estudio, desarrollado en el marco del proyecto "Validación y calibración de la ROM 5.1. Calidad de aguas litorales en áreas portuarias mediante su aplicación piloto en los puertos de Gijón, Huelva y Tarragona", ha sido financiado por Puertos del Estado y la Autoridad Portuaria de Tarragona. Parte de este proyecto ha sido financiado, también, por el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo (2004-2007) del Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyectos CTM 2008-03800/TECNO y CTM 2009-11206). Los autores quieren agradecer a Montse Carrenyo, Antonio Peco y Joan Basora del Departamento de Medio Ambiente del Puerto de Tarragona su ayuda y colaboración en el desarrollo de los diversos trabajos. ♦

*on water quality is limited and confined to specific areas within the port space. This was confirmed by the results of the environmental monitoring programme which revealed the good quality of the water bodies that had been previously defined and established in the definition and characterization programme.*

## 8. Acknowledgements

*This study, developed within the framework of the project "Validation and assessment of the ROM 5.1. Quality of coastal waters in seaport areas, by pilot application at the ports of Gijon, Huelva and Tarragona" has been funded by Puertos del Estado and the Tarragona Port Authority. Part of the project was also financed by the National Research and Development Plan (2004-2007) under the auspices of the Spanish Ministry of Science and Innovation (Projects CTM 2008-03800/TECNO and CTM 2009-11206). The authors wish to express their gratitude to Montse Carrenyo, Antonio Peco and Joan Basora from the Port of Tarragona Environment Department for their assistance and collaboration in the development of these works. ♦*

## Referencias/References:

1. Wooldridge FC, McMullen C, Howe V: Environmental management of ports and harbours- Implementation of policy through scientific monitoring. *Marine Policy* 1999;23:413-425.
2. Ondiviola B, Gómez AG, Revilla JA, Juanes JA, Álvarez C, Puente A, García A, Guinda X, Carranza I: Ejemplo Teórico de Aplicación de la ROM 5.1: En: EROM 01. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia-Puertos del Estado, 2006, 1.1-1.94.
3. Puertos del Estado: ROM 5.1 "Calidad de Aguas Litorales en Áreas Portuarias", Ministerio de Fomento, 2005.
4. Comisión Europea: Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas 2000:1-72.
5. Gómez AG, Sámano ML, Ondiviola B, Juanes JA, Revilla JA: Validación y calibración de la ROM 5.1 "Calidad de aguas litorales en áreas portuarias" mediante su aplicación a los puertos de Gijón, Huelva y Tarragona. X Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Santander, 2009.
6. Ley 48/2003: de 26 de noviembre, de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general.
7. Ley 27/1992: de 24 de noviembre, de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.
8. Orden FOM/2525/2004: de 12 de julio, por la que se modifica el Plan de utilización de los espa-

cios portuarios del puerto de Tarragona, aprobado por Orden de 9 de marzo de 1994.

9. Sámano M: Calibración de la metodología propuesta por la R.O.M. 5.1 para la valoración del tiempo de renovación de masas de agua portuarias.: Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Santander, Universidad de Cantabria, 2007.
10. Gómez AG, Ondiviola B, Juanes JA., Sámano M., Revilla J.A.: Tiempo de renovación: Descriptor físico para la tipificación de masas de agua modificadas en áreas portuarias: IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. San Sebastián, 2007.
11. Gómez AG, García A, Revilla JA, Ondiviola B, Carranza I, Guinda X, Juanes JA: Aproximación metodológica para el cálculo del tiempo de renovación en áreas portuarias: En: EROM 51. Universidad Politécnica de Valencia-Puertos del Estado, 2006, p 2.1-2.25.
12. ECB: Technical Guidance Document on Risk Assessment (TGD) in support of Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) n° 1488/94 on Risk Assessment for existing substances, Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market. Part II; Italia, Comisión Europea, 2003, p 326.
13. Gómez AG, Ondiviola B, Juanes JA, Revilla JA, García A, Vargas A, Álvarez C, Puente A: A risk assessment approach to contaminant emissions in seaport areas: methodological procedure to cal-

culate susceptibility: Forth International Conference on Port Development and Coastal Environment. Varna, Bulgaria, 2007.

14. Revilla JA, García AG, García A, Ondiviola B, Juanes JA: A Risk Assessment Approach to Contaminant Emissions in Seaport Areas Using Mathematical Models. En: Proc International Conference on Mathematical and Statistical Modeling in Honor of Enrique Castillo. Ciudad Real, 2006.
15. U.N.E.: UNE 150008:2000. Análisis y evaluación del riesgo medioambiental; in AENOR (ed), 2000.
16. Comisión Europea: Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y el Consejo de 16 de diciembre de 2008 relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE, 2008.
17. Bravo E, Gómez AG, Sánchez F, Basora J, Carreño M, Peco A, Sámano ML: Desarrollo de un procedimiento metodológico para la gestión de episodios contaminantes en aguas portuarias: aplicación al puerto de Tarragona. X Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Santander, 2009.
18. Bravo E, Sánchez F, Basora J, Carreño M, Peco A, Gómez AG, Sámano ML, Juanes JA, Revilla JA, Ondiviola B: A methodological approach to manage contaminant events in seaport water bodies: application to the port of Tarragona: Mediterranean Days. Palermo, 2008.