



Implementación de técnicas de restauración ambiental para disminuir el impacto ambiental de los puertos

Autor: Arnaldo Marín

Institución: Universidad de Murcia

Otros autores: Pedro Martínez-Baños (Contesma & Comprotec, SL); Martí Vendrell (ATISAE); Carmen Pitarch (Autoridad Portuaria de Melilla); Pedro Arnau (CIMNE)

Resumen

El principal objetivo del proyecto NEREIDAS es contribuir al desarrollo de la infraestructura TEN-T mitigando el impacto del cambio climático en la biodiversidad de las áreas portuarias. En la primera fase del proyecto se ha evaluado los potenciales riesgos ecosistémicos y las distintas fuentes de carbono de las actividades del puerto de Melilla. En la segunda fase, se ha desarrollado la metodología propuesta para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar la contaminación del puerto de Melilla. Entre las propuestas para potenciar la diversidad y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero se encuentran el aumento de la rugosidad de las superficies de los bloques en la zona intermareal, favorecer la colonización de algas calcáreas y la restauración de praderas submarinas de la fanerógama de *Cymodocea nodosa* con estructuras de fijación al sedimento. Por otro lado, se ha creado un sistema de monitorización ambiental conectadas a un programa de alerta temprana en caso de vertidos e inicio de las pautas necesarias para una certificación ambiental. En el proyecto participan La Autoridad Portuaria de Melilla, La Universidad de Murcia, Contestama & Comprotec, ATISAE y CIMME.

Introducción

La Directiva de Estrategia Marina (Marine Strategy Framework Directive, MSFD: 2008/56/EC) requiere que los estados miembros tomen medidas para adquirir o mantener un buen estatus ambiental (Good Environmental Status, GES) para el 2020. De acuerdo con los artículos 5 and 11 de MSFD, se deberían establecer programas de monitoreo coordinados e implementados para el 15 de julio de 2014 con el propósito de evaluar el estado ambiental de las aguas marinas. Tales programas deberían incluir las listas indicativas de características, presiones e impactos del Anexo III de la Directiva, siguiendo las especificaciones del Anexo V, y ser capaces de valorar la adquisición de los objetivos ambientales que deberían ser establecidos en concordancia con el Artículo 10 del 15 de julio 2012.

De acuerdo con el artículo 11 de MSFD los programas de monitoreo deberán ser compatibles dentro de las regiones o subregiones marítimas y deberán integrar y complementar los requerimientos de monitoreo impuestos por otra legislación europea, tal y como la Directiva Hábitat (92/43/EEC), la Directiva de Aves (2009/147/EC) y los acuerdos internacionales como Regional Seas Conventions (RSCs). Se debería asegurar la consistencia, coherencia y poder de comparación dentro de las regiones y subregiones marítimas mediante la coordinación de los métodos de monitorización en el marco de RSCs teniendo en cuenta también las características interfronterizas y los impactos. La Directiva de Estrategia Marina requiere de los estados europeos desarrollar las estrategias marinas siguiendo un específico desarrollo temporal. El proceso sigue una secuencia lógica de adquisición de objetivos, identificación de medidas, monitoreo y continuo proceso de evaluación y adaptación.

La Directiva de Estrategia Marina señala 11 descriptores para guiar la evaluación del GES (Good Environmental Status (Tabla 1). El Buen Estado Ambiental no es necesariamente un estado prístino. En la Directiva de Estrategia Marina se identifican 11 descriptores cualitativos de buen estado ambiental. Para proporcionar una guía de estos descriptores la Comisión Europea preparó criterios y metodologías estándares para cada descriptor para evaluar el progreso hacia el GES (Decisión de la Comisión de 1 de septiembre de 2010). Los estados miembros necesitan considerar estos criterios e indicadores para identificar aquellos que serán usados en las regiones o subregiones marítimas. Subsecuentemente, los estados miembros necesitan identificar los parámetros de monitoreo para valorar estos indicadores. Aunque la responsabilidad para escoger los indicadores y parámetros de monitoreo apropiados recae en los estados miembros, estos están obligados a coordinar este trabajo dentro de las regiones o subregiones.

La tabla 1 muestra el grado o relación de las actividades portuarias con los descriptores de la Directiva de Estrategia Marina que se consideran más importantes para los puertos mediterráneos.

Tabla 1. Selección de descriptores de la Directiva de Estrategia Marina (MSFD) relacionados con actividades portuarias.

Descriptor n°.	Descriptor MSFD	Grado o relación de actividades portuarias con los descriptores de MSFD	Descriptor seleccionado
1	La diversidad biológica es mantenida	alto	Recomendado
2	Especies no nativas introducidas por las actividades humanas	alto	Recomendado
3	Poblaciones pesqueras explotadas	muy bajo	Complementario
4	Todos los elementos de las redes tróficas	muy bajo	Complementario
5	La eutrofización inducida por el hombre es minimizada	alto	Recomendado
6	Integridad del lecho marino	bajo	Complementario
7	Alteración permanente de las condiciones hidrográficas	bajo	Complementario I
8	Concentración de contaminantes	alto	Recomendado
9	Contaminantes en peces y otros alimentos marinos para consumo humano	bajo	Complementario
10	Propiedades y cantidades de basura marina	alto	Recomendado
11	Introducción de energía (ruido)	alto	Recomendado

Clasificación general de las variables de monitorización

Basándose en las normativa europea y nacional más relevante nacional (Directivas 2000/60/EC, 2008/105/EC y 2008/56/EC) y estándares (ROM 5.1; Revilla, 2007; 2013), junto con la información recogida de proyectos europeos (Portonovo) y la publicación de Ondiviela et al. (2013), una serie de indicadores físico-químicos (agua y sedimento), hidrológicos y biológicos han sido seleccionados. La principal normativa consultada en la selección preliminar era la de la Directiva Marco del Agua, junto con la Directiva de Estándares de Calidad Ambiental (EQS). De este modo, como en la Directiva Marco del Agua, las variables se agruparon en tres grupos de elementos de calidad (Anexo V):

- 1) **Elementos biológicos**,
- 2) **Elementos hidromorfológicos** manteniendo los elementos biológicos; y
- 3) **Elementos químicos y físico-químicos** manteniendo los elementos biológicos.

Los elementos físico-químicos que soportan los elementos biológicos incluyen::

- Elementos generales físico-químico (especificados en el Anexo V, tabla 1.1 de la Directiva);
- Contaminantes específicos no prioritarios identificados por los estados miembros que se vierten en cantidades significantes; y
- Contaminante específicos prioritarios que son vertidos (especificado en el Anexo X de la Directiva).

En última instancia, el programa de monitorización ambiental proporcionará lo siguiente::

- Datos de los sitios de referencia para proporcionar clases límites de condiciones para ser establecidos por todos los grupos de tipos de masas de agua.
- Datos para proporcionar la clasificación de todos los cuerpos de agua.
- Los valores medios del progreso de la monitorización con la implementación de los planes de cuencas hidrográficas y programas asociados de medidas y las bases de sus subsecuentes revisiones.
- Alerta temprana de nuevos problemas..

Tabla 2. Elementos cualitativos para ser usados en la valoración del estado ecológico/potencial basado en la lista del Anexo V, 1.1, de la Directiva Marco del Agua (Aguas costeras)		
ELEMENTOS BIOLÓGICOS	ELEMENTOS HIDROMORFOLÓGICOS MANTENIENDO LOS ELEMENTOS BIOLÓGICOS	ELEMENTOS QUÍMICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS MANTENIENDO LOS ELEMENTOS BIOLÓGICOS
<ul style="list-style-type: none"> • Composición, abundancia y biomasa de fitoplancton • Composición, abundancia y biomasa de otra flora acuática • Composición y abundancia de invertebrados bentónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Régimen de mareas: <ul style="list-style-type: none"> - dirección y corrientes dominantes -exposición del oleaje • Condiciones morfológicas: <ul style="list-style-type: none"> -variación de profundidad -estructura y substrato del lecho costero -estructura de la zona intermareal 	<ul style="list-style-type: none"> • General: <ul style="list-style-type: none"> -transparencia -condiciones térmicas -condiciones de oxigenación -salinidad -Condiciones de nutrientes • Contaminantes específicos: <ul style="list-style-type: none"> -Contaminación por sustancias prioritarias que son identificadas en los vertidos de la masa de agua -Contaminación por otras sustancias que son identificadas en significativa cantidad en los vertidos de la masa de agua

Actividades portuarias y sensibilidad a los riesgos portuarios

El protocolo ROM 5.1 desarrollado por la Administración de Puertos del Estado Español fue la primera iniciativa en el planteamiento de estrategias para la gestión de las masas de agua fuertemente modificadas por la presencia de puertos (Ondiviela et al., 2012a; Revilla et al., 2007; 2013). ROM 5.1 establecía de establecía de calidad ecológica con una serie de indicadores biológicos y físico-químicos representativos de los principales procesos de contaminación en

ambientes portuarios (por ejemplo, estéticos, eutrofización o bioacumulación) y definía el potencial ecológico siguiendo el procedimiento BQEs.

Basándose en el trabajo Ondiviela et al. (2013) se ha realizado una lista preliminar de las actividades portuarias (Clasificando las actividades en 9 categorías y 38 subcategorías) con las situaciones más probables de causar un daño ambiental, mediante la introducción de sustancias contaminantes o cambios en las condiciones físicas (Tabla 3). Estas variables proceden de la principal legislación europea relacionada (Directive 2000/60/EC, WFD; Directiva 2008/105/EC, EQS, Directive 2008/56/EC,MSFD) y estándares ambientales (ROM 5.1; Revilla et al., 2007; Ondiviela et al., 2012a,b). Estas incluían:

- (i) variables para caracterizar las condiciones generales;
- (ii) compuestos químicos normalmente descargados en suficiente cantidad dentro de la masa de agua portuaria; y
- (iii) otros indicadores biológicos relevantes, los cuales podrían ser de importancia local (ej. fanerógamas marinas, algas, invertebrados, etc).

Las variables potencialmente seleccionadas se agruparon de acuerdo a la correspondiente calidad de los elementos: variables del agua, sedimento y biológicas. De la lista de sustancias prioritarias (Anexo X, Directiva Marco del Agua), ya consideradas en el estado químico se excluían. Las basuras marinas y el ruido submarino incluidas en los descriptores 10 y 11 de la Directiva de Estrategia Marina eran también incluidas en esta lista de variables.

Las actividades y variables eran incorporadas dentro de la matriz de sensibilidad, lo cual permite identificar los indicadores que responden mejor contra las situaciones que probablemente causan una amenaza ambiental (tabla 3). La matriz de sensibilidad era modificada de la publicación de Ondiviela et al. (2013). La sensibilidad de cada variable contra los riesgos portuarios eran clasificados en cuatro niveles: alto (valor 3), moderado (valor 2), bajo (valor 1) y nulo (valor 0).

Tabla 3 . Selección de actividades portuarias basadas en la publicación de Ondiviela et al. (2013)	
Actividad nº	Actividades portuarias
1	Lixiviados de open cargo storage
2	Emisiones atmosféricas de cargo storage
3	Lixiviados de MARPOL
4	Lixiviados de áreas tratadas
5	Pérdidas de cargo activities
6	Pérdidas de bunkering (petrol stations)
7	Emisiones de transporte marítimo
8	Lixiviados de yates
9	Emisiones de acuicultura/ granja de peces
10	Emisiones de agricultura/ganadería
11	Descargas urbanas
12	Descargas industriales
13	Descargas de cuencas hídricas dentro del puerto
14	Anclaje
15	Actividades de dragado y deposición
16	Actividades que introducen nuevas especies(naves comerciales)

Tabla 4. Sensibilidad (1, 2 o 3) a riesgos ambientales portuarios. Modificado de Ondiviela et al. (2013). La sensibilidad de cada variable contra los riesgos portuarios eran clasificados en cuatro niveles: alto (valor 3), moderado (valor 2), bajo (valor 1) y nulo (valor 0).

Variables	Actividades portuarias															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Variables del agua físico-químicas																
Turbidez	3	0	3	3	2	3	0	2	3	3	3	3	3	0	3	0
Sólidos en suspensión	3	1	3	3	2	3	0	3	3	3	3	3	3	0	3	0
Color	0	0	3	3	3	0	0	3	3	0	3	3	3	0	3	0
Temperatura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0
Oxígeno	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	1	0
Salinidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
pH	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Nitratos	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	0	3	0	2	0
Nitritos	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	0	3	0	2	0
Fosfatos	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	0	3	0	2	0
N total	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	2	0
P total	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	2	0
C orgánico total	1	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	2	0
Amonio	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0	3	0	0	0
Hidrocarburos totales	0	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	2	0	0	1	0
Metales: As, Cu, Cr, Zn	2	0	3	3	3	0	2	3	1	0	1	3	1	0	3	0
Basura marina	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	3	0	0	0
Ruido submarino	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	3	3	2
Variables del sedimento físico-químicas																
C orgánico total	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	0	2	0
N Kjeldahl	2	2	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	0	2	0
P total	2	0	2	2	0	0	0	0	2	3	3	3	3	0	0	0
PCBs (P7): PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180	0	2	1	1	0	0	0	3	1	0	1	3	1	0	3	0
Metales: As, Cu, Cr, Zn	2	2	3	3	3	3	2	3	1	0	1	3	1	0	3	0
Variables hidro-morfológicas																
Tiempo de renovación	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0
Estructura del fondo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Variables biológicas																
Fitoplancton																
Clorofila a	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0
Composición y abundancia	0	0	0	0	0	1	0	0	3	3	3	3	3	0	0	0
Comunidades bentónicas																
Macroalgas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	3

Angiospermas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	3	2	3
Fauna de invertebrados	2	0	3	3	2	1	1	3	3	2	3	3	3	1	3	3
Fauna de peces	2	0	3	3	2	1	1	3	3	2	3	3	3	0	3	3

Visualización de las principales variables de monitorización

La matriz de sensibilidad se analizó con técnicas de ordenación para obtener grupos de riesgos ambientales portuarios con similar variables. Las técnicas de ordenación adoptada en este trabajo fue Multidimensional Scaling (MDS) (Shepard,1962; Kruskal,1964). La matriz de sensibilidad era transformada a presencia/ausencia. El objetivo principal de éste método de ordenación es reducir la dimensionalidad del conjunto de datos para poder visualizar las principales patrones y estructuras. El análisis de clúster era aplicado para encontrar la clasificación de los principales grupos de riesgos ambientales portuarios con similar variables.

El resultado del análisis multivariante se muestra en las figuras 1 y 2. El análisis de clúster clasificaba los riesgos portuarios en 8 grupos (1-3-4-15, 2, 6, 7, 5-8, 9-11-13, 10-12 and 14-16).

La figura 2 muestra la ordenación de los riesgos portuarios atendiendo a la similaridad de las variables y las variables que explicaban mejor esta ordenación. La tabla 5 indica la selección de las variables de monitorización de acuerdo a los riesgos específicos del puerto estudiado.

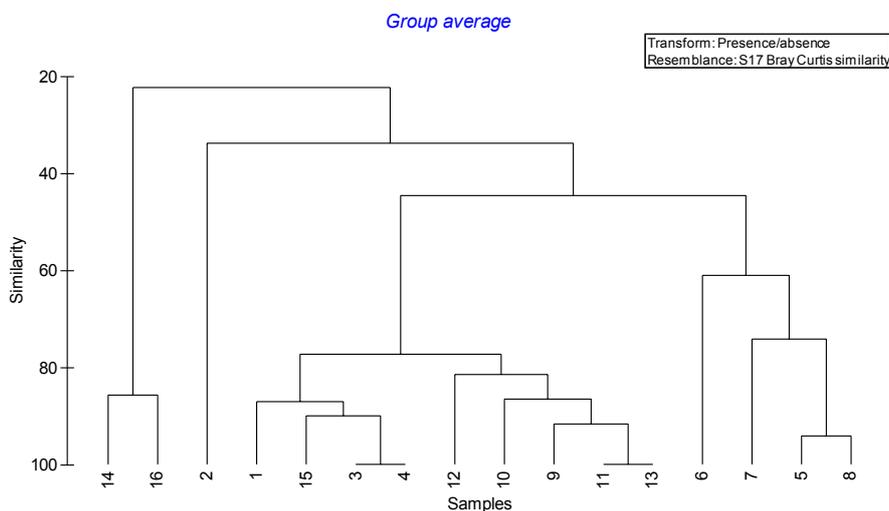


Fig. 1. Análisis de clúster con la clasificación de los riesgos ambientales portuarios con las mismas variables de monitorización. Los números indican los riesgos ambientales portuarios: 1, Lixiviados de open cargo storage; 2, Emisiones atmosféricas de cargo storage; 3, Lixiviados de MARPOL; 4, Lixiviados de áreas tratadas; 5, Pérdidas de cargo activities; 6, Pérdidas de bunkering (petrol stations); 7, Emisiones de transporte marítimo; 8, Lixiviados de yates; 9, Emisiones de acuicultura/granja de peces; 10, Emisiones de agricultura/ganadería; 11, Descargas urbanas; 12, Descargas industriales; 13, Descargas de cuencas hídricas dentro del puerto; 14, Anclaje; 15, Actividades de dragado y deposición; 16, Actividades que introducen nuevas especies(naves comerciales). Los círculos y flechas indican la correlación de Pearson con las variables.

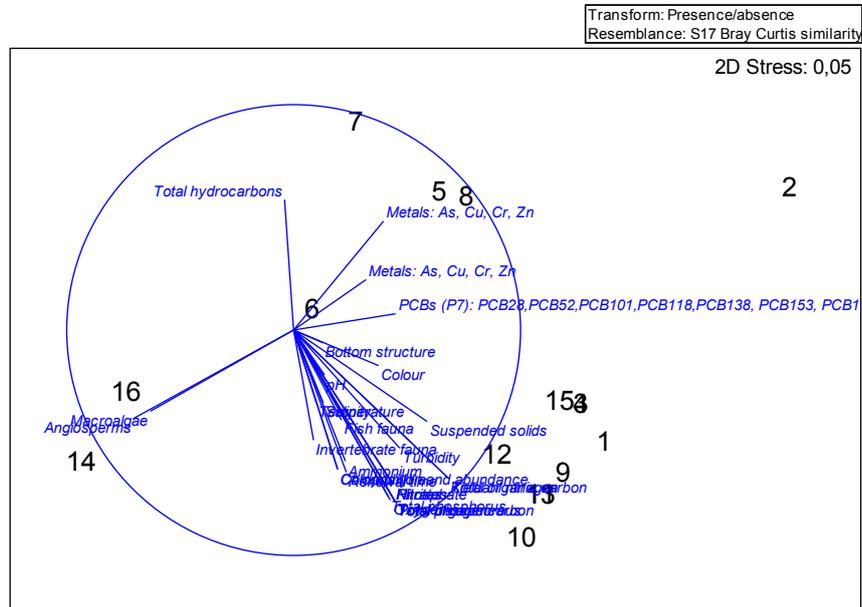


Fig. 2. Análisis de ordenación MDS de los riesgos ambientales portuarios. Los números indican los riesgos ambientales portuarios: 1, Lixiviados de open cargo storage; 2, Emisiones atmosféricas de cargo storage; 3, Lixiviados de MARPOL; 4, Lixiviados de áreas tratadas; 5, Pérdidas de cargo activities; 6, Pérdidas de bunkering (petrol stations); 7, Emisiones de transporte marítimo; 8, Lixiviados de yates; 9, Emisiones de acuicultura/ granja de peces; 10, Emisiones de agricultura/ganadería; 11, Descargas urbanas; 12, Descargas industriales; 13, Descargas de cuencas hídricas dentro del puerto; 14, Anclaje; 15, Actividades de dragado y deposición; 16, Actividades que introducen nuevas especies(naves comerciales). Los círculos y flechas indican la correlación de Pearson con las variables.

Tabla 5. Selección de variables basadas en la ordenación de riesgos portuarios con similar características de monitorización. *Variables altamente recomendadas																
Variables	Actividades portuarias															
	1	3	4	15	2	6	7	5	8	9	11	13	10	12	14	16
Variables del agua fisico-químicas																
Turbidez	*	*	*	*		*			*	*	*	*	*	*		
Sólidos en suspensión	*	*	*	*		*			*	*	*	*	*	*		
Color		*	*	*				*	*	*	*		*	*		
Temperatura														*		
Oxígeno									*	*	*		*	*		
Salinidad											*					
pH														*		
Nitratos									*	*	*		*	*		
Nitritos									*	*	*		*	*		
Fosfatos									*	*	*		*	*		
N total									*	*	*		*	*		
P total									*	*	*		*	*		
C orgánico total									*	*	*		*	*		
Amonio									*	*	*		*	*		
Hidrocarburos totales		*	*	*		*	*		*	*			*	*		
Metales: As, Cu, Cr, Zn		*	*	*				*	*				*	*		
Basura marina																
Ruido submarino										*	*	*	*	*		
Variables del sedimento fisico-químicas										*	*	*	*	*		
C orgánico total									*	*			*	*		
N Kjeldahl				*				*	*			*	*	*		
P total		*	*	*		*		*	*			*	*	*		
PCBs (P7): PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180									*	*			*	*		
Metales: As, Cu, Cr, Zn				*		*		*	*				*	*		*
Variables hidro-morfológicas																
Tiempo de renovación									*	*	*	*	*	*		
Estructura del fondo			*										*	*		
Variables biológicas																
Fitoplancton																
Clorofila a									*	*	*	*	*	*		
Composición y abundancia									*	*	*	*	*	*		
Comunidades bentónicas																
Macroalgas									*	*	*	*	*	*		*
Angiospermas									*	*	*	*	*	*		*
Fauna de invertebrados		*	*	*				*	*	*	*	*	*	*		*
Fauna de peces		*	*	*				*	*	*	*	*	*	*		*

Conclusiones

En conclusión, la selección de parámetros clave de los ecosistemas en áreas portuarias para el análisis de riesgos ambientales se ha desarrollado a través de cuatro pasos consecutivos (Fig. 3):

- Selección de una serie de indicadores físico-químicos (agua y sedimento), hidromorfológicos y biológicos.
- Identificación de actividades portuarias
- Elaboración de una matriz de sensibilidad con indicadores y actividades portuarias
- Ordenación y clasificación de las actividades portuarias con similares indicadores físico-químicos (agua y sedimento), hidromorfológicos y biológicos.

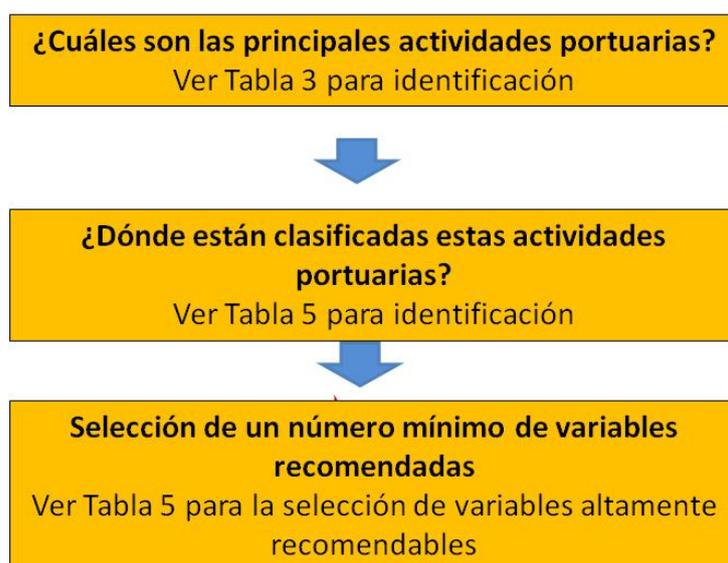


Fig. 3. Diagrama para la selección de los parámetros claves del ecosistema en áreas portuarias para el análisis de riesgos ambientales.

Agradecimientos

El proyecto Europeo NEREIDAS (2012-EU-92177S) ha sido financiado en el ámbito de las redes transeuropeas de transporte (RTE-T).

Bibliografía

- Kruskal JB, 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika* 29, 115-129.
- Ondiviela, B., Juanes, J.A., Gómez, A.G., Sámano, M.L., Revilla, J.A., 2012a. Methodological procedure for water quality management in port areas at the EU level. *Ecological Indicators* 13, 117–128.
- Ondiviela, B., Puente, A., Juanes, J.A., Borja, A., 2012b. PORTONOVO: water quality in harbours, ACTIVITY 6. 1. Selection, development and validation of indicators to assess the ecological potential. Ref: 2009-1/119. Atlantic Area Transnational Cooperation Programme 2007–2013 (Interreg IVB e Atlantic).
- Ondiviela, B., Gómez, A.G., Puente, A., Juanes, J.A. 2013. A pragmatic approach to define the ecological potential of water bodies heavily modified by the presence of ports. *Environmental Science & Policy* 33: 320 – 331
- ROM 5.1-13. http://www.puertos.es/programa_rom/rom-51-1
- Revilla, J. A., Juanes, J. A., Ondiviela, B., Gómez, A. G., García, A., Puente, A., Carranza, I., Guinda, X., Rojo, J., & López, M. (2007). Recommendations for maritime works. ROM 5.1-05. Quality of coastal waters in port areas. Spanish National Port Administration. Madrid.
- Revilla, J. A., Juanes, J. A., Ondiviela, B., Gómez, A. G., Sámano, M.L., Fernández, F., García, A., Puente, A., Guinda, X., Fernández, P., & Echevarri, B. 2013. Recommendations for maritime works. ROM 5.1-13. Quality of coastal waters in port areas. Spanish National Port Administration. Madrid.
- Shepard RN, 1962. The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. *Psychometrika* 27, 125-139; 219-246.