

Nota Científica

Implementación de un modelo de evaluación de riesgo del agua de lastre en el puerto de Río Grande, Brasil*

Daniele L.B. Mallmann¹ & Milton L. Asmus¹

¹ Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Departamento de Oceanografia
Laboratório de Gerenciamento Costeiro, Caixa Postal 474, Rio Grande, RS, 96201-900, Brasil

RESUMEN. La ocurrencia de especies exóticas en el estuario de la Laguna de los Patos puede ser vinculada con el vertimiento de aguas de lastre de las embarcaciones que atracan en el puerto de Río Grande, una vez que el mismo es clasificado como conspicuo receptor de agua de lastre, para el cual no se han adoptado medidas de administración ambiental. El reconocimiento que la invasión de especies exóticas por esta vía es un problema desde escala local hasta escala internacional, viene estimulando iniciativas científicas, legales y de gestión para disminuir este problema. El puerto de Río Grande recibe buques de gran capacidad y concentra carga en ruta internacional, lo que aumenta su susceptibilidad a invasiones y la necesidad del manejo ambiental. Este trabajo propone la implementación de un modelo de evaluación de riesgo en el área, creado por el Programa Globallast. El modelo permite el cálculo de un coeficiente de riesgo global basado en la frecuencia con que el puerto es visitado y en índices de similitud entre los puertos de origen y de Río Grande. Los resultados sugieren la utilidad del modelo como herramienta para un programa de gestión ambiental para la zona portuaria.

Palabras clave: agua de lastre, puerto de Río Grande, Laguna de los Patos, riesgo ambiental, modelo de evaluación, Brasil.

Implementation of ballast water risk assessment in the port of Rio Grande, Brazil*

ABSTRACT. The occurrence of exotic species in the estuary Laguna de los Patos could be related to the ballast water released at the port of Rio Grande once it has been classified as a conspicuous receptor of ballast water; no related environmental management measures have been adopted. The recognition that invasions of exotic species via ballast water are an increasing problem from local to international scales has stimulated scientific, legal, and management initiatives in order to control the problem. The port of Rio Grande receives large-capacity ships and concentrates cargo from international routes, thereby increasing its susceptibility to exotic species and the need to manage this threat. This paper proposes the implementation of a risk evaluation model for the area, created by the Globallast Program. The model generates a global risk coefficient based on the frequency with which the port is visited and similarity indexes for the ports of origin and Rio Grande. The results suggest the model is a useful tool for environmental management programs in the port area.

Key words: ballast water, port of Rio Grande, estuary Laguna de los Patos, environmental risk, evaluation model, Brazil.

Autor corresponsal: Daniele Mallmann (daniele_laura@yahoo.com.br)

El puerto de Río Grande (Estado de Río Grande do Sul, Brasil) está localizado en el margen oeste del canal de conexión entre la Laguna de los Patos y el océano Atlántico (32°07'20"S, 52°05'36"W). Moller (1996) describe la Laguna de los Patos como

una región ecológicamente sensible, de 10.360 km² de superficie, 250 km de longitud, 40 km de ancho y 5 m de profundidad media, cuya conexión con el océano Atlántico se produce por un canal de 22 km de extensión, 2 km de ancho y 12 m de profundidad

* Trabajo presentado en el XXV Congreso de Ciencias del Mar de Chile y XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR), realizados en Viña del Mar, entre el 16 y 20 de mayo de 2005.

máxima. El complejo portuario de Río Grande está formado por las instalaciones del Puerto Viejo, el Puerto Nuevo, el Superpuerto y el Puerto de São José do Norte, y constituye una vía marítima de gran importancia, contribuyendo al desarrollo económico y la ocupación urbana de la región.

Si bien es clasificado por Barros (2002) como conspicuo receptor de aguas de lastre, el puerto de Río Grande no adopta medidas de gestión ambiental respecto a las operaciones que involucran estas aguas. Tampoco los buques que atracan en el área estudiada adoptan procedimientos adecuados de deslastre, lo que puede causar un desequilibrio ecológico en el estuario de la Laguna de los Patos y deja en evidencia la necesidad de la elaboración y cumplimiento de un plan de gestión ambiental de las aguas de lastre en ese puerto.

El uso de lastre es esencial para la seguridad y eficiencia de las operaciones de navegación, proporcionando equilibrio y estabilidad a buques sin carga (Brasil, 2003). El agua ha sido frecuentemente utilizada con este fin por presentar mayor facilidad y economía en detrimento del lastre sólido, en forma de arena, piedras o metales, muy utilizado en el pasado. Los organismos marinos contenidos en los estanques son transportados con el agua y el sedimento y tienen serias implicancias ambientales. La introducción de especies marinas exóticas en diferentes ecosistemas, vía lastre, incrustación en el casco u otros vectores, fue identificada por la Organización Marítima Internacional (OMI) como una de las cuatro mayores amenazas a los océanos. Las otras tres son las fuentes terrestres de contaminación marina, la exploración excesiva de los recursos vivos del mar y la alteración/destrucción de las zonas costeras y de los hábitats físicos (Brasil, 2003).

El aumento del tráfico marítimo junto al uso de grandes buques ha hecho del agua de lastre el mecanismo más eficiente para la dispersión de organismos marinos (Souza *et al.*, 2001), sin analogías en el medio terrestre. El transporte de organismos indeseables en los estanques de lastre es causado por la presencia de estados planctónicos en el ciclo de vida de gran parte de organismos marinos, en forma de huevos, quistes o larvas y por la diversidad de bacterias, pequeños invertebrados y otros microorganismos marinos.

La ocurrencia de especies exóticas ha sido registrada en toda la extensión de la Laguna de los Patos y puede estar asociada al proceso de deslastre de buques en los puertos cercanos. Ejemplos de esto

son los moluscos bivalvos de origen asiático *Limnoperna fortunei* y *Corbicula fluminea*, ampliamente diseminados por la laguna; los crustáceos *Metapenaeus monocerus* y *Rhithropanopeus harrisi*, y las microalgas *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum* y *Pseudo-nitzschia* spp., entre otros organismos exóticos que se presentan o se establecen en el ambiente y pueden provocar una serie de impactos ecológicos, económicos y sanitarios.

De manera general se pueden adoptar planes uniformes de control del agua de lastre, donde todos los buques atracados son sometidos a los mismos procedimientos, o selectivos, donde se establecen procedimientos específicos de acuerdo con el riesgo que el buque representa para el ambiente portuario receptor, previamente determinado. La primera opción constituye un plan de manejo más simple, que no requiere mayores ni más complejos antecedentes. Sin embargo, la necesidad de aplicar procedimientos estandarizados, aún para aquellos buques que no representan mayor riesgo, torna esa alternativa económicamente inviable, además de técnicamente impracticable. Un plan selectivo, al contrario, requiere un gran volumen de información y tomas de decisión, pero ofrece como ventaja la mayor factibilidad.

El presente trabajo constituye una propuesta dirigida a seleccionar adecuadamente los procedimientos de administración del agua de lastre, constituyentes de un plan de acción ambiental, a ser incluido en un programa de gestión ambiental portuaria. Más específicamente, esta iniciativa pretende aplicar una metodología para determinar el nivel de crítico del problema de la contaminación por aguas de lastre en el área portuaria de Río Grande y señalar las acciones adecuadas para su manejo ambiental.

El sistema de evaluación utilizado fue desarrollado por el Programa Globallast (Global Ballast Water Management Program) y parte del principio que cuanto mayor es la frecuencia y el volumen de agua de lastre proveniente de un determinado lugar, similitud ambiental entre los puertos donantes y receptores y ocurrencia de especies de riesgo en la bio-región del puerto donante, mayores son los riesgos representados en el área de descarga del agua de lastre. Este sistema requiere de una serie de datos sobre el agua de lastre descargada; parámetros ambientales del puerto de Río Grande y de los puertos de origen, y destino del agua de lastre; y de las especies de riesgo por bio-región, clasificadas según su origen como nativa, criptogénica o introducida y también según el impacto que causan en no-nociva,

potencialmente nociva o reconocidamente nocivas (especies blanco), utilizados en la determinación de coeficientes de riesgo primarios.

Los formularios de agua de lastre establecidos en la resolución A-868 (20) por la Organización Marítima Internacional y aplicados a todos los buques que atracan en Brasil como requisito para la obtención del certificado de libre práctica, fueron obtenidos junto al Instituto de Estudios del Mar Almirante Paulo Moreira, entre agosto de 2004 y mayo de 2005. Estos documentos proporcionaron los datos que permitieron calcular el coeficiente de riesgo primario C_1 , que representa la frecuencia relativa del número de estanques de lastre provenientes de un determinado puerto en relación al total de estanques descargados. De esos formularios también se obtuvo la información necesaria para calcular el coeficiente C_2 , dado por la proporción del volumen de agua de lastre de un determinado puerto de origen en relación al volumen total descargado en Río Grande.

El coeficiente C_3 proviene de un análisis multivariado de coeficiente de Distancia Euclidiana, realizado paralelamente, donde se generaron valores de similitud ambiental entre el puerto receptor y cada puerto donador de agua de lastre. Este coeficiente presenta valores de 0,005 (similitud mínima) a 1,0 (similitud máxima). El análisis de similitud ambiental fue realizado utilizando las variables ambientales citadas a continuación y el coeficiente de Distancia Euclidiana.

- Temperatura del agua (°C) - Media y máxima durante el período lluvioso, media mínima durante el período seco y máxima durante el período seco.
- Temperatura del aire (°C) - Media y máxima del día durante el período lluvioso, media de la noche durante el período seco y mínima de la noche durante el período seco.
- Salinidad - Media y mínima durante el período lluvioso, media durante el período seco y máxima del período seco.
- Marea (m) - Variación media de sicigia y variación media de cuadratura.
- Precipitación total en los seis meses más secos (mm).
- Precipitación total en los seis meses más lluviosos (mm).
- Número de meses con 75% del total de la precipitación anual.

- Distancia entre fuentes y la desembocadura del río más próxima (km).
- Tamaño de la cuenca hidrográfica (km²).

Además de esos parámetros ambientales, se utilizaron para fines de comparación de similitud ambiental, las distancias entre el puerto y los hábitats marinos próximos. Las distancias medidas en las cartas náuticas del área del puerto son categorizadas conforme a la siguiente convención:

<1 km → 5 1-5 km → 4 5-10 km → 3
10-50 km → 2 50-100 km → 1 >100 km → 0

Las estructuras consideradas fueron el muelle de paredes verticales, muelle de pilares de concreto, escolleras/espigones y muelle de pilares de madera (marinas antiguas y muelle para embarcaciones de pesca). Los hábitats marinos considerados fueron salina, playa arenosa, playa de guija o cascajo, manglar (en el caso de Río Grande, marismas, como equivalente ecológico para esta latitud), planicie de marea (fangosa), acantilado rocoso, fondo arenoso con conchas, fondo limo-arcilloso, pastos marinos, infralitoral rocoso y arrecife de coral.

El coeficiente C_4 proporciona una medida del riesgo presentado por cada puerto donador debido al número de especies de riesgo presentes en la bioregión del puerto, de acuerdo a lo indicado en la Figura 1. El valor de este coeficiente representa la proporción de riesgo que el puerto presenta en relación al riesgo total que corresponde al peso de todas las especies de riesgo identificadas en las bio-regiones de todos los puertos donadores de agua de lastre para ese puerto. En este análisis, para las especies introducidas (I) se atribuyó un peso 1; para las especies potencialmente nocivas (P), un peso 3; para las especies reconocidamente nocivas (N) un peso 10, como se expresa en la ecuación (Globalballast, 2003):

$$C_4 = \frac{[I + 3P + 10N]}{\text{Número total de especies de riesgo en las bio-regiones de todos los puertos donadores}}$$

Además se utilizaron dos factores de reducción de riesgo, R_1 , relacionados con el tamaño del estanque de agua de lastre, puesto que cuanto menor es el estanque, más rápido se deteriora la calidad del agua y menor es la sobrevivencia de los organismos en el estanque (Tabla 1).

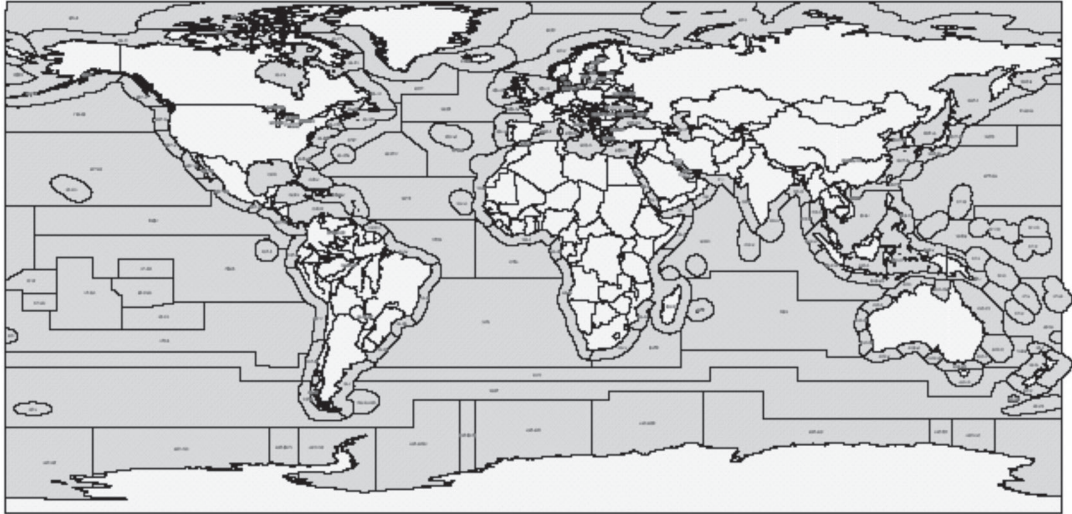


Figura 1. Mapa de las bio-regiones marinas del globo (Awad *et al.*, 2004).

Figure 1. Map of global marine bio-regions (Awad *et al.*, 2004).

Tabla 1. Factor de reducción de riesgo en función del volumen máximo descargado por el estanque, ton: toneladas.

Table 1. Risk reduction factor as function of the maximum volume of unloaded tank, ton: tons.

Vol (ton)	<100	100-500	500-1.000	>1.000
R ₁	0,4	0,6	0,8	1,0

El segundo factor se relaciona con el tiempo de almacenamiento del agua de lastre. Cuanto mayor es el tiempo de almacenamiento, menor es la sobrevivencia de los organismos y, por tanto, menor es el riesgo. Para calcular este factor, se registró el número mínimo de días de almacenamiento en un determinado puerto y se atribuye un valor siguiendo una escala de categorías logarítmicas (Tabla 2).

Tabla 2. Factor de reducción de riesgo en función del tiempo mínimo de almacenamiento.

Table 2. Risk reduction factor as a function of the minimum storage time.

T (días)	<5	5-10	10-20	20-50	>50
R ₂	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2

Los cuatro coeficientes de riesgo primario y los dos factores de reducción de riesgo fueron integrados en el coeficiente de riesgo global (CRG), por medio de la fórmula (Globallast, 2003):

$$CRG = [C_1 + (C_2 * R_1) + C_3 + (C_4 * R_2)] / 4$$

Durante el período de análisis atracaron 971 buques en Río Grande (Fig. 2), de los cuales 61 (6,28%) declararon deslastrar en el puerto, totalizando 237 estanques de agua de lastre y un volumen de aproximadamente 375.326 toneladas métricas (TM). El bajo porcentaje de buques que descargaron lastre puede ser indicio de que el volumen total, si bien es enorme, esté subestimado, lo que representa un impacto potencial significativo.

La similitud ambiental fue calculada para 356 puertos comparados con el puerto receptor, de los cuales 19 constituyen puertos-fuente de aguas de lastre para el puerto de Río Grande. Para los restantes puertos (indicados con asterisco en la Tabla 3) se utilizó una media de los coeficientes C₃ estimados para todos los puertos analizados.

Se identificaron 40 puertos-fuente de aguas de lastre para el puerto de Río Grande, localizados en 21 bio-regiones marinas distintas. Esta cobertura ambiental de los donadores justifica el uso de una metodología de control selectivo de aguas de lastre según los niveles de riesgo. De acuerdo con los coeficientes globales de riesgo determinados (Tabla 3), los puertos pueden ser clasificados en diferentes categorías de riesgo.

Los resultados obtenidos no indican *a priori* una característica destacada en términos del nivel crítico de riesgo para el conjunto de puertos que aportan el agua deslastrada al puerto de Río Grande. Más bien, sugieren una variabilidad de potencial de riesgo que

Tabla 3. Coeficientes primarios y global de riesgo, estimados para cada puerto de origen del agua de lastre para el puerto receptor. DS: desviación estándar.**Table 3. Primary global risk coefficients represented by each ballast water source-port to the receptor port. DS: standard deviation.**

Puerto de origen	Bio-región	País	C1	C2	R1	R2	C3	C4	CG	Riesgo relativo (%)
Niigata	NWP-4 ^a	Japón	0,1308	0,3127	0,8	1,0	0,392	0,168	0,235	3,64
Buenos Aires	SA-IIA	Argentina	0,0338	0,0061	0,8	1,0	0,549	0,306	0,223	3,46
Santos	SA-IIB	Brasil	0,1097	0,0609	0,6	1,0	0,450	0,285	0,220	3,41
Rotterdam	NEA-II	Holanda	0,0211	0,0601	0,6	1,0	0,486	0,306	0,212	3,29
Durban	WA-V	África del Sur	0,0127	0,0018	1,0	1,0	0,584	0,235	0,208	3,23
Savona	MED-II	Italia	0,0042	0,0035	1,0	1,0	0,501*	0,321	0,207	3,21
Itajaí	SA-IIB	Brasil	0,0042	0,0005	0,8	0,8	0,572	0,285	0,201	3,11
Valencia	MED-II	España	0,0253	0,0376	1,0	1,0	0,391	0,321	0,194	3,00
Ámsterdam	NEA-II	Holanda	0,0253	0,0615	1,0	0,6	0,501*	0,306	0,193	2,99
Porto Alegre	SA-IIA	Brasil	0,0379	0,0268	0,6	0,6	0,501*	0,306	0,185	2,86
Cádiz	NEA-V	España	0,0084	0,0402	1,0	0,6	0,501*	0,308	0,184	2,84
Montevideo	SA-IIA	Uruguay	0,0464	0,0060	1,0	0,6	0,491	0,306	0,182	2,81
Rio de Janeiro	SA-IIB	Brasil	0,0042	0,0003	1,0	0,8	0,479	0,285	0,178	2,75
Monfalcone	MED-VII	Italia	0,0295	0,0295	1,0	0,4	0,501*	0,298	0,170	2,63
Puerto Cabello	CAR-III	Venezuela	0,0084	0,0022	1,0	1,0	0,501*	0,161	0,168	2,60
Singapur	EAS-VI	Singapur	0,0042	0,0018	0,6	0,8	0,506	0,176	0,163	2,52
Tramandaí	SA-IIB	Brasil	0,0127	0,0101	0,8	0,4	0,501*	0,285	0,159	2,46
Imbituba	SA-IIB	Brasil	0,0169	0,0052	0,6	0,4	0,501*	0,285	0,159	2,46
Houston	CAR-I	EUA	0,0042	0,0006	0,8	0,4	0,591	0,092	0,158	2,45
Paranaguá	SA-IIB	Brasil	0,0379	0,0146	1,0	0,4	0,457	0,285	0,156	2,41
Paramaribo	CAR-VI	Surinam	0,0042	0,0089	1,0	0,6	0,501*	0,161	0,153	2,36
Aratu	SA-III	Brasil	0,0084	0,0010	0,6	0,8	0,501*	0,124	0,152	2,36
Hong Kong	NWP-2	Hong Kong	0,0084	0,0034	0,6	0,6	0,388	0,338	0,150	2,33
Recife	SA-III	Brasil	0,0084	0,0167	0,6	0,6	0,501*	0,124	0,148	2,30
Livorno	MED-II	Italia	0,0084	0,0065	1,0	0,6	0,368	0,321	0,144	2,23
Sepetiba	SA-IIB	Brasil	0,0042	0,0007	1,0	0,4	0,456	0,285	0,144	2,23
Jorf Lasfar	WA-I	Marruecos	0,0379	0,0597	0,6	1,0	0,501*	0	0,144	2,22
Douala	WA-III	Camerún	0,0211	0,0135	0,8	1,0	0,501*	0,023	0,139	2,15
Zárate	SA-IIA-RP	Argentina	0,0211	0,0178	1,0	0,4	0,501*	0,021	0,137	2,12
Bahía Blanca	SA-I	Argentina	0,0211	0,0145	1,0	1,0	0,501*	0,006	0,136	2,10
Saldaña	WA-IV	África del Sur	0,0211	0,0349	1,0	0,4	0,392	0,237	0,136	2,10
Puerto Ordaz	CAR-II OR	Venezuela	0,0042	0,0371	1,0	1,0	0,501*	0	0,136	2,10
Puerto Madryn	SA-I	Argentina	0,0211	0,0218	0,6	0,8	0,501*	0,006	0,134	2,07
San Lorenzo	SA-IIA RP	Argentina	0,0042	0,0007	1,0	1,0	0,501*	0,021	0,132	2,04
Antwerpen	NEA-II	Bélgica	0,0084	0,0040	0,8	0,4	0,382	0,306	0,129	2,00
Punta Arenas	SEP-A'	Chile	0,0042	0,0007	1,0	0,6	0,501*	0	0,126	1,96
Cabo Negro	SEP-A'	Chile	0,0042	0,0011	0,6	1,0	0,501*	0	0,126	1,96
Paso Summer	SEP-A'	Argentina	0,0042	0,0003	1,0	1,0	0,501*	0	0,126	1,96
Chacabuco	SEP-A'	Chile	0,0042	0,0003	0,4	0,6	0,501*	0	0,126	1,96
Campana	SA-IIA-RP	Argentina	0,0042	0,0066	1,0	1,0	0,310	0,021	0,085	1,32
Media			0,0200	0,0232	X	X	X	0,183	0,161	2,50
DS			0,0262	0,0506	X	X	X	0,130	0,033	0,51
Otras áreas			0,1983	0,0682						

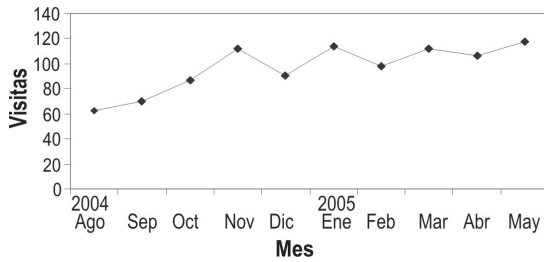


Figura 2. Visitas de buques en el puerto de Río Grande durante el periodo de muestreo.

Figure 2. Ships visits to the Porto de Rio Grande during the sampling period.

justificaría una muestra selectiva para el acompañamiento y gestión de este problema ambiental. En este sentido, la metodología propuesta por el Programa Globalast parece ser indicada para su implementación en este puerto, en desmedro de una que considere uniformemente el riesgo del agua deslastrada. Esa característica aparece claramente al considerar los valores de las desviaciones estándar en relación a las medias de los diferentes coeficientes primarios, destacados en las líneas inferiores de la Tabla 3.

Los valores de riesgo encontrados podrán, a partir de este análisis, servir como indicadores de los puertos exportadores de mayor peligrosidad para Río Grande, y generar una base útil de información a ser incluida en un programa integrado de gestión ambiental portuaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por la concesión de beca de iniciación científica (PI-

BIC/FURG); al IEAPM (Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira), al Sr. Alexandre Leal por facilitar la información que permitió la realización del estudio y a Victoria Holguin y Santiago Quijano por su ayuda en la traducción de este trabajo.

REFERENCIAS

- Awad, A., C. Clarke, L. Greyling, R. Hilliard, Polglaze & S. Raaymakers. 2004.** Ballast water risk assesment, Port of Saldanha Bay, Republic of South Africa, November 2003: Final Report. GloBallast Monograph Series, 13. IMO, London, 63 pp.
- Barros, A.F. 2002.** Caracterização do Puerto do Rio Grande sob o aspecto da água de lastro. Monografia. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 149 pp.
- Brasil. 2003.** Água de lastro: O problema. Ministério do Meio Ambiente. (www.mma.gov.br/pot/squa/index.csm). Visitada en mayo de 2004.
- Global Ballast Water Management Programme (Globalast). 2003.** User Guide (v. 1.4) for the BWRA Database/ GIS System. IMO, London, 53 pp.
- Moller, O.O. 1996.** Hydrodynamique de la Lagune dos Patos (30°S, Brasil): Measures et modélisation. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux, Bordeaux, 204 pp.
- Souza, R.C.C.L., F.C. Fernandes, O.M. Danelon, K.T.S. Larsen, J.S.V. Silva, F. Collichio & L. Rapagnã. 2001.** Metodologia de amostragem dos organismos transportados em água de lastro dos navios mercantes. Rev. Pesquisa Naval, 14: 221–235.

Recibido: 14 octubre 2005; Aceptado: 14 septiembre 2006