

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS DE LA BAHÍA DE CIENFUEGOS, CUBA (2004-2007)

Mabel Seisdedo*, Roberto H. Herrera* y Gustavo Arencibia**

*Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) - Cuba.

** Centro de Investigaciones Pesqueras - Ciudad de La Habana. Cuba.

RESUMEN

La eutrofización es uno de los procesos más estudiados en los ecosistemas costeros, por consiguiente, son utilizados con frecuencia diversos índices para la clasificación del estado trófico de las aguas. A finales de la década del 70, en la bahía de Cienfuegos se realizó un estudio de la eutrofización; sin embargo, durante casi 30 años han ocurrido cambios socioeconómicos que han generado la modificación de determinadas actividades que influyen en la bahía, lo cual trae consigo la necesidad de realizar un estudio actualizado del estado trófico de las aguas de esta bahía teniendo en cuenta la actual presión antropogénica sobre la misma. Se obtuvo un índice de eutrofización (IE) por temporada climática para el nitrógeno inorgánico y el fósforo inorgánico considerando los datos hidrológicos obtenidos en 10 campañas realizadas durante el período 2004-2007. Los valores de los IE obtenidos mostraron para el nitrógeno inorgánico predominio de las condiciones mesotróficas en la temporada lluviosa y condiciones oligotróficas en la temporada poco lluviosa; mientras que para el fósforo inorgánico predominan las condiciones oligotróficas, en ambas temporadas climáticas. El análisis comparativo con estudios previos sugiere que el cambio de funciones de la Fábrica de Fertilizantes, en 1995, fue muy favorable para la calidad de las aguas desde el punto de vista trófico.

Palabras clave: estado trófico, índice, calidad del agua y bahía de Cienfuegos.

ABSTRACT

Eutrophication is one of the most studied processes in coastal ecosystems; hence different indexes are used frequently for the classification of water trophic state. At the end of the 70s, a study of eutrophication in Cienfuegos bay was carried out; however, during 30 years socioeconomic changes have occurred and these have generated modifications of different activities with influence on this bay. Consequently, a study to evaluate the current trophic state taking into account the anthropogenic activities was carried out. An eutrophication index was obtained (EI) for the inorganic nitrogen and the inorganic phosphorus considering both seasons (rainy and not very rainy) and hydrological data obtained from 10 campaigns in the period 2004-2007. The obtained EI values showed for inorganic nitrogen prevalence of mesotrophic conditions in the rainy season and oligotrophic conditions in the not very rainy season; while the oligotrophic conditions prevail for inorganic phosphorus, in both seasons. The comparative analysis with previous studies suggests that activities change in the Fertilizers Factory, in 1995, had a good influence on the water quality from the trophic point of view.

Key words: trophic state, index, water quality, and Cienfuegos Bay.

INTRODUCCION

Durante las últimas cuatro décadas ha pasado a ser más evidente que la eutrofización es un problema significativo en muchos estuarios y zonas costeras. Síntomas como altos niveles de clorofila *a* (Nixon y Pilson, 1983), eventos

de anoxia e hipoxia (CENR, 2000; Kennish, 2002) y florecimientos de algas tóxicas y nocivas (Rabalais *et al.*, 1996) se han identificado en zonas estuarinas de Australia, Japón y Estados Unidos (Okaichi, 1997; Maher, 2001), incluso Margalef (1998) expone que los episodios de mareas rojas son más frecuentes debido al incremento de la eutrofización en aguas costeras. Otras consecuencias producidas por el enriquecimiento de nutrientes de las áreas costeras incluyen muerte de peces (Glasgow y Burkholder, 2000) y pérdida o degradación de los lechos marinos (McGlathery, 2001); así como significativos costos económicos y sociales (Anderson, 2000). Si bien se ha documentado la existencia de los problemas ambientales y la pérdida de la calidad del agua por el enriquecimiento de nutrientes en la zona costera, la mayoría de estas investigaciones refieren a casos particulares de países localizados en latitudes templadas (*e.g.* Vollenweider *et al.*, 1992; Tett *et al.*, 2003), requiriéndose la descripción de los mismos en ecosistemas como el caso de estudio.

Algunos autores (Corredor *et al.*, 1999; Downing *et al.*, 1999, Aranda, 2004) consideran posible que los ecosistemas tropicales de países en vías de desarrollo, reaccionen con respuestas más evidentes a los estímulos del Proceso de Eutrofización, en comparación a las costas de zonas templadas, al contar con mayor intensidad y duración de la radiación solar; así como por la carencia de sistemas de depuración eficientes.

La aplicación de índices y escalas que se basan en el análisis de nutrientes, resulta muy beneficiosa para el estudio del proceso de eutrofización (Vollenweider *et al.*, 1998; López-Cortés *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2006). Sin embargo, la bahía de Cienfuegos, después del estudio de Areces (1986) a finales de la década del 70, no ha contado con otra evaluación del estado trófico de sus aguas que tenga en cuenta los cambios ocurridos en las actividades que inciden en esta bahía, lo cual es el objetivo del presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio:

Área de estudio:

La bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada en los 22. 09' LN y 80. 27' LO en la región centro y sur de Cuba (Fig. 1), tiene un área de 88.46 km², un volumen total de 0.84 km³ y una profundidad promedio de 9.5 m. De forma natural está dividida en dos lóbulos delimitados por el bajo "Las Cuevas" que ejerce gran influencia en la circulación de las masas de agua dentro de la bahía.

En esta bahía desembocan los ríos Caunao y Arimao, en el lóbulo sur; mientras el Damují, el Salado, el Arroyo Inglés

y el Arroyo Las Calabazas, en lóbulo norte. También, están presentes diversos usos socioeconómicos: industrial, urbano, turístico, etc., los cuales hacen que este sistema esté propenso al deterioro de la calidad de sus aguas.

Análisis de datos

El índice de eutrofización (IE) utilizado fue el propuesto por Karydis *et al.* (1983) debido a que solo requiere las concentraciones de nutrientes, a diferencia del índice trófico TRIX (Vollenweider *et al.* 1998) que además considera la concentración de clorofila a, parámetro del que no se tiene datos disponibles.

Se estimó el IE para el nitrógeno inorgánico ($N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$) y el fósforo inorgánico (PO_4^{3-}), basado en la ecuación (Karydis *et al.*, 1983):

$$IE = \frac{C}{C - \log x_i} + \log A$$

donde:

IE: es el índice de eutrofización por nutriente de cada estación de muestreo, por campaña.

A: es el número de estaciones de muestreo durante el período de estudio (en este trabajo, 14)

C: es el logaritmo de la concentración total del nutriente durante el período de estudio, es decir, es la suma de las concentraciones X_{ij} del nutriente obtenidas en cada una de las A_i estaciones durante los M_j muestreos (en este trabajo, 5 por temporada climática).

$$C = \log \sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^M x_{ij}$$

X_i : es la concentración total del nutriente en la estación A_i durante el período de estudio.

$$x_i = \sum_{j=1}^M x_{ij}$$

La escala de clasificación es la siguiente: si $IE < 3$ indica estado *oligotrófico*, para $3 \leq IE \leq 5$ es *mesotrófico* y para $IE > 5$ es *eutrófico*.

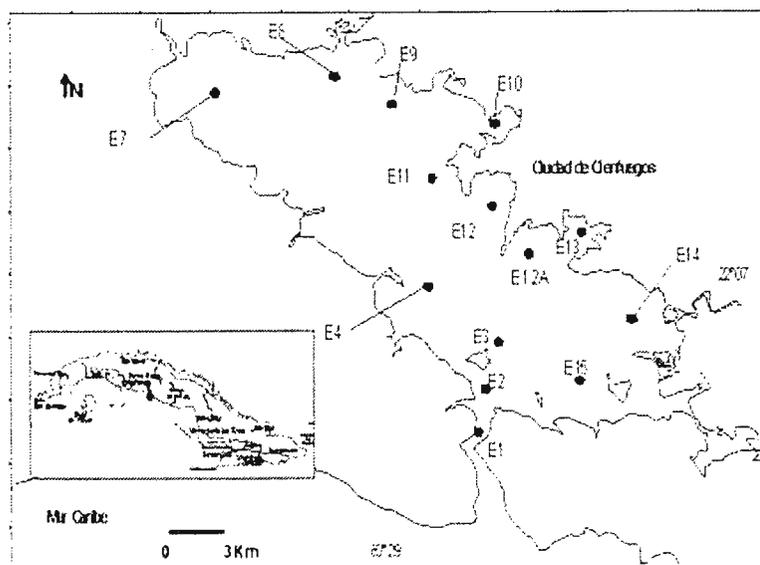


Figura 1. Área de estudio y red de estaciones del Programa de monitoreo hidrológico de la Bahía de Cienfuegos.

Para su cálculo fueron considerados los datos hidrológicos: $N-NH_3$, $N-NO_2$, $N-NO_3$ y $P-PO_4$ obtenidos en 10 campañas realizadas durante el período 2004-2007. Para su cuantificación se emplearon las metodologías descritas en UNESCO (1983) y UNEP (1991).

Se consideraron las dos temporadas climáticas (lluviosa y poco lluviosa) teniendo en cuenta uno de los avances considerados en el Modelo Conceptual Contemporáneo de la Eutrofización costera Fase II. Este incluye entre los atributos del sistema que influyen en el tipo de expresión de síntomas eutróficos dentro de sistemas costeros, al tiempo de residencia del agua (NRC, 2000; Cloern, 2001; Boesch, 2002). Según Muñoz y Díaz (2008), en la temporada lluviosa, esta bahía tiene un tiempo de intercambio medio de 3 días; mientras en la temporada poco lluviosa, el tiempo de intercambio medio alcanza hasta 47 días.

La variabilidad espacial se evalúa mediante la desviación estándar (DE) y los intervalos de concentraciones. Para la representación de las distribuciones espaciales de los valores promedios de ambos nutrientes analizados se utilizó la interpolación polinomial (spline biarmónica) (Sandwell, 1987), usando la función griddata de Matlab 7.5 e igual escala de colores para una mejor comparación.

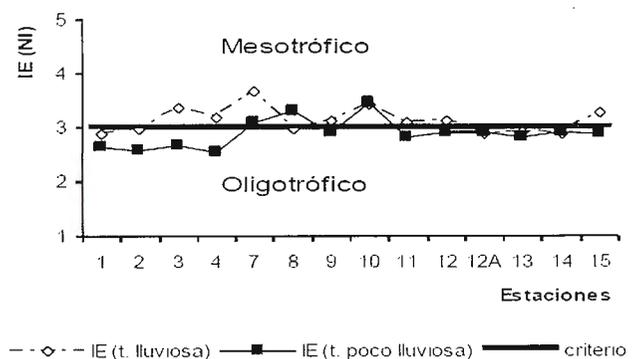


Figura 2. Distribución espacial de los valores de IE para el NI de las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática en el período 2004-2007.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los IE obtenidos para el nitrógeno inorgánico (NI) indicaron en la temporada lluviosa variaciones entre estados

oligotróficos y mesotróficos (Figura 2), predominando esta última clasificación en el 60 % de las estaciones muestreadas; sin embargo, en la temporada poco lluviosa predominaron las condiciones oligotróficas en el 80 % de las estaciones estudiadas.

Por su parte, los valores de IE para el fósforo inorgánico (FI) indicaron condiciones oligotróficas de las aguas en ambas temporadas climáticas, excepto en la estación 14 que mostró condiciones mesotróficas durante la temporada lluviosa (Figura 3), indicativo del aporte de fósforo a esta bahía, a través del río Caunao, durante esta temporada.

Lo anterior evidencia la influencia de la estacionalidad climática en el deterioro del estado trófico de las aguas de este sistema, lo cual está en correspondencia con el aumento de las concentraciones promedio de nutrientes durante la temporada lluviosa (Tabla 1), des-

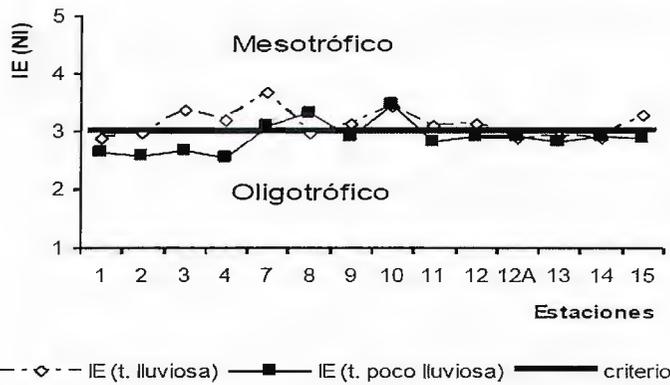


Figura 3. Distribución espacial de los valores de IE para el FI de las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática en el período 2004-2007.

Nutrientes	Temporada	Media	Intervalo	D.E.	Clasif.
N.I. (μmolL^{-1})	lluviosa	2.69	0.78 - 9.71	1.72	mesotrófico
	poco lluviosa	1.46	0.32 - 3.99	1.14	oligotrófico
F.I. (μmolL^{-1})	lluviosa	1.25	0.35 - 7.91	1.40	oligotrófico
	poco lluviosa	0.48	0.10 - 1.45	0.30	oligotrófico

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes y clasificación según IE, por temporada climática.

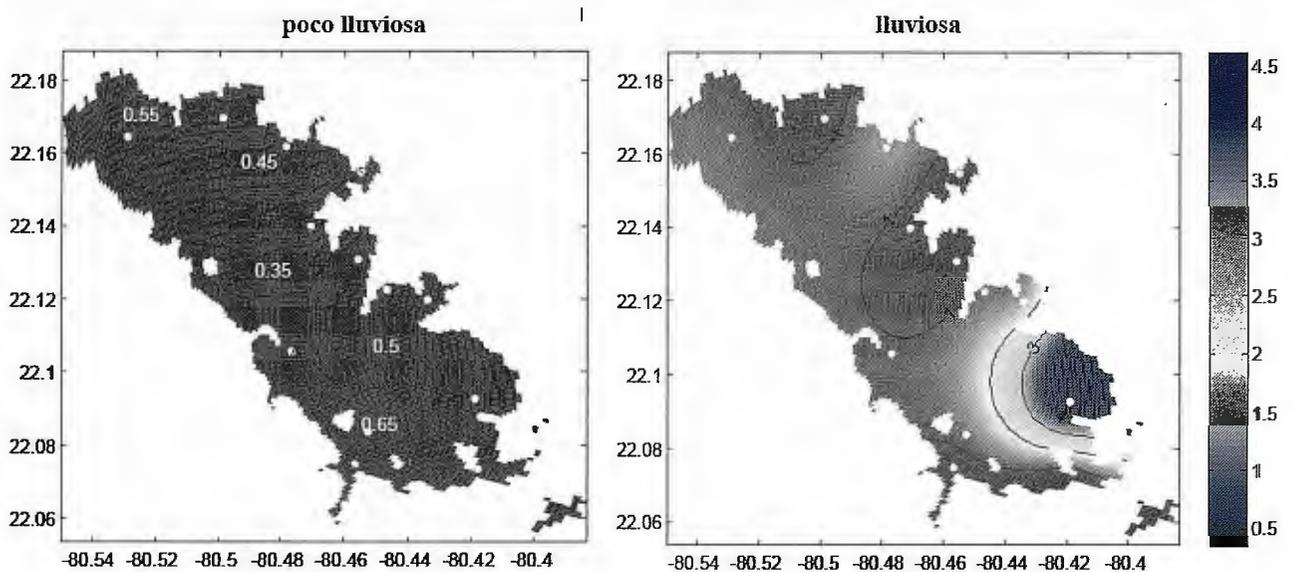


Figura 4. Distribución espacial de los valores del FI superficial en las aguas en la bahía de Cienfuegos por temporada climática durante el período 2004-2007.

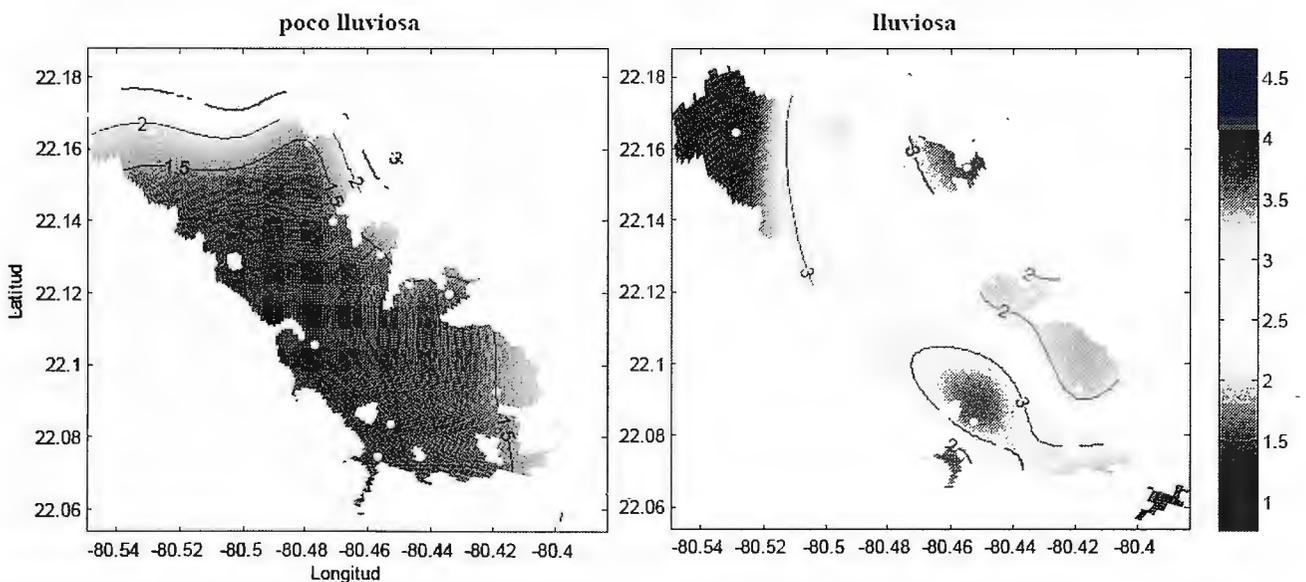


Figura 5. Distribución espacial de los valores de NI superficial en las aguas en la bahía de Cienfuegos, por temporadas climáticas durante el período 2004-2007.

critas también previamente por Areces (1986), Villasol (1990) y por Seisdedo y Muñoz (2004).

También se observó el incremento de la variabilidad espacial de las concentraciones de ambos nutrientes durante la temporada lluviosa (Tabla 1), siendo mayor para el FI con respecto al NI.

Las distribuciones espaciales de las concentraciones de ambos nutrientes por temporada climática muestran correspondencia entre las áreas con condiciones mesotróficas y las de máximas concentraciones; así como un menor incremento de las áreas con altas concentraciones de FI (Figura 4) con respecto a las de NI (Figura 5) en la temporada lluviosa.

El área que comprende las estaciones 7 y 10 (Figura 1) reflejó un comportamiento más estable en las concentraciones de NI (Figura 5). Este resultado pudiera estar relacionado con algunos focos de mareas rojas observadas en el período 2005-2006; en áreas próximas al Arroyo Inglés-Termoeléctrica (Estación 10) (Moreira *et al*, 2008) que estuvieron precedidas por eventos meteorológicos como huracanes y períodos lluviosos activos. También, sugieren una mayor incorporación de forma estable de este nutriente en la zona comprendida entre el Río Damují y el Arroyo Inglés.

A finales de la década del 70, Areces (1986) identificó la presencia de eutrofización en la bahía de Cienfuegos a partir de los resultados del análisis de la razón $\text{NH}_4^+/\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ y de un índice de eutrofización (IE) basado en una ecuación empírica que incluye las concentraciones de clorofila. En su estudio se evidenciaron diferencias estacionales desde el punto de vista trófico y se identificó a las industrias ubicadas al NE de la bahía como las principales generadoras de la carga total de nutrientes incorporadas en este sistema, fundamentalmente la Fábrica de Fertilizantes.

Una década después, mediante la cuantificación de cargas realizadas por Villasol (1990) aún era obtenida una elevada carga de nitrógeno generada por dicha fábrica, considerándose ésta la fuente de mayor impacto a esta bahía con 9 ton N/d.

Los resultados del presente estudio describen un comportamiento de las condiciones tróficas que no coincide con el obtenido por Areces (1986) y corroboran la suposición de la Fábrica de Fertilizantes como principal causante del deterioro de la bahía desde el punto de vista trófico.

CONCLUSIONES

- La evaluación estacional de los estados tróficos de las aguas mostró que para el nitrógeno inorgánico, en la temporada lluviosa predominan las condiciones mesotróficas y en la temporada poco lluviosa predominan las condiciones oligotróficas; mientras que para el fósforo inorgánico predominan las condiciones oligotróficas, en ambas temporadas climáticas.
- Los resultados de este estudio sugieren que el cambio de funciones de la Fábrica de Fertilizantes, en 1995, fue favorable para la calidad de las aguas desde el punto de vista trófico, validándose el IE utilizado como parámetro de control de alteraciones provocadas por la actividad industrial de este sistema.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D.M., Kaoru, Y. and A. W. White (2000). Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms (HABs) in United States. Woods Hole Oceanographic Institute Technical Report, WHOI- 2000-11.
- Aranda, N. (2004). Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical. Tesis en opción al grado de Dr. En Ciencias del Mar. Universidad de Barcelona. 246 p
- Areces, A. (1986). Bahía de Cienfuegos: Eutrofización y planeamiento ambiental. Rep. Invest. Inst. Oceanología. No.51:1-36 p.
- CENR (2000). Integrated assessment of hypoxia in the northern Gulf of Mexico. National Science and Technology Council Committee on Environment and Natural Resources, Washington, DC. Committee on Environmental and Natural Resources, 58 p.
- Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. Marine Ecology Progress Series, 210: 223-253 p.
- Coelho, S, Gamito, S. and A. Pérez (2007). Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. Estuarine coastal and Shelf Science, 71: 218-231 p
- Corredor, J.E., Howarth, R.W., Twilley, R.R. and Morell, J.M. (1999). Nitrogen cycling and anthropogenic impact in the tropical interamerican seas. Biogeochemistry, 46: 163-178 p.
- Downing, J.A., McClain, M., Twilley, R., Melack, J.M., Elser, J., Rabalais, N.N., Lewis Jr, W.M., Turner, R.E., Corredor, J., Soto, D., Yáñez-Arancibia, A., Kopaska, J.A. and Howarth, R.W. (1999). The impact of accelerating landuse change on the N-Cycle or tropical aquatic ecosystems: Current conditions and projected changes. Biogeochemistry, 46: 109-148 p.
- Glasgow, H.B. and J. M. Burkholder (2000). Water quality trends and management implications from a five-year study of a eutrophic estuary. Ecological Applications 10: 1024-1046 p.
- Karydis, M., Ignatiades, L. and N. Moschopoulou (1983). An Index associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 16: 339-344 p.
- Kennish, M.J. (2002) Environmental threats and environmental future of estuaries. Environmental Conservation 29: 78-107 p
- López-Cortés, D. J., Gárate, I., Bustillos, J. J., Alonso, R. e I. Murillo (2003). Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton en la Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). Hidrobiología, 13, No. 003: 195-206 p
- McGlathery, K.J. (2001). Macroalgal blooms contribute to the decline of seagrass in nutrient-enriched coastal waters. J. Phycology 37 (4): 453-456 p.
- Maher, P.M. (2001) Nutrients and phytoplankton of the Curdies River, Southwest Victoria. Honours thesis, School of Ecology and Environment, Deakin, Warrnambool.

Margalef, R. (1998). Red tides and ciguatera as successful ways in the evolution and survival of an admirable old phylum. In: Reguera B., Blanco, J., Fernández, M.L., Wyatt, T. (ed.) Harmful algae. Xunta de Galicia Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. 3-7 p.

Moreira, A., R. Fernández y M. Abbate (2008). Microalgas formadoras de mareas rojas en la bahía de Cienfuegos, Cuba. En CD, MEMORIAS del V Taller Internacional CONyMA'2008, La Habana, Marzo 2008.

Muñoz, A. y O. Díaz (2008). Los modelos matemáticos en la gestión del medioambiente costero y su aplicación a la bahía de Cienfuegos, Cuba. Memorias del V Taller Internacional CONyMA 2008. Del 3-7 de marzo. La Habana.

Nixon, S.W. and M.E.Q Pilson. (1983). Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems. In: Carpenter, E.J., Capone, D.G. (Eds.), Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press, New York: 565-648 p.

Okaichi, J.M. (1997). Red tide problems in the Seto Inland sea, Japan. In: Okaichi, T., Anderson, D.M., Nemato, T. (Eds), Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology, Proceedings of the First International Symposium on Red Tides. Elsevier, New York: 137-144 p.

Rabalais, N.N., Turner, R.E., Justic, D., Dortch, Q., Wiseman Jr., W.J. and B. K. Sen Gupta (1996). Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 19, 386-407 p.

Sandwell, D. T. (1987). «Biharmonic Spline Interpolation of GEOS-3 and SEASAT Altimeter Data», *Geophysical Research Letters*, 14, 2: 139-142 p

Tett, P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandsson, C.P., Larsson, U., Kratzer, S., Fouilland, E., Janzen, C., Lee, J., Grenz, C., Newton, A., Gomes Ferreira, J., Fernandes, T. and Scory, S. 2003. Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research*, 23: 1635-1671p.

UNEP (1991). Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No. 50: 41p

UNESCO (1983). Chemical Methods for use in Marine Environmental Monitoring. Manual and Guides. IOC. No. 12: 53 p

Villasol (1990). Estudios de la Contaminación en la Bahía de Cienfuegos. Informe Final. Ministerio del Transporte. Cuba. (inédito): 66 p

Vollenweider, R.A. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., and Viviani, R. (ed.) *Marine Coastal Eutrophication*. Bologna, Italy. Science of the Total Environment. Elsevier Science. Supplement: 1-20 p.

Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G. y A. Rinaldi (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9: 329-357 p

Noticias

Blom presentó el futuro de los modelos geoespaciales en la Conferencia de usuarios ESRI 09

• Blom ofrece el mayor repositorio geográfico de Europa, con más de 100 Terabytes en imágenes de España para servicios de información geográfica de uso profesional

Blom, principal empresa europea de recopilación y procesamiento de información geográfica de alta calidad, estuvo presente en la conferencia anual de usuarios ESRI sobre sistemas de información geográfica que tuvo lugar los pasados 30 de septiembre y 1 de octubre.

Blom, líder en servicios geomáticos online para uso profesional, colaboró en la Conferencia con dos detalladas ponencias donde explicó que internet y los servicios web se han impuesto como un estándar en la difusión y publicación de datos cartográficos. Debido a ello, los geodatos se han popularizado y su valor percibido se ha devaluado. Para hacer frente a esta popularización, Blom explicó las posibilidades para servicios de valor añadido de BlomURBEX, su servidor de información cartográfica, que permite un acceso rápido y sencillo a modelos geoespaciales, cubriendo el 80% de la población europea. BlomURBEX es una plataforma diseñada para proporcionar vía Web el contenido y los servicios únicos de Blom basados en imágenes reales, incluyendo imágenes oblicuas de alta resolución - de áreas urbanas. El sistema ha sido diseñado para satisfacer la creciente demanda de este tipo de contenido en múltiples sectores como pueden ser los catastrales, inmobiliarios, turísticos, geográficos, etc.

BlomURBEX se compone de un grupo de servidores conectados a Internet que ofrecen datos ya procesados usando protocolos muy simples, incluyendo HTTP para facilitar la integración con soluciones web. Como servicio online, BlomURBEX ofrece toda la tecnología necesaria para alojar y ofrecer diferentes conjuntos de datos, con capacidad de procesamiento y almacenamiento suficiente para proporcionar los servicios que sean requeridos.

Entre las ventajas clave de BlomURBEX, se incluyen:

- Acceso a toda la gama de imágenes y bases de datos de Blom, incluyendo imágenes ortogonales, oblicuas e imágenes oblicuas ortorectificadas, y sus futuras actualizaciones -que incluirán mapas vectoriales y 3D utilizando imágenes reales.
- La capacidad para acceder al servicio a través de una amplia gama de aplicaciones: desde el escritorio hasta los dispositivos móviles y a través de cualquier red de acceso, incluyendo la LAN, Internet o el móvil.
- Alta disponibilidad, tolerancia a fallos, baja latencia y fácil escalabilidad.
- La entrega de datos pesados es compatible con cualquier posible aplicación, incluso on-board y en móviles.
- El sistema puede manejar un gran volumen de datos, hasta cientos de terabytes.
- El esquema de entrega de datos permite una manipulación fluida por parte del cliente, con la posibilidad de hacer zoom u obtener una visión panorámica, con múltiples piezas y caché de cliente, y garantiza un mínimo de transferencia de datos, especialmente cuando se usan redes costosas.