

APLICACIÓN DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA A LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA

Luis Alfredo Catero Hernández¹ - Yuri S. Tuchkovenko² - Ricardo Molares Brava³

RESUMEN

En los últimos años, el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) de la Dirección General Marítima, ha desarrollado modelos numéricos que permiten visualizar la dinámica y condición ambientales del medio marino permitiendo además, simular las posibles soluciones de los problemas que presentan los diferentes cuerpos de agua marinos, como Bahías, Ciénagas, y Golfos entre otros. En la actualidad se está aplicando la modelación numérica en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y se han obtenido muy buenos resultados, teniendo en cuenta que ha sido posible diagnosticar el estado de la cuenca de agua durante los años 80's y 90's a pesar de los cambios evidenciados durante los monitoreos cuya causa es aún objeto de investigación.

Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y sus Zonas de Influencia. Imagen NASA-SKYLAB MS



ABSTRACT

During the last years, CIOH has developed numerical models to visualize the marine environment conditions and dynamics of the Caribbean coast. This effort has yield to stating possible solutions to the problems observed in different seawater bodies: bays, gulfs.

The good results obtained in the diagnosis of the conditions observed during the 80's and 90's in Cienaga Grande de Santa Marta were possible thanks to the application of this numerical modeling technique.

¹. Capitán de Fragata, Biólogo Marino. MSc. E-mail: sdci@cioh.org.co

². Ingeniero Oceanólogo, PhD. E-mail: tuch@cioh.org.co

³. Teniente de Navío, Oceanógrafo Físico.

La Ciénaga Grande de Santa Marta: El sistema biológico más productivo del mundo

La modelación genera información multipropósito como herramienta para la toma de decisiones por parte de las autoridades ambientales nacionales o locales y como apoyo a los requerimientos de información para proyectos y planeamiento ambiental general del medio marino, atmosférico y del litoral. El acople de información hidrodinámica y química-biológica es básico para la elaboración de diagnósticos y pronósticos de las características bióticas y abióticas de la Ciénaga, así como para la simulación de escenarios de alternativas de solución a los problemas ambientales de la misma.

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) está ubicada en el Caribe colombiano en una planicie aluvial formada por sedimentos depositados por el río Magdalena en la margen derecha del delta del río. Hace parte de un sistema lagunar formado por numerosas ciénagas interconectadas por caños en donde la CGSM es el cuerpo de agua de mayor tamaño y el de mayor área en el país, con una profundidad media de 1.7 m y extensión aproximada de 450 km². Este complejo laguna-manglar es, en el país y en el mundo, uno de los sistemas biológicamente más productivos (Márquez, 1992).

La Ciénaga ha sido desde la década de los 70's objeto de innumerables investigaciones encaminadas a conocer sus características biológicas y ecológicas, sus recursos y las comunidades que se sustentan en el ecosistema; igualmente se han formulado varios planes y programas para el manejo de la región

La problemática ambiental de la CGSM se inició con la construcción de la carretera entre Barranquilla y Santa Marta en 1954, lo que implicó el cierre de caños que comunicaban la laguna y los manglares con el mar alterando de esta forma el régimen hidrológico produciendo la muerte masiva del manglar. La limitación de la comunicación de la Ciénaga con el río Magdalena por el cierre de caños y el aislamiento de ciénagas menores por el aporte de sedimentos del río o por obras para recuperación de tierras por parte de agricultores de la región, continuó la afectación de este ecosistema. Finalmente, el problema se agravó con la construcción de la carretera paralela al río Magdalena, que obstruyó la comunicación entre el río y el sistema lagunar de Pajarales.

Los problemas principales en la CGSM se producen esencialmente de los procesos de deterioro del manglar, dulcificación y sedimentación, eutroficación (anoxia producida en el cuerpo de agua por el exceso de materia orgánica que en su proceso demanda gran cantidad de oxígeno), contaminación, sobrepesca y cambios en la oferta pesquera y desestabilización de los ciclos naturales. Además se observan grandes fluctuaciones estacionales de caudal del Río Magdalena, con niveles mínimos entre febrero y abril, medios entre mayo y agosto y máximos de septiembre a enero.

Como herramienta de estudio, los modelos numéricos permiten conocer los diferentes mecanismos biogeoquímicos que intervienen y contribuyen a controlar los procesos en los ecosistemas acuáticos, con abundante entrada de nutrientes (modelos de eutroficación). Así mismo, permite conocer y describir la dispersión y difusión de contaminantes (modelos de autodepuración), como también permiten simular diferentes escenarios proyectando el comportamiento de la cuenca de agua (Pronóstico).

DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE CALIDAD DE AGUAS

El modelo matemático de la calidad de las aguas CGSM en esencia consta de tres bloques numéricos fundamentales:

- El bloque hidrodinámico, que describe la dinámica de las aguas y la distribución de los contaminantes pasivos y conservativos en diferentes condiciones hidrometeorológicas.

Los diferentes bloques se apoyan en un flujo de información sobre condiciones de borde y datos de inicialización, entre los cuales los principales son: la línea de costa, batimetría, datos de vientos, olas y mareas, información sobre variabilidad de características hidrológicas, hidroquímicas y hidrobiológicas de ecosistema del cuerpo de aguas investigado, cargas de contaminantes para cada una de las fuentes identificadas, velocidad de degradación de las sustancias de interés (tóxicas) y flujos de intercambio de materia orgánica, nutrientes y oxígeno entre la columna de agua y los sedimentos.

AUTODEPURACIÓN DE LA CGSM

El papel de los diferentes factores en la autodepuración de las aguas depende del origen químico de las sustancias vertidas, biomasa de los microorganismos, su actividad funcional, régimen de oxígeno, régimen térmico y otros.

Para la validación del bloque de autodepuración fue efectuado un cálculo con el empleo de datos reales sobre la contaminación de las aguas vertidas a la ciénaga por DDT en septiembre y diciembre de 1999 (INVEMAR, 2000). En septiembre se detectó la presencia de DDT en las aguas del río Fundación ($142 \text{ ng} \times \text{l}^{-1}$) y Caño Grande ($25 \text{ ng} \times \text{l}^{-1}$), en el centro de CGSM ($1 \text{ ng} \times \text{l}^{-1}$) y en Boca de la Barra ($26 \text{ ng} \times \text{l}^{-1}$). Los cálculos con el modelo de autodepuración (Fig.2) mostraron que el contenido de DDT en la parte central de la ciénaga y en la Boca de la Barra debía ser de $22 - 24 \text{ ng} \times \text{l}^{-1}$. El exceso considerable entre el valor calculado sobre el medido en la parte central de la ciénaga, se explica con las posibles diferencias entre de las condiciones hidrometeorológicas reales (por ejemplo, la variabilidad del viento) y de las introducidas en el modelo.

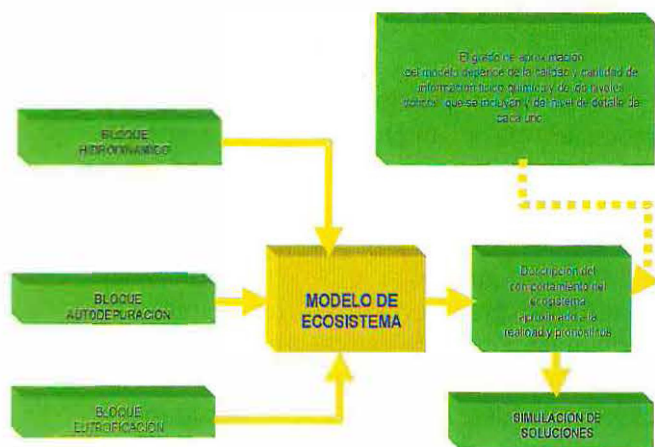


Figura 1. Esquema General del Modelo de Ecosistema que será Implementado para la Ciénaga Grande de Santa Marta.

- El bloque de autodepuración, permite conocer la capacidad de autoregeneración del cuerpo de agua debido al ingreso de sustancias contaminantes.
- El bloque de eutroficación y del régimen del oxígeno de las aguas, describe los procesos químico - biológicos naturales que determinan el balance de las sustancias y de energía en el ecosistema. En este bloque se describen los procesos de producción - destrucción de la materia orgánica, utilización por fitoplancton y regeneración de los nutrientes por bacterioplancton.

En noviembre la presencia de DDT se detectó en las aguas del río Fundación (23 ng×l-1), río Aracataca (79 ng×l-1), los caños Grande (2 ng×l-1) y Clarín (6 ng/l). En el centro de CGSM la contaminación de las aguas fue de 3 ng×l-1. Lo que concuerda con los resultados arrojados por los cálculos.

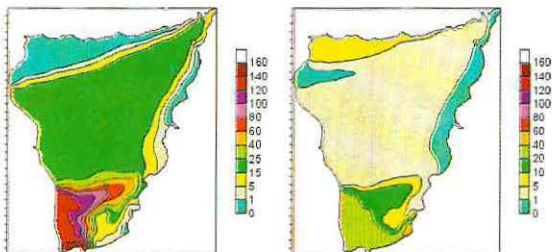


Figura 2. Contaminación CGSM por DDT (ng×l-1) en septiembre y noviembre de 1999.

LAS BASES TEÓRICAS DEL MODELO DE EUTROFICACIÓN

Con el fin a describir la dinámica de la calidad de agua con respecto al contenido de nutrientes, se están utilizando los modelos matemáticos de eutroficación, donde se detallan suficientemente distintos procesos de evolución temporal espacial para distintas variables químicas y biológicas: fitoplancton, zooplancton, materia orgánica, fosfatos, amonio, nitritos, nitratos y oxígeno disuelto.

Los ejercicios numéricos efectuados con el modelo de eutroficación permitieron

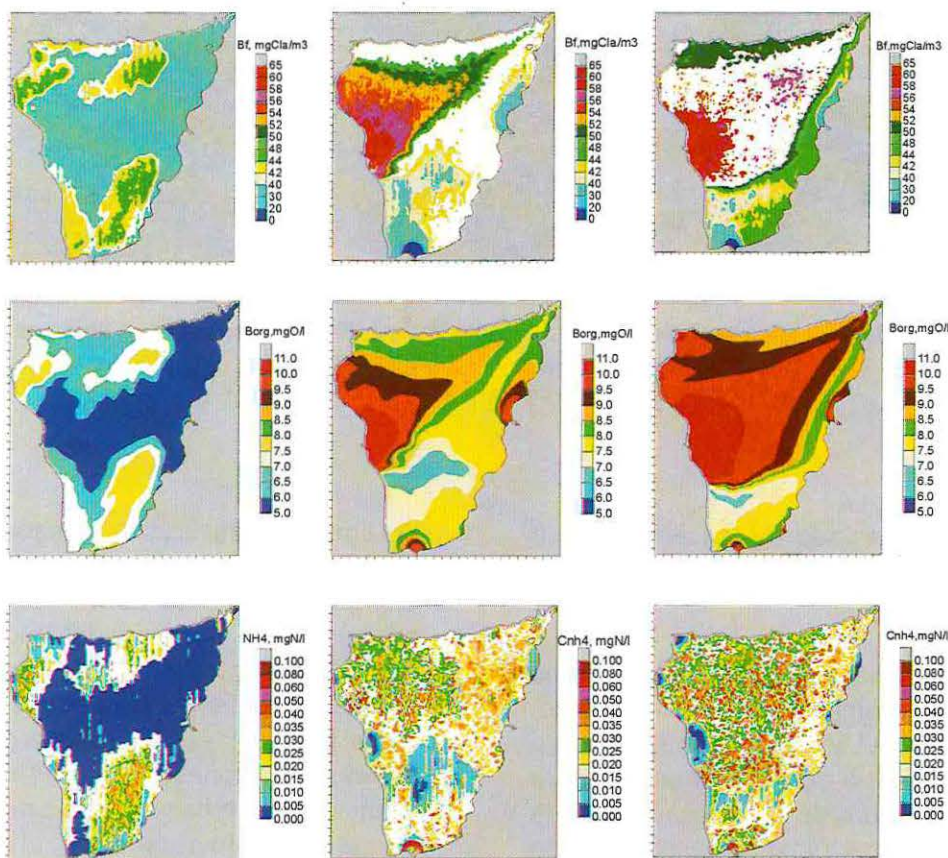


Figura 3. Distribución espacial del contenido de Fitoplancton, materia orgánica y amonio en marzo, julio y octubre (d), obtenida por el modelo para las condiciones de los años 80's.

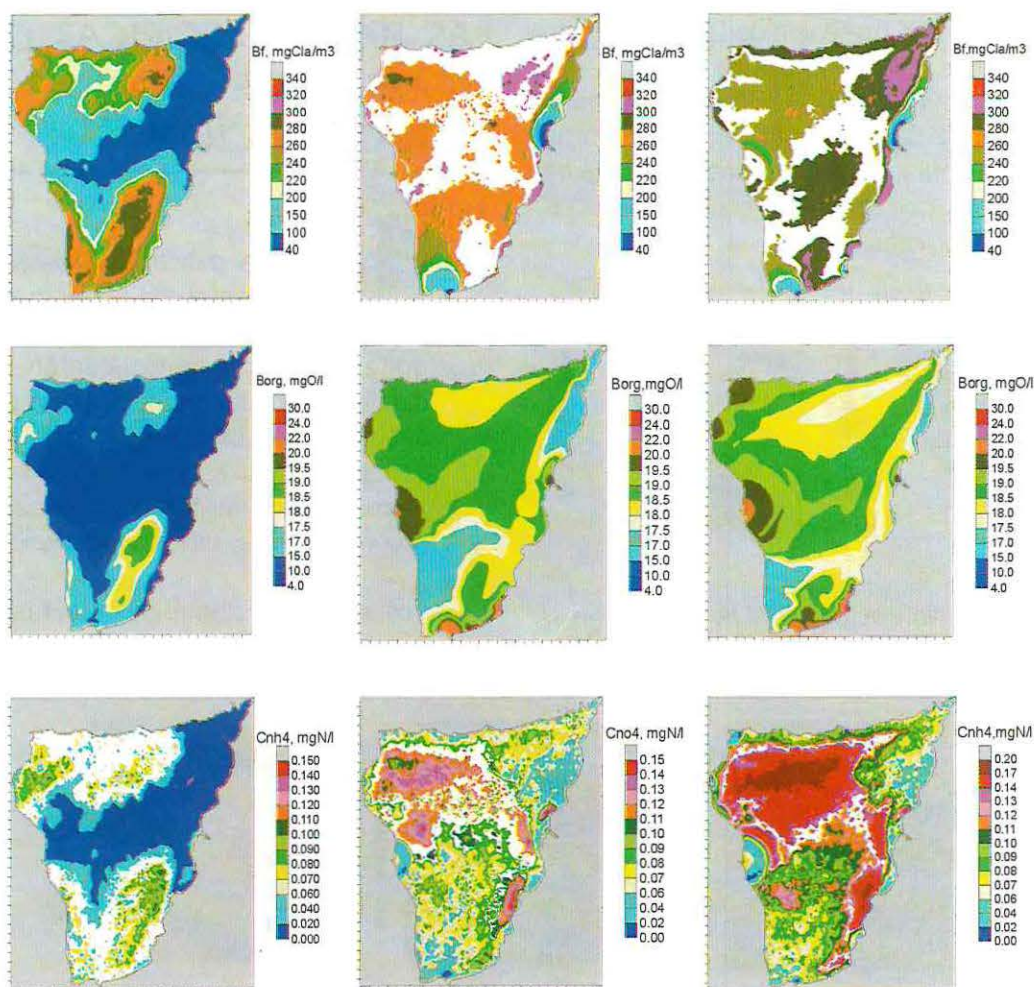


Figura 4 Distribución espacial del contenido de Fitoplancton, materia orgánica y amonio en los marzo, julio y octubre (d), obtenida por el modelo para las condiciones de los años 90's.

diagnosticar el estado de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta como más adelante se describe.

Con base en el análisis y generalización de los resultados del monitoreo químico - biológico, realizado por INVEMAR en el transcurso de 20 años, se creó un modelo matemático de la calidad de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta. El cálculo de las alternativas de mejoramiento del estado ecológico del cuerpo de agua tuvo en cuenta la información sobre

los límites permisibles de variabilidad de los parámetros abióticos del ecosistema (por ejemplo: salinidad, contenido de sólidos suspendidos, materia orgánica muerta, nitrógeno amónico) con el fin de asegurar las condiciones óptimas para el crecimiento de manglares, de las especies de peces valiosos, ostras, camarones, etc. La calidad de la calibración la certifica el hecho de que con su ayuda se pudo reproducir el estado del ecosistema tanto como para los años 80 como para la actualidad.

Los monitoreos efectuados entre los años 80's y 90's mostraron una gran diferencia, presumiblemente por un evento (natural y/o antropogénico) aún desconocido que desbalanceó el sistema aumentando las concentraciones de clorofila "a" y del sestón orgánico 4.5 veces en los años 90's, reduciéndose entonces el contenido de nutrientes. Lo anterior condujo a los investigadores a recalibrar el modelo aumentando proporcionalmente los flujos del fondo.

Lo anterior permitió entonces, diagnosticar el estado de la cuenca de agua en dos épocas, que de acuerdo a monitoreos efectuados durante dos décadas, mostraron comportamientos y estados diferentes. En la actualidad se están efectuando las últimas calibraciones y validaciones del modelo así como la inclusión de un bloque matemático que permita efectuar un balance de masas de agua entre las diferentes ciénagas y ríos capacitando al modelo para el pronóstico de estados de calidad de aguas mediante la simulación de diferentes alternativas.

Las simulaciones numéricas desarrolladas hasta el presente y las que se pretenden desarrollar para la CGSM, sobre modelación de ecosistemas marinos, son las primeras de este tipo hechas en el país, diseñadas y adaptadas especialmente para las condiciones de las lagunas costeras del Caribe colombiano. Utiliza conceptos y capacidad científica del más alto nivel.

Teniendo en cuenta la importancia de la CGSM como ecosistema productor y sustento de gran número de pobladores y por su importancia ecológica a nivel nacional y mundial, el desarrollo del modelo propuesto para la Ciénaga como herramienta de apoyo a las entidades ambientales en la toma de decisiones, y como aporte científico a las entidades de investigación, es fundamental en el desarrollo del País en la búsqueda del crecimiento económico, la equidad y la sustentabilidad ambiental, como bases del Desarrollo Sostenible.

Un sistema de predicción de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta

El modelo matemático es un sistema de predicción de las condiciones físico-químicas, biológicas y de calidad de aguas de la ciénaga y su manejo se realiza a través de un software amigable que podrá ser utilizado por cualquier usuario, especialmente entidades ambientales y científicas, y el país en general, no sólo para la predicción de las condiciones físico-químicas, biológicas y de calidad de aguas de la CGSM, sino también en la simulación de escenarios más propicios para las soluciones ambientales de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

Bernal, G. & J. Betancur, 1996. El Sistema Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el Contexto Deltaico del Río Magdalena. Pp: 5-10. En: COLCIENCIAS, INVEPAR & EAFIT (Eds). Características Geomorfológicas y Sedimentológicas como Indicadores de Procesos Físicos en el Sistema Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Plano Deltaico del Río Magdalena. Colombia. 52p.

CETIH & INDERENA, 1978. Diagnóstico sobre el Comportamiento Hídrico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Universidad de los Andes- INDERENA. Informe Final. 120p.

Cosel, R.V., 1985. Moluscos de la Región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia). En: An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín. Santa Marta: INVEPAR No. 15/16 (1985); pp: 79-370.

González, E., 1992. Deterioro Ambiental y Oferta para el desarrollo sostenible en la Región de Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Desarrollo Sostenible en la Zona Costera del Caribe Colombiano. Aproximaciones al Tema. Proyecto Multinacional del Medio Ambiente y recursos Naturales. OEA-COLCIENCIAS. Pp: 197-204.

González, E., 1991. El Manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta Ecosistema el Peligro de Extinción. En: Colombia, sus Gentes y Regiones. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. No. 21 Pp: 2-21. Bogotá.

Guzmán, A., L. Panizzo y G. Ramírez, 1988. Estudio de la Biomasa de Macroorganismos Bénticos y su Relación con el Contenido de Materia Orgánica de los Sedimentos Pertenecientes a la CGSM. Memorias del VI Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar 1988. Bogotá. Pp: 292-300.

INVEMAR, 1996. Referencias Bibliográficas Publicadas e Inéditas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Vol. 1. INVEMAR-CORPAMAG-GTZ. Santa Marta. 275 p.

Kaufman, R. & F. Hevert, 1973. El Régimen Fluviométrico del Río Magdalena y su Importancia para la CGSM. Mitt. Inst. Colombo-Alemán. Invest. Cient. 8: 17-31.

Márquez, G, 1992. Deterioro Ambiental y Desarrollo Sostenible en la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Desarrollo Sostenible en la Zona Costera del Caribe Colombiano. Aproximaciones al Tema. Proyecto Multinacional del Medio Ambiente y Recursos Naturales. OEA-COLCIENCIAS. Pp: 197-204.

Martínez, Y, 1998. Tasas de Desnitrificación en una Laguna Costera Tropical, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis de Grado MSc. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 47 p.

Morell, J. & J. Corredor, 1993. Sediment Nitrogen Trapping in a Mangrove Lagon. Est., Coast. And Shelf Sci., 37: 103-119. En: Tasas de Desnitrificación en una Laguna Costera Tropical, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis de Grado MSc. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 47 p.

Pro-Ciénaga, 1995. Plan de Manejo Ambiental de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Proyecto de Rehabilitación de la CGSM-Pro-Ciénaga, CORPAMAG-INVEMAR-CORPES-GTZ. Santa Marta. 5 Secciones. En: Tasas de Desnitrificación en una Laguna Costera Tropical, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis de Grado MSc. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 47p.

Ramírez, G, 1988. Niveles de Contaminación por Plaguicidas Organoclorados en los Sedimentos de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Memorias VI Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar. Bogotá. Pp: 286-291.

Simón, A, 1981. Bases para el Plan Nacional de Ecodesarrollo del Complejo Estuárico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. INDERENA-PNUMA. 281p. En: Tasas de Desnitrificación en una Laguna Costera Tropical, la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis de Grado MSc. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta. 47 p.

Tuchkovenko. Y, 1998. En: Informe Final Proyecto CIOH: Estudio de La Contaminación por Plaguicidas, Hidrocarburos y Eutroficación en Lagunas Costeras del Caribe Colombiano (Cuerpos de Agua de Cartagena). Fase III-Ciénaga de Tesca. 200p.

Tuchkovenko. Y, 1998 A. Un Modelo de Eutroficación para la Ciénaga de Tesca. Bol. Cient. CIOH, No. 19: 57-70 (En Prensa). Cartagena 1999.