



**\*Serguei A. Lonin**  
Slonin@costa.net.co

(Presentado en el 1er Taller de Trabajo sobre El Centro Colombiano de Datos e Información Oceanográfica; Cartagena, 21-23 de Julio de 2004)

**\*CIOH**

**CIOH**  
www.cioh.org.co

# Empleo de los datos de la NOAA-NODC-WOA en el modelo hidrodinámico del Caribe

## Resumen

Los datos promedios mensuales del NODC (*National Oceanographic Data Center*) de la NOAA sobre los parámetros hidrológicos (temperatura y salinidad) y los flujos de impulso y balance superficial de calor, con una resolución de 1° y 0.5° respectivamente, se utilizan en calidad de condiciones iniciales y de contorno, respectivamente, en el Sistema de Predicción Oceánico de DIMAR (SPOD), basado en el uso del modelo oceánico POM (*Princeton Ocean Model*; Mellor, 1993).

Los campos resultantes son los patrones mensuales de hidrología (T - S) y los campos de corrientes, hidrodinámicamente y mutuamente ajustados entre sí, con la batimetría (archivos de ETOPO-5) y las condiciones de la interacción entre el océano y la atmósfera. Los resultados del modelo se utilizan para: 1) el diagnóstico del comportamiento estacional de los campos hidrodinámicos, 2) el arranque “caliente” para las corridas del sistema SPOD en el modo operacional, 3) establecer un “background” de la salinidad (no detectable directamente con los sensores remotos) y 4) especificar las condiciones de contorno para los modelos operados en las áreas locales (zonas costeras).

Se propone una estrategia de acumulación y uso de esta información y la forma de involucrar los datos nacionales de Colombia en el proceso; se hace una referencia a los estudios interdisciplinarios basados en el empleo de estos datos.

**Palabras claves:** Modelo oceánico; bases de datos oceanográficos.

## Abstract

Monthly treated data from the NODC (National

Oceanographic Data Center), NOAA, about the hydrological fields (temperature and salinity) and the momentum and heat fluxes with 1° and 0.5° resolution, respectively, are utilized as the initial and boundary conditions, respectively, in the Ocean Prediction System of DIMAR (SPOD); the last one is based on the POM (Princeton Ocean Model; Mellor, 1993).

The resultant model fields are monthly averaged hydrological patterns (T - S) and current fields, hydrodynamically and mutually adjusted, with bathymetry (ETOPO-5 data) and atmosphere-sea interaction conditions. The model results are used for the aims of: 1) the hydrodynamic diagnostics of the annual cycle; 2) the “hot-starts” of the SPOD in the operational mode; 3) a salinity “background” establishment, not detected directly from remote sensors, and 4) the boundary condition specifications for local area model operations (coastal zones).

A strategy of the accumulation and utilization of this information, as well as the involving of the national Colombian data is proposed; a reference to possible interdisciplinary studies, based on those data, is done.

**Key words:** Ocean models; oceanographic databases

## Introducción

Desde que los Centros Mundiales de Datos Oceanográficos empezaron a funcionar, la recolección de la información disponible para los estudios del mar se ha facilitado. Junto a esta circunstancia, surgió la posibilidad de operar no solamente los datos crudos, sino también varios tipos de productos con base en estos datos: propiedades secundarias y parámetros calculados de acuerdo con ciertas

metodologías, estandarizadas y aceptadas a nivel de estos Centros.

Mediante índices (“*flags*”) asignados a la información de distinto nivel de calidad, es posible clasificar la información y usarla adecuadamente, dependiendo de las necesidades y restricciones del estudio. A partir de las observaciones puntuales de aceptable calidad se forman los campos en los niveles oceanográficos estándares en una malla de cobertura global a través del análisis objetivo de la información. La cobertura de las observaciones históricas no es homogénea en el espacio; por lo tanto, los Centros Mundiales ofrecen los productos del análisis objetivo en mallas gruesas (5°x5°, 1°x1° y 0.5°x0.5° recientemente, Levitus, 1982, 1998).

A primera vista, la aplicación de esta información se limita a estudios climatológicos y/o en las escalas correspondientes (regional o global). Usualmente, las necesidades prácticas están limitadas por la extensión geográfica. Para el caso particular del CIOH, múltiples tareas prácticas están relacionadas con el desarrollo de la zona costera y el servicio operativo que presta la Central de Pronósticos Meteorológicos y Oceanográficos (CPMO) a los usuarios del país.

En este sentido, se da mayor énfasis a la captura de los datos y a los productos de los modelos globales a escala diaria de tiempo. Durante los últimos años en el CIOH se creó el Sistema de Predicción Oceánica de DIMAR (SPOD, Lonin et al., 2003), cuya operación es una tarea permanente de la CPMO. El modelo puede realizar un pronóstico de las condiciones oceánicas hasta de 2-3 días, pero su principal tarea es el monitoreo de los campos hidrofísicos en el mar Caribe. El término “monitoreo” se entiende aquí en el sentido estricto: es un sistema de

observaciones y análisis de los campos y procesos en el medio marino (Kochergin & Timchenko, 1987). Los sensores remotos son la única fuente permanente de información operativa. El análisis se efectúa con base en el modelo. Obviamente, no todos los parámetros hidrofísicos están al alcance para ser medidos; al contrario, la lista se limita en dicho caso a los datos de temperatura superficial del mar (TSM) y anomalía del nivel del mar (ANM). Los demás parámetros (corrientes y cualquier otro en la vertical) son procesados y monitoreados por el modelo. Los campos observados de TSM y ANM no son de cobertura completa (TSM por las nubes y ANM por las orbitas), motivo por el cual parcialmente son también productos del modelo.

Los resultados del modelo meteorológico global de la Oficina Meteorológica del Reino Unido (UKMO) sirven para forzar el pronóstico en la etapa operacional. En la fase de inicialización del modelo se usan los datos del Centro Mundial NODC (*National Oceanographic Data Center*) y otras fuentes de la NOAA - tema del presente trabajo - cuyos propósitos son: a) mostrar en qué formas se utilizan y se pueden utilizar los datos de bases de datos para los sistemas descritos anteriormente; b) cómo involucrar los datos de la base nacional y c) mostrar la importancia de la información oceanográfica producida por los modelos desde el punto de vista de su utilización secundaria.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: A continuación se presentan las fuentes principales de los datos de la base de la NOAA, luego, en resultados, se presentan los detalles del proceso de utilización de los datos. La discusión toca el tema de desarrollo de la propia base de datos y, en general, de un centro de información oceanográfica.

## Fuentes de Información

Los datos climatológicos en la superficie del mar provienen de los archivos de COADS (*Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*) y se encuentran disponibles a una resolución espacial de 0.5° de latitud (Da Silva & Levitus, 1994). Los parámetros primarios son:

- Nubosidad
- umedad específica de aire
- temperatura de aire
- Presión atmosférica a nivel del mar
- temperatura de la superficie del mar
- Componentes zonal y meridional de viento
- módulo de viento

Los datos derivados, obtenidos de la información primaria después de correcciones y los respectivos cálculos son:

- Flujos de impulso y de calor (tensiones de viento, componentes del balance de radiación solar y del balance superficial de calor)
- Flujos de agua dulce (flujos de vapor, boyancia y precipitación)
- Parámetros misceláneos (densidad de aire, flujos zonales y meridionales de calor, parámetro de Monin-Obukhov, etc.)

Los datos directamente utilizados son las componentes zonal y meridional de la tensión de impulso de viento y el flujo neto restringido de calor.

Los datos de tensión de viento fueron calculados de acuerdo con el tipo de estratificación de la capa próxima de la atmósfera cuando la información estuvo disponible. En caso contrario, se presenta un grado de incertidumbre en los datos. Igualmente se menciona que no tener en cuenta la velocidad de las corrientes en el

cálculo de los flujos de impulso puede significar para la zona tropical un 17% de error en la componente zonal de flujo (Halpern, 1988).

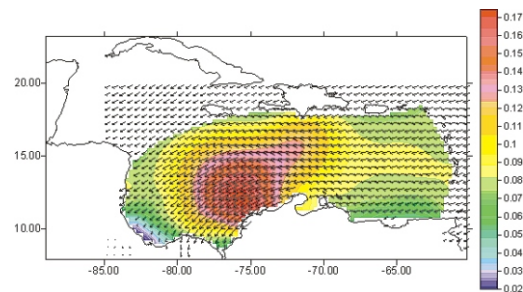
Los datos del flujo neto de balance superficial de calor fueron restringidos en el sentido de que el flujo de calor meridional global en la frontera sur del Globo se pone igual a cero y el flujo de agua dulce en esta frontera es de 0.06 Sv. Una comparación entre los datos restringidos y no, muestra que esta corrección disminuye la magnitud del flujo resultante aproximadamente dos veces. Siendo de importancia en el sentido global, se puede esperar, sin embargo, que el intercambio de calor con la atmósfera para la zona de interés (mar Caribe) puede ser subestimado.

Las Figuras 1 y 2 muestran, con una escala de colores diferente, la distribución de los vientos (en términos de flujo de impulso en la superficie del mar) para las dos épocas del año. Se ve claro que existe un núcleo de alta tensión de viento frente a la costa de Colombia que se intensifica en la época de los vientos alisios para esta región. Durante la época húmeda del año (para la costa colombiana) en los campos promedios mensuales se nota el avance de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el norte, estableciendo las condiciones de la masa ecuatorial en la cuenca sur-occidental del mar. Bajo esta circunstancia y en general, durante la época húmeda, la intensidad de los vientos en el núcleo disminuye, presentándose con mayor homogeneidad (en la intensidad) para todo el mar Caribe.

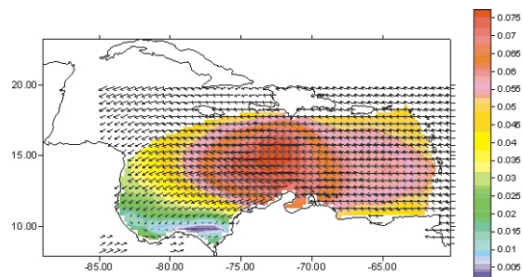
Las Figuras 3 y 4 muestran los flujos resultantes de calor en la superficie del mar disponibles para cada mes del año, de acuerdo con los datos de COADS. Los flujos representan la diferencia entre la radiación solar entrante y los gastos, formados por la

radiación eficiente de onda larga y los flujos turbulentos explícito e implícito de calor.

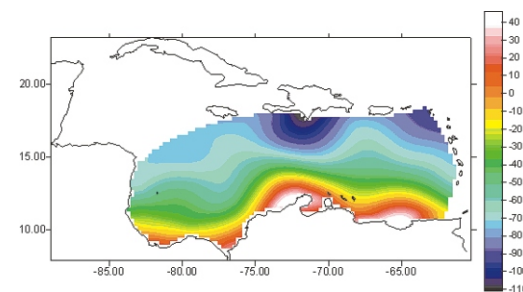
Los datos originales tienen 0.5° de resolución espacial con una distribución entre 0.25°E y 0.25°W (M=720), y entre 89.75°S y 89.75°W (N=360). El área de interés está dentro de 84.75°W-60.25°W (24 líneas) y 8.25°N-19.75°N (50 columnas).



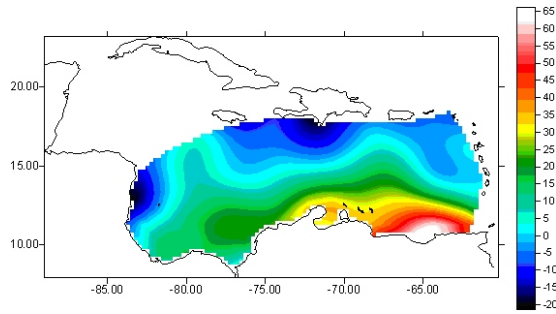
**Figura 1.** Climatología de flujo de impulso (en  $N/m^2$ ) sobre la superficie del mar para el mes de enero. El valor máximo es de  $0.175 N/m^2$ .



**Figura 2.** Climatología de flujo de impulso (en  $N/m^2$ ) sobre la superficie del mar para el mes de octubre. El valor máximo es de  $0.077 N/m^2$ .

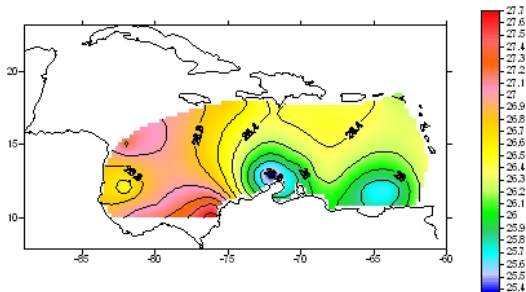


**Figura 3.** Flujo resultante (neto) de calor (en  $W/m^2$ ) según los datos de COADS para el mes de enero.

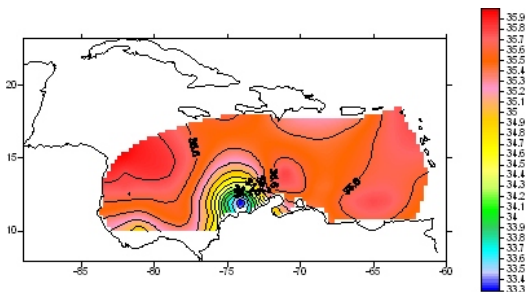


**Figura 4.** Flujo resultante (neto) de calor (en  $W/m^2$ ) según los datos de COADS para el mes de octubre.

Los datos hidrológicos, procesados por el análisis objetivo, se encuentran en la base de datos del NODC (*National Oceanographic Data Center*) de la NOAA y están publicados en el WOA (*World Ocean Atlas*, Levitus, 1998). Las Figuras 5 y 6 muestran ejemplos de datos de temperatura y salinidad en la superficie del mar.



**Figura 5.** Distribución espacial de la temperatura del agua en la superficie del mar, según los datos del WOA-98. Mes de enero.



**Figura 6.** Distribución espacial de la salinidad del agua en la superficie del mar, según los datos del WOA-98. Mes de enero.

## Resultados

El primer y el principal objetivo del uso de la información climatológica en el SPOD es la inicialización del modelo. El procedimiento fue descrito en el trabajo de Lonin *et al.* (2003) y consiste en el arranque “frío” (*cold-start*) del modelo, partiendo de los datos iniciales. Para la temperatura y la salinidad del mar, los datos son los mencionados arriba de la base NODC de la NOAA. Los datos se interpolan en los nodos de la malla curvilínea del modelo, las condiciones iniciales se especifican con base en esta información y un amarre (*nudging*) se efectúa durante todo el proceso de inicialización para garantizar la ausencia de la “deriva” de los resultados de su estado climatológico.

Como regla, las corrientes no se conocen en el momento inicial, así que el proceso de inicialización se tiene que continuar, controlando el comportamiento de un invariante energético del sistema, por ejemplo, la energía cinética en el tiempo. Cuando la última alcanza un régimen cuasi-estacionario, el proceso de inicialización del modelo puede ser terminado. Usualmente, este tiempo supera un mes de simulación para el caso del mar Caribe. La tendencia al calentamiento de la capa inferior del océano, debido a una alineación de los perfiles por la difusión, tiene que ser evitada por el procedimiento de amarre.

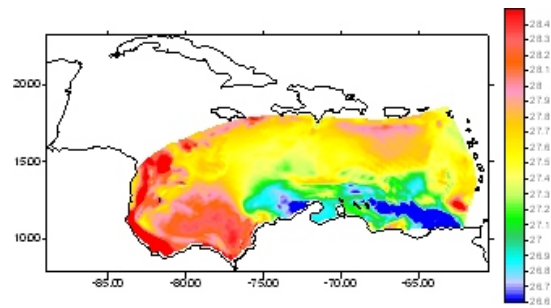
El proceso de re-inicialización del modelo puede ser una fase necesaria también cuando el SPOD se halla suspendido durante un lapso de tiempo por las razones técnicas (fallas de la energía, de comunicación por Internet, etc.). En este caso se aplica un arranque “caliente” (*hot-start*), utilizando la base de resultados del modelo en la fase de inicialización, para llegar al estado actual más rápido. Los datos del



pronóstico meteorológico y las imágenes del satélite en el tiempo cuasi-real se utilizan con este fin.

La Figura 7 muestra una secuencia del proceso de inicialización. El sistema partió de los campos climatológicos (con la Figura 5 como el punto de partida), realizando un ajuste entre los campos inicialmente separados físicamente: se hizo una adecuación entre los datos de batimetría en el dominio subjetivamente seleccionado, los datos hidrológicos, los flujos de calor e impulso en la frontera con la atmósfera, el nivel del mar y las corrientes, inicialmente encontradas en el estado de reposo, y otros parámetros internos del sistema.

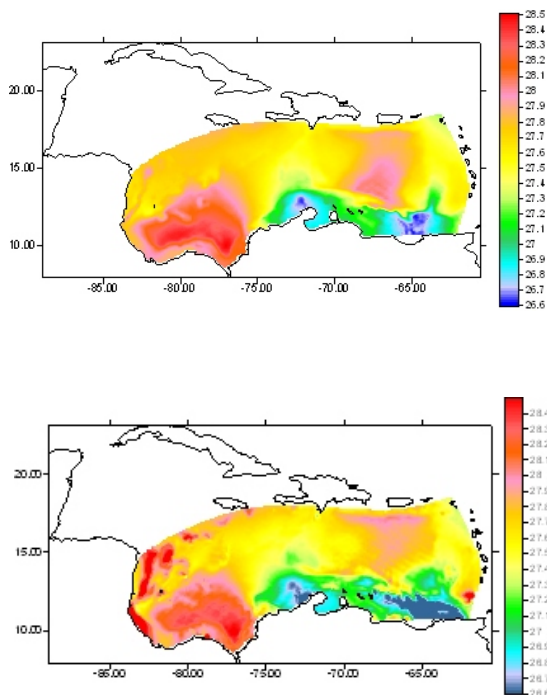
Prácticamente, el modelo se emplea en calidad de interpolador físico de los parámetros dados. Este aspecto de la modelación se discute en el próximo capítulo.

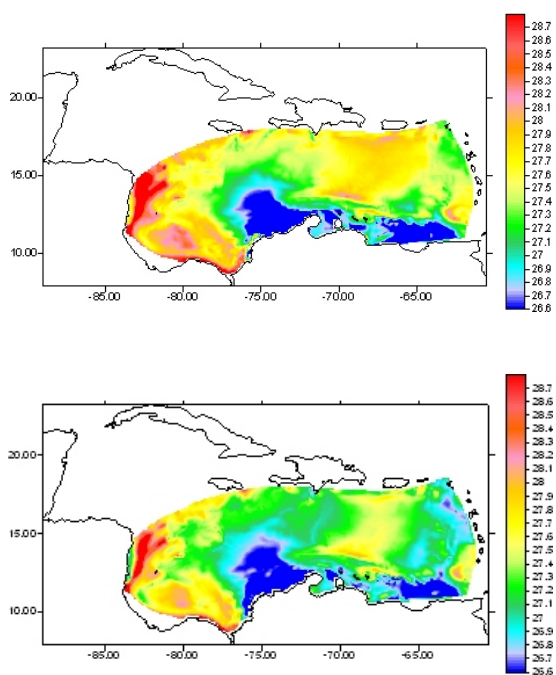


**Figura 7.** Proceso de inicialización del modelo para la TSM: después de 24 horas (arriba), 6 días (centro) y 9 días (abajo). El momento inicial se presenta en la Figura 5.

Principalmente, el modelo arranca con una fuerza mecánica en la superficie del mar (datos de viento) y gracias a los modos internos oceánicos (baroclinicidad). *A priori*, la importancia de intercambio de calor con la atmósfera es secundaria en el caso de un amarre con los campos climatológicos de la temperatura y salinidad durante todo el proceso de inicialización. Intuitivamente está claro que para el caso de la temperatura del agua este amarre debe ser menos estricto para permitir un ajuste entre la hidrología del WOA y el intercambio del calor con la atmósfera, disponible en la otra fuente (COADS). En otras palabras, la física del modelo tiene que desarrollarse dentro de límites estadísticos, establecidos, por un lado, especulativamente en el procedimiento de amarre y, por el otro, con un mayor razonamiento físico a través de los flujos atmosféricos.

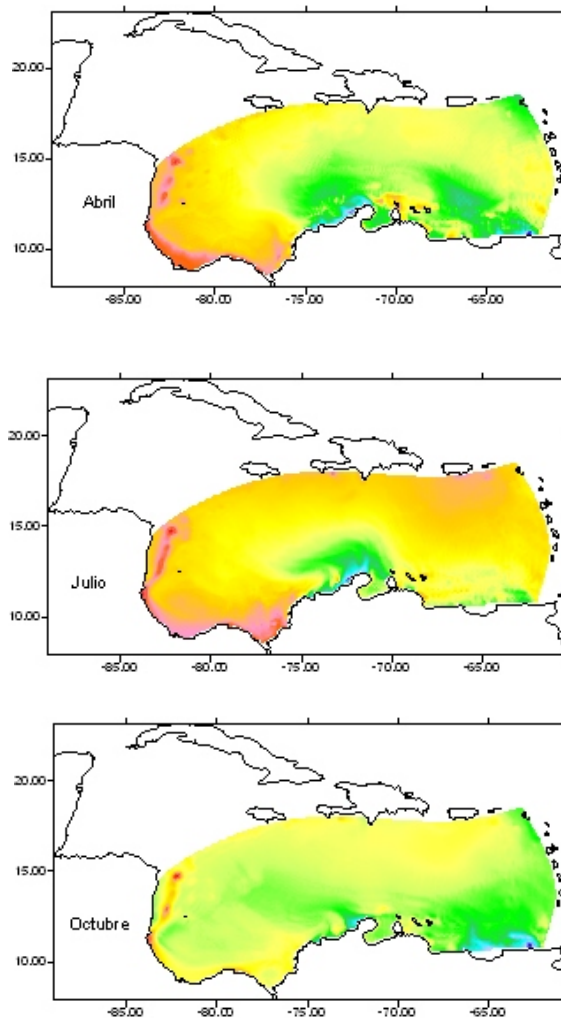
La Figura 8 muestra las diferencias ocurridas en los campos de la TSM utilizando o no la información sobre el intercambio de calor con la atmósfera.





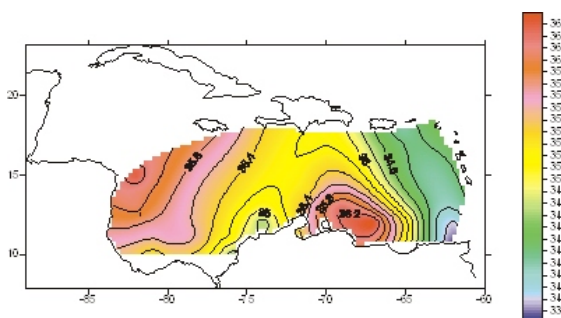
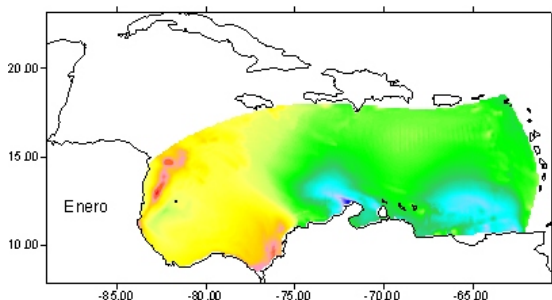
**Figura 8.** La distribución de la TSM sin (arriba) y con (abajo) tener en cuenta los flujos de calor (datos de COADS, Figuras 3 y 4).

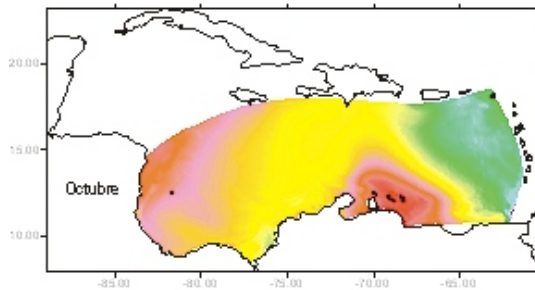
El uso de los datos no se limita al proceso de inicialización del sistema. Los estudios del clima del mar Caribe pueden ser efectuados con base en la información producida por el modelo. La Figura 9 muestra la estacionalidad de los campos de la TSM, como resultado de una “interpolación física” de los datos.



**Figura 9.** Estacionalidad de los campos de TSM según el modelo.

El mismo proceso se efectúa para los campos de salinidad. La Figura 10 muestra los datos y el ajuste del modelo.





**Figura 10.** Ejemplo de la distribución de la salinidad según los datos de NODC (WOA-98, arriba) y el campo calculado después de la inicialización (abajo).

En la fase operacional el sistema SPOD asimila la temperatura superficial del mar, los sensores remotos no proporcionan la información sobre la salinidad, así que este parámetro queda amarrado a la climatología durante todo el proceso.

## Discusión

Un sistema de ecuaciones diferenciales “interpola” las condiciones de contorno dentro del dominio de cálculo de acuerdo con las leyes físicas expresadas en estas ecuaciones. Por lo tanto, los modelos basados en ecuaciones diferenciales pueden considerarse como interpoladores físicos en contraste con los métodos clásicos de interpolación, los cuales usualmente no tienen en consideración la física y, por ello, son procedimientos matemáticos formales.

El proceso mostrado en las Figuras 7 y 10, entonces, se puede explicar no solamente como uno de los resultados de la modelación, sino también como una de las formas de interpolar los datos en una malla de mayor resolución. Ciertas restricciones aplicadas, como el procedimiento de amarre hacia los campos climatológicos, son menos fuertes en comparación con el análisis objetivo, hecho

por el NODC, en el sentido de la minimización del error medio cuadrático. Por lo tanto, el proceso inverso (regresar de los resultados mostrados en la Figura 7 a los de la Figura 5, es decir, al estado inicial) no es válido en términos generales.

Los sistemas modernos de asimilación de datos aplican las restricciones dinámicas, provenientes de los modelos, buscando la “primera adivinanza” (*background*) o asegurando el balance de algunas propiedades en el campo del análisis (Daley, 1991). En este contexto, la aplicación de los modelos en la producción de los campos del análisis se considera como una “prolongación” de los métodos estadísticos para el análisis de los datos de mediciones. Los primeros se encuentran en una *base de datos*, los segundos tienen que formar *base de información*.

En general, cualquier forma del análisis de datos primarios es un procedimiento artificial desde el punto de vista de los mismos datos. La interpolación de los datos en la vertical a los niveles oceanográficos estándares, basada en cualquier método más o menos sofisticado, es el primer nivel en la cadena de tratamientos posteriores, los cuales, atravesando el análisis objetivo, en este trabajo llegan hasta la producción de los “datos” generados por el modelo. En otras palabras, los modelos, asimilando los datos, producen nuevos “datos”, incluso, una cantidad de parámetros no observables. Desde este punto de vista, dicha información tiene que ser almacenada y evaluada como una parte de la base de información del CIOH.

Un ejemplo de lo anterior es el uso operativo del modelo de pronóstico de oleaje para el mar Caribe que utiliza la CPMO del CIOH (modelo NedWAM, Lonin *et al.*, 1996). El uso del modelo lleva ocho años en el CIOH. Al mismo tiempo, los altímetros remotos de



TOPEX/POSEIDON y ERS podrían servir para calibrar los resultados del modelo a lo largo de las órbitas de los satélites. Los resultados del modelo NedWAM, almacenados durante años en una base de información son de gran utilidad para los estudios de la dinámica costera, produciendo las entradas estadísticas para un modelo costero en el contorno de aguas profundas (Lonin, 2002).

En forma similar, los campos hidrofísicos diarios (temperatura, salinidad, corrientes), generados por el SPOD, acumulados en una base, sirven posteriormente para cualquier estudio oceanográfico en el mar Caribe y como las condiciones de contorno para los modelos locales. Las boyas oceanográficas y los sensores remotos permiten calibrar esta información y remover los sesgos.

Regresando al asunto del uso de los datos oceanográficos de la base del CIOH, se considera importante involucrar los datos nacionales (NODC-Colombia) en el proceso. Una etapa previa debe ser la homogenización del proceso de tratamiento de la calidad de datos de acuerdo con normas previamente establecidas. Para el control de los datos primarios, éste debe ser un control estandarizado de calidad: índices de calidad (*flags*) unificados a través de la política de IODE (*International Oceanographic Data Exchange*) y de acuerdo con los existentes en el NODC de la NOAA.

La presencia de sesgos en algunos datos puntuales podría tener naturaleza errónea o estar relacionada con una perturbación realmente observada en la escala del tiempo (ino del clima!) oceánico. Los índices de calidad existentes tienen que ser completados con otros, (nuevos), propuestos de acuerdo con la específica de los cruceros y del uso de los datos a nivel nacional. Se requiere una

correlación entre estas observaciones y otros parámetros del medio ambiente; un análisis adecuado de la calidad de datos incluso puede ser hecho con ayuda de los modelos.

## Conclusiones

El sistema SPOD arroja datos climatológicos, los cuales sirven para:

- El diagnóstico del comportamiento estacional de los campos oceanográficos
- Preparación del arranque “caliente” para el modo operacional
- Ser el “*background*” de la salinidad si el nivel del mar no se asimila en los campos T y S
- Especificar las condiciones de contorno (patrones) a ser usadas en áreas locales en otros modelos

Con respecto a estos datos el modelo funciona como un interpolador hidrodinámico, ajustando los procesos físicos en su interacción. Mirando más ampliamente la función del modelo se puede concluir que el monitoreo oceanográfico empieza en la recolección de los datos y termina en su análisis adecuado, aplicando los modelos. Vale decir que precisamente estos modelos son los que permiten entender la evolución de los campos, mediante el monitoreo. El último término se entiende acá en su sentido general, como un sistema de observaciones y análisis que satisface a los objetivos del uso de esta información con base en ciertos criterios de su calidad. Hay dos fuentes principales de información: los datos y los modelos. La información en los últimos consiste en las leyes físicas de conservación de distintas propiedades. Sería conveniente buscar una conexión directa entre la base de datos y los modelos matemáticos que pueden “visualizar” la información.

Según Kochergin & Timchenko (1987), la introducción de los datos en los modelos causa una separación de los campos reales del océano en los tres siguientes componentes:

$$\varphi = \langle \varphi \rangle + \varphi' + \varphi^c,$$

donde  $\langle \varphi \rangle$  representa la parte del campo que puede ser restituida con base en la información disponible;  $\varphi'$  son errores del monitoreo y  $\varphi^c$  es la componente de sub-escala (suegrilla), que principalmente no se resuelve en la malla empleada.

El principio del monitoreo consiste en la búsqueda de la mejor estimación de  $\langle \varphi \rangle$  con base en la teoría de la filtración óptima. Utilizando los diagnósticos de los modelos ( $\varphi_m$ ) y los datos de observaciones ( $\varphi_o$ ), los campos reales se presentan como:

$$\varphi = \varphi_m - \Delta(\varphi_o - \varphi_m) + \varphi' + \varphi^c,$$

donde  $\Delta$  es un operador de pesos ponderados y los errores de observaciones se descartan.

Finalmente, vale la pena mencionar que el uso de bases de datos hace parte de varios estudios multidisciplinarios: ecosistemas marinos, oceanografía pesquera, estudios climáticos. Un ejemplo de este tipo es el intercambio de gases de efecto invernadero en la superficie oceánica que tiene una tasa relativamente alta en las zonas locales, relacionada con la surgencia costera (La Guajira) y las bocas de los ríos grandes de la región (Hernández y Lonin, sin publicar). Los Centros Mundiales de Datos no abarcan las áreas locales por la cobertura de la información procesada, ni por los métodos de procesamiento. La base nacional NODC-Colombia tendrá que jugar un papel importante en estos estudios regionales.

## Agradecimientos

El trabajo es una parte del proyecto de la Dirección General Marítima “Validación y Operacionalización del Modelo Numérico de Búsqueda y Rescate, CODEGO y PROPAS en las Unidades de la Armada Nacional”. Fueron utilizados los siguientes datos de la NOAA: la climatología de COADS (Atlas of Surface Marine Data 1994, US Dep. of Commerce); los datos de NODC (Nacional Oceanographic Data Center), WOD-98 y los datos de batimetría ETOPO-5 de NGDC 5-Minute Gridded Elevation Data Selection. El autor está agradecido a S. Levitus por la información suministrada y a C. Parra por sus valiosos consejos sobre el contenido de este trabajo.

## Referencias bibliográficas

- Daley, R. (1991). Atmospheric Data Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 457 p.
- Da Silva, A.M. & Levitus, S. (1994). Atlas of Surface Marine Data 1994. NOAA Atlas NESDIS 6, Wash., D.C.
- Halpern, D. (1988). Moored surface wind observations at four sites along the Pacific Equator between 140° and 95° W. *J. Climate*, No. 1, pp. 1251-1260.
- Kochergin, V.P. & Timchenko, I.Ye. (1987). Monitoring of Hydrophysical Ocean Fields. Leningrad, Gidrometeoizdat, 280 p.
- Levitus, S. (1982). Climatological Atlas of the World Ocean, NOAA Prof. Paper No. 13, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 17 fiches, 173 p.
- Levitus, S. (2001). World Ocean Atlas 2001, NOAA Atlas NESDIS 54, Silver Spring, MD.
- Lonin, S.A. (2002). Aplicación del modelo LIZC (CIOH) para el estudio de la dinámica de playa en un sector del Golfo de Morrosquillo. *Boletín Científico CIOH*, N. 20, pp. 18-27.

Lonin, S.A., J.C. Anduckia, C. Parra y R. Molaes. (2003). Sistema de Pronóstico de las Condiciones Oceanográficas del Mar Caribe. Boletín Científico CIOH, No. 21, pp. 8-27.

Lonin, S.A., I.E. Lonina y Yu.S. Tuchkovenko. (1996). Utilización del Modelo NedWAM para el Cálculo y Pronóstico del Oleaje en el Mar Caribe. Boletín Científico CIOH, N. 17, pp. 37-46.

Mellor, G.L. (1993). User's Guide for a Three-Dimensional Primitive Equation Numerical Ocean Model, Princeton, NJ, 35 p.