
CONFORMACION DE UN MODELO BATIMETRICO PARA EL GOLFO DE MEXICO A ESCALA 1:50000

CONFORMATION OF A BATHIMETRIC MODEL FOR THE GULF DE MEXICO TO 1:50000 SCALE

Oswaldo Rodríguez Morán

*Dr. Investigador titular del Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet). Miembro de la Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental (2009). La Habana, Cuba.
ormoran@ceinpet.cupet.cu*

Recibido para evaluación: 30 de Noviembre de 2010 / Aceptación: 1 de Julio de 2011 / Recibida versión final: 15 de Julio de 2011

RESUMEN

La República de Cuba debe demostrar -ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental de las Naciones Unidas- la extensión natural de su plataforma continental más allá de las 200 millas marinas, solo en la alta mar de la parte oriental del Golfo de México, delimitada por las zonas económicas exclusivas de la República de Cuba (Cuba), los Estados Unidos Mexicanos (México) y los Estados Unidos de América (Estados Unidos). Las fronteras marítimas de los referidos Estados en el polígono oriental del Golfo de México no han sido delineadas hasta el momento. A partir de este problema fue propuesto como objetivo la conformación de un Modelo Digital Batimétrico (MDB) del área a delimitar. En este trabajo se expone la descripción detallada de los conjuntos de datos utilizados y las fuentes de obtención de estos datos primarios, los mapas, los procedimientos técnicos y las metodologías científicas que se han aplicado para la conformación del MDB de esta área. Además, se muestra el procedimiento del cálculo del Error Medio Cuadrático de la generación del MDB -el cual fue de un 3.3%- como elemento que avala la fiabilidad de la estimación del MDB para confiables utilizaciones futuras, en estudios batimétricos.

Palabras Claves: Golfo de México, batimetría, fronteras marinas, comisión de límites, plataforma continental, Cuba

ABSTRACT

The Republic of Cuba demonstrates -in front the Commission of Limits of the Continental Shelf of the United Nations- the natural extension of its continental Shelf beyond the 200 nautical miles, only in the high seas area in Eastern Gulf of Mexico, defined by the external limits of the economic exclusive zones of the Republic of Cuba (Cuba), the United Mexican States (Mexico) and the United States of America (United States). In the Eastern Sector of the Gulf of Mexico, the maritime boundaries of the above mentioned countries have not been delimited up to the present time. Starting from this problem it was proposed as objective the conformation of a Bathymetric Digital Model (BDM) of the area to define. In this paper is exposed the detailed description of the used datasets and the sources of obtaining of these primary data, the maps, the technical procedures and the scientific methodologies that have been applied for the conformation of BDM of this area. Also, the procedure of the calculation of the Mean Quadratic Error of the generation of BDM is shown, which was of 3.3%. This value endorses the reliability of the estimate of BDM for future reliable uses, in bathymetric studies.

Key Words: Gulf of México, bathymetric, maritime boundaries, commission of limits, continental shelf, Cuba

1. INTRODUCCION

La Presentación de la República de Cuba ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental establece la delimitación de la plataforma continental de Cuba más allá de las 200 millas marinas en el Golfo de México en correspondencia con lo establecido en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Según la Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental (2009), la República de Cuba demuestra la extensión natural de su plataforma continental más allá de las 200 millas marinas solo en la alta mar de la parte oriental del Golfo de México, delimitada por las zonas económicas exclusivas de la República de Cuba (Cuba), los Estados Unidos Mexicanos (México) y los Estados Unidos de América (Estados Unidos). Las fronteras marítimas de los referidos Estados en el polígono oriental del Golfo de México no han sido delineadas hasta el momento.

La República de Cuba es un Estado insular y no presenta información sobre plataforma continental extendida en el Estrecho de la Florida, la Costa Atlántica, el Paso de los Vientos, el Mar Caribe y el Estrecho de Yucatán. En estas zonas marítimas los países vecinos se encuentran a menos de 400 millas marinas de distancia medidas desde el sistema de líneas de base.

Por lo que nos enfrentamos al problema de la necesidad de crear la base digital del lecho marino del área del Golfo de México concerniente al objetivo de la delimitación. Esto nos lleva a considerar que nuestro objeto de estudio es la morfología batimétrica del área en cuestión.

Frente al objetivo trazado de conformar un Modelo Digital Batimétrico (*MDB*) del área del Golfo de México, es que nos concentramos en los datos de base para el proceso de regionalización, es decir la base de datos que se utilizará para la regularización del *MDB*.

En la Figura 1 se muestra la ubicación del Polígono Oriental del Golfo de México, limitado por la Zona Económica Exclusiva de Estados Unidos (*ZEE-EU*), la Zona Económica Exclusiva de México (*ZEE-MX*) y la Zona Económica Exclusiva de Cuba (*ZEE-CU*).

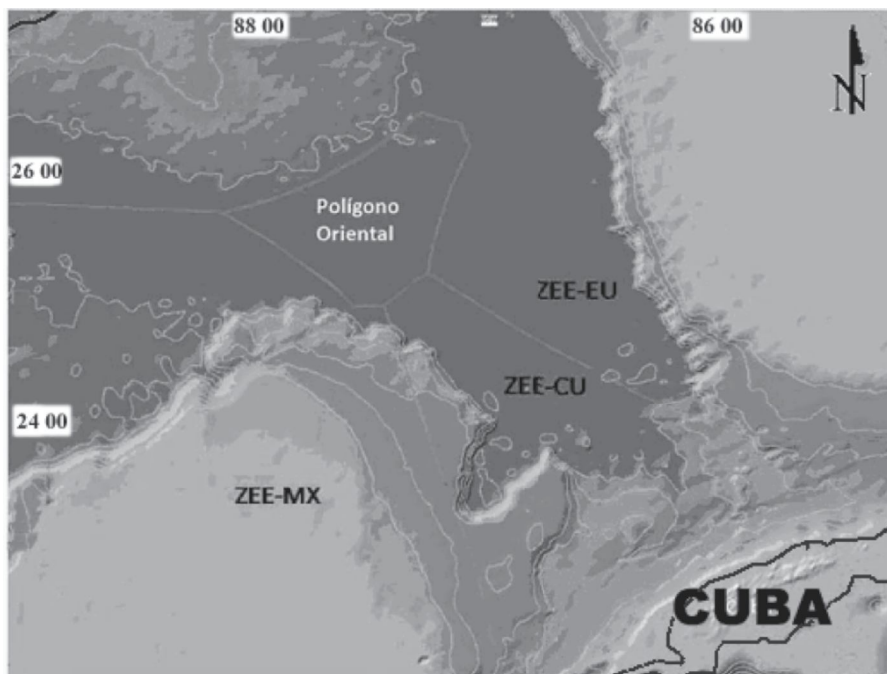


Figura 1. Ubicación del Polígono Oriental del Golfo de México (Fuente: Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental, 2009).

2. MATERIALES Y METODOS

Por razones económicas y de logística, el mapa batimétrico resultante fue obtenido desde un conjunto de datos colectados por diferentes estudios batimétricos en un período de varios años y obtenidos desde sitios de Internet de dominio público.

La información batimétrica utilizada proviene de cuatro fuentes de datos (Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental, 2009):

- Base de datos *IHO-DCDB GEODAS*.
- Atlas Digital de Alta Resolución *CARIS Digital Atlas (High-Res Bathymetric Edition)*.
- Carta Batimétrica General Digital (*GEBCO: General Bathymetric Chart of the Oceans*), Edición del Centenario, 2003.
- Altimetría de la base de datos (Smith, W., Sandwell, D., 2000). de la Universidad de California (mezcla de puntos tomados con sondas en barcos y altimetría de satélites).

A continuación se detallan las características de cada una de estas cuatro fuentes de datos utilizados (Naciones Unidas, 1999, United Nations. Training Manual, 2006 y Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental, 2009):

1. *Base de datos IHO-DCDB(International Hydrographic Office-Data Centre for Digital Bathymetry) GEODAS(Geophysical Data Management System)*: Se trabajó con información perteneciente a la colección de datos descargados desde el sitio *GEODAS (NGDC:National Geophysical Data Center, 2008)*. De esta base de datos se utilizó información de estudios batimétricos de levantamientos geofísicos, que contienen datos de navegación de los puntos de disparos en formato digital y además aportan mediciones gravimétricas, magnéticas y batimétricas.
2. *CARIS Digital Atlas (High-Res Bathymetric Edition)*: Esta base de datos contiene los resultados de la importación de los datos batimétricos globales a partir de la altimetría satelital de alta resolución a escala 1:250.000, datos batimétricos con 2 minutos de resolución, contando con un volumen de información en el entorno de los 50.000.000 sondas batimétricas y de la base de datos ETOPO 2, contenedora de un volumen de 70.000.000 cotas topo-batimétricas.
3. *Carta Batimétrica General Digital (GEBCO), Edición del Centenario, 2003*: Esta base de datos cuenta con una interpolación reticulada a 1 minuto de resolución. Además, contiene un conjunto de isobatas, líneas de sondeo de control y datos de las líneas de costa implicadas; con una escala básica de 1:10.000.000 con sectores actualizados en un intervalo de reticulado a una resolución entre 1:10.000.000 y 1:250.000.
4. *Altimetría de Satélite*: Mediante el uso de los altímetros colocados en los satélites se ha obtenido el campo gravimétrico marino de casi todo el globo con gran precisión y resolución espacial moderada (NOAA: *National Oceanic & Atmospheric Administration, 2008*). Recopilación de información antigua de sondas de barco junto con la información de los satélites altimétricos *GEOSAT (Geodetic Satellite)*, es posible obtener vía Internet la información batimétrica de cualquier lugar del mundo de forma gratuita y sobre una malla aproximada de tres por tres kilómetros.

La digitalización por puntos no se consideró necesaria, al contar con toda la información en formato vectorial y en estructura tabulada en formato *ASCII (American Standard Code for Information Interchange)*, obtenida a partir de cada una de las bases de datos usadas.

El final de la recopilación de los datos primarios para la conformación del *MDB* es un fichero *ASCII* en el sistema de referencia *GRS80 (Geodetic Reference System, 1980)*. Este fichero posee una cantidad de 376995 tríadas de valores batimétricos, estructurados de la forma siguiente *Longitud* (con valor negativo para facilitar su graficado y con 6 cifras decimales), *Latitud* (con 6 cifras decimales) y *Profundidad*.

Según la Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental (2009), el mapa batimétrico resultante se caracterizó por los aspectos siguientes (Figura 2):

- e. Los datos fueron colectados en diferentes años usando diferentes métodos de posicionamiento y de medición de profundidades, por lo que se pueden encontrar sondas aisladas, algunas intermitentes, aunque la mayoría son líneas de levantamientos continuas. Los datos correspondientes a la velocidad del sonido del mar en algunos casos no estuvieron disponibles y en otros no legibles, por lo que no fueron utilizadas.
- f. La distribución de los datos no es homogénea y es aislada, caracterizándose por espacios vacíos, no permitiendo la verificación o el ajuste de algunas de las líneas de levantamientos usadas.
- g. A partir de la lectura directa de las líneas de levantamientos en la zona de estudio no se puede lograr una detallada descripción de los elementos del lecho marino.

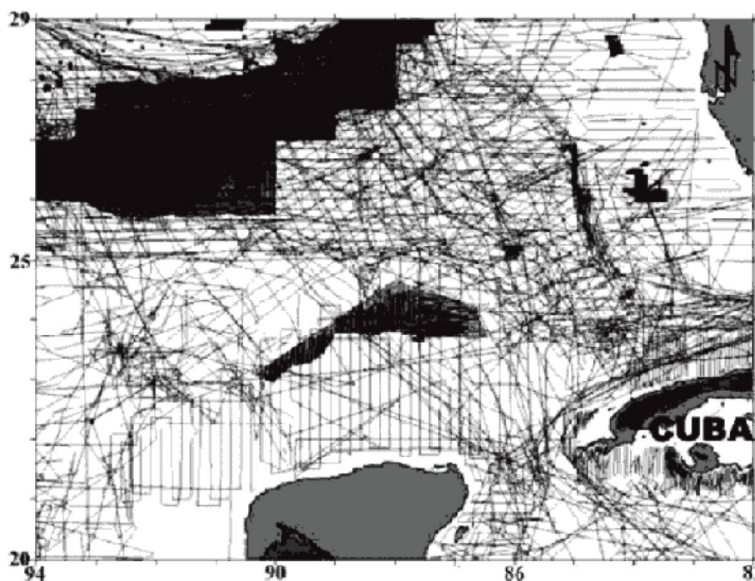


Figura 2. Representación de la superposición final de las líneas de levantamientos en la zona de trabajo (Fuente: Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental, 2009).

Para la conformación del Modelo Digital Batimétrico (*MDB*) (Rossiter, D. G., Rodríguez, M. F., 2001) se partió de varias premisas, estas fueron:

- Los datos de base son observaciones secuenciales (en grandes tramos), sesgados por una fuerte linealidad (Figura 2).
- La escala de detalle para la obtención del *MDB* debe ser de 1:50000.

Todo el procesamiento para la obtención del *MDB* se llevó a cabo con el programa de Surfer® v8.02 de Golden Software, donde se encuentran las herramientas necesarias para lograr este cometido.

Las coordenadas de los límites rectangulares de los datos base del *MDB* son los siguientes: [*Longitud 94°, Latitud 20°*] para la esquina inferior izquierda del área y [*Longitud 82°, Latitud 29°*] para la esquina superior derecha (Tabla I).

Tabla I. Relación de coordenadas de la zona objeto de estudio.

No	LATITUD			LONGITUD		
	Grado	Minuto	Segundo	Grado	Minuto	Segundo
1	20	00	00	94	00	00
2	29	00	00	94	00	00
3	29	00	00	82	00	00
4	20	00	00	82	00	00

Para lograr una generación del *MDB* a una escala de 1:50000, es necesario que las celdas de la red a estimar sea de

0.005°, tanto de Longitud como de Latitud, esto es porque 500 metros son aproximadamente 0.00482885° y tomaremos el valor redondo de 0.005° (que son 517.72 metros). Esto resulta una red de 1401 x 1401 nodos que en total suman 1 962 801 nodos de la red del *MDB*.

El Modelo Digital Batimétrico (*MDB*) será elaborado sobre la base del Sistema de Coordenadas Geográficas con grados y 6 décimas de grados, tanto para la Longitud como para la Latitud, tomando el valor opuesto de la Longitud para las facilidades del graficado en el programa de Surfer® v8.02 de Golden Software, es decir consideraremos el par geográfico [-Longitud; Latitud].

Los datos de base, a pesar de su gran magnitud (376995 tríadas de valores batimétricos), no tienden a distribuirse homogéneamente en el área. Estos datos son secuenciales (Davis, J.C., 1986), es decir, fueron generados a lo largo de direcciones lineales dadas y en cada una de estas direcciones, la distancia entre cada una de las posiciones de los valores batimétricos es relativamente pequeña con respecto a la distancia entre estas direcciones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para valorar el grado de afectación de la heterogeneidad de la distribución espacial de los datos, se elaboró en una tabla de distribución de frecuencia de la distancia espacial entre los puntos, agrupadas en intervalos dados (Tabla II). Aquí se aprecia que sólo el 70% de los puntos espaciales de los datos de la red básica poseen hasta una distancia máxima entre ellos de 1000 m. Para poder contrarrestar la influencia de la distribución heterogénea de los datos de base, además de un fuerte sesgo debido a la secuencialidad de observación de éstos a un intervalo relativamente pequeño, se aplicó una estrategia de selección espacial de los datos que participarán en el acto de estimación de cada uno de los nodos del *MDB*, estas son las características:

- Número de sectores de Búsqueda: 8.
- Número máximo de datos a utilizar en todos los sectores: 32.
- Número máximo de datos a utilizar en cada sector: 4.
- Número mínimo de datos en todos los sectores (si es menor el nodo es blanqueado): 1.
- El nodo es blanqueado si más de estos sectores son vacíos: 8.

Tabla II. Distribución de frecuencia de la distancia espacial entre los puntos de la red de base.

Intervalo [m]	Frecuencia	Acumulado de Frecuencia [%]	Intervalo [m]	Frecuencia	Acumulado de Frecuencia [%]
[0, 500)	249	0.0660	[10000, 10500)	203	99.6467
[500, 1000)	262437	69.6789	[10500, 11000)	106	99.6748
[1000, 1500)	52896	83.7099	[11000, 11500)	126	99.7082
[1500, 2000)	31146	91.9715	[11500, 12000)	27	99.7154
[2000, 2500)	20253	97.3437	[12000, 12500)	34	99.7244
[2500, 3000)	2931	98.1212	[12500, 13000)	116	99.7552
[3000, 3500)	1137	98.4228	[13000, 13500)	55	99.7698
[3500, 4000)	664	98.5989	[13500, 14000)	28	99.7772
[4000, 4500)	612	98.7613	[14000, 14500)	27	99.7843
[4500, 5000)	691	98.9445	[14500, 15000)	27	99.7915
[5000, 5500)	915	99.1873	[15000, 15500)	36	99.8011
[5500, 6000)	346	99.2790	[15500, 16000)	23	99.8072
[6000, 6500)	226	99.3390	[16000, 16500)	18	99.8119
[6500, 7000)	125	99.3721	[16500, 17000)	8	99.8141
[7000, 7500)	125	99.4053	[17000, 17500)	15	99.8180
[7500, 8000)	72	99.4244	[17500, 18000)	15	99.8220

Intervalo [m]	Frecuencia	Acumulado de Frecuencia [%]
[8000, 8500)	74	99.4440
[8500, 9000)	85	99.4666
[9000, 9500)	131	99.5013
[9500, 10000)	345	99.5928
[10000, 10500)	203	99.6467
[10500, 11000)	106	99.6748
[11000, 11500)	126	99.7082
[11500, 12000)	27	99.7154
[12000, 12500)	34	99.7244

Intervalo [m]	Frecuencia	Acumulado de Frecuencia [%]
[18000, 18500)	21	99.8276
[18500, 19000)	18	99.8324
[19000, 19500)	19	99.8374
[19500, 20000)	22	99.8432
[20000, 20500)	11	99.8462
[20500, 21000)	13	99.8496
>21000	567	100.0000
TOTAL	376995	

Sobre el método de estimación del *MDB*, se seleccionó el método del *Inverso de la Potencia de la Distancia* [Aguilar, M. A., et al. (2001)], el cual, algorítmicamente podría presentarse de esta manera [Davis, J.C. (1986), Lehmann, C. H. (1974) y Surfer® v8.02 de Golden Software]:

$$Z_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad [1]$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad [2]$$

donde:

h_{ij} es la distancia de separación entre el nodo “j” de cuadrícula y el punto “i”.

Z_i es un punto i-esimo de la vecindad del nodo j.

Z_j^* es el valor estimado en el nodo j de la red.

d_{ij} es la distancia entre el nodo j de la red y el punto i-esimo de la vecindad.

β es el parámetro de la potencia.

δ es el parámetro de suavizamiento.

Con el *Inverso de la Potencia de la Distancia*, los datos son ponderados durante la interpolación de forma que la influencia de un punto en relación con otro disminuye con la distancia del nodo de cuadrícula de la red del modelo batimétrico. Cuando el parámetro de la potencia aumenta, el valor de nodo de cuadrícula se acerca al valor del punto más cercano. Para un parámetro de la potencia más pequeño, las influencias de los puntos de la vecindad son distribuidas de forma más uniformemente entre los puntos.

Este algoritmo de estimación está incluido dentro del el programa de Surfer® v8.02 de Golden Software.

En la Figura 3 se muestra el *MDB*, estimado con el método del *Inverso de la Potencia de la Distancia*, con un parámetro de la potencia igual a 2. Se puede apreciar que la influencia de la heterogeneidad de la distribución de los puntos de base es muy fuerte y no es disuadida por el parámetro de la potencia de valor de 2. Esto hizo la necesidad de variar el valor del parámetro de la potencia.

En el gráfico de la Figura 4 se muestran curvas con diferentes grados de atenuación a partir de la aplicación de diferentes parámetros de la potencia de las curvas generadas por la función: $y=(1/d^n)$. Para distintos parámetros del factor n (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4), el gráfico muestra diferentes niveles de atenuación (eje Y) para las diferentes distancias (eje X). En el

intervalo entre cero y uno, los valores de n al acercarse a cero, la atenuación es más drástica que para los valores de n cercanos a uno. A partir de esto, se tomó un valor de n igual a 0.4. En la Figura 5 se muestra el *MDB* generado sobre la base de la misma estrategia de selección espacial de valores y con un factor de atenuación de 0.4.

Para conocer el error de estimación del *MDB*, utilizaremos una aplicación del Sistema Surfer® v8.02 de Golden Software. Este sistema posee un método de procesamiento para determinar la calidad del modelo digital estimados. Este método es llamado, método *Cross Validate* (*Validación Cruzada*).

En general, la validación de *Cross Validate* es considerada un método que tiene el objetivo de establecer la calidad de una regionalización de variable, o para comparar la respectiva calidad de dos o más métodos de estimación. En el programa de Surfer® v8.02 de Golden Software, la validación de *Cross Validate* puede ser utilizada con todos métodos de estimación.

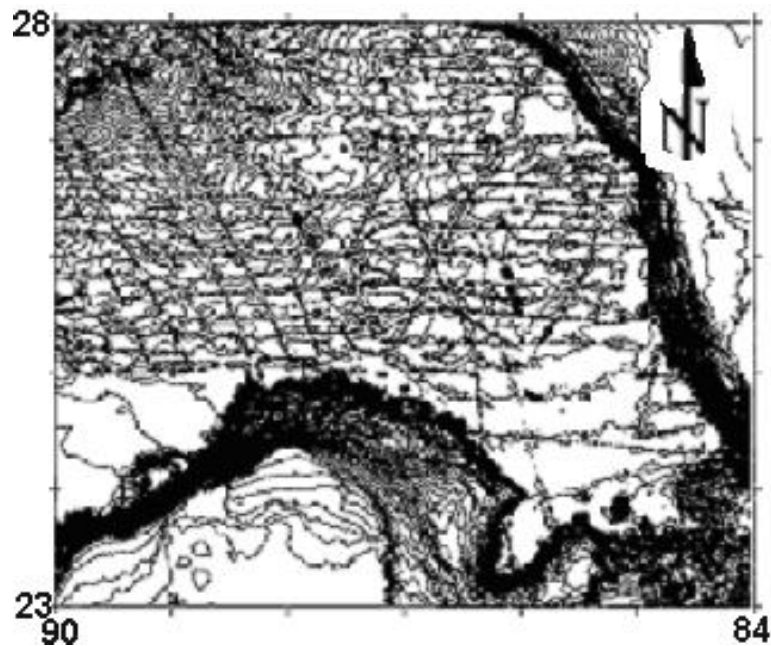


Figura 3. Modelo Digital Batimétrico estimado con el método del *Inverso de la Potencia de la Distancia* y con un parámetro de la potencia igual a 2.

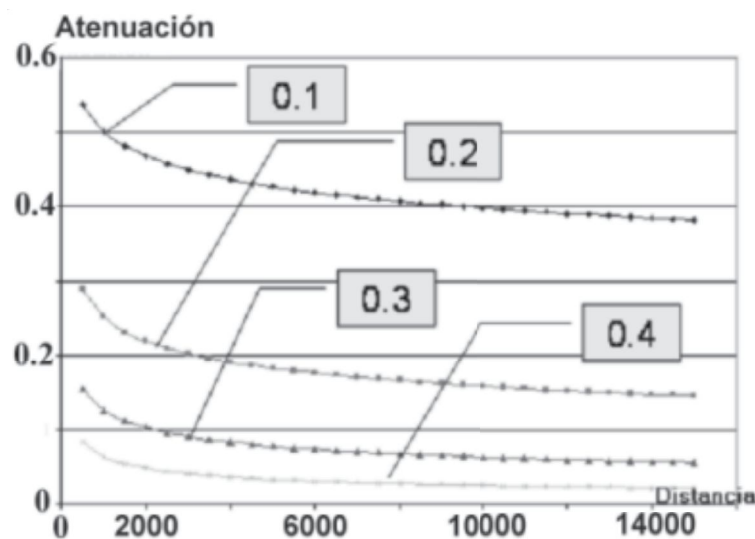


Figura 4. Curvas generadas por la función: $y = (1/d^n)$, para varios parámetros del factor n .

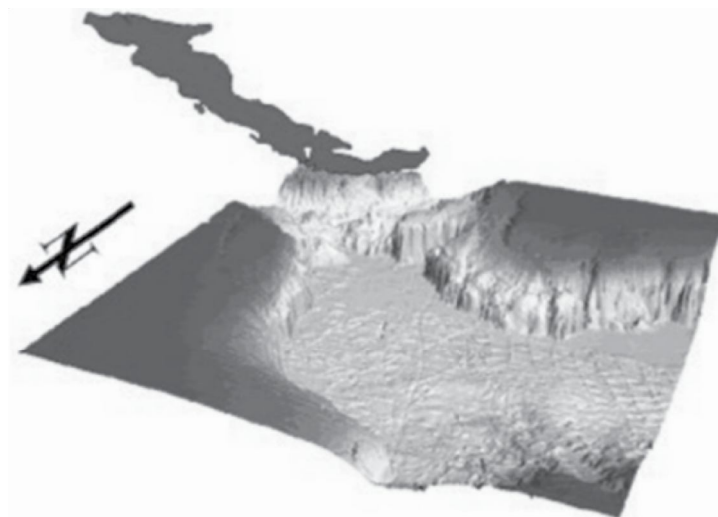


Figura 5. Modelo Digital Batimétricos generado con un valor del parámetro de la potencia de 0.4.

El principio del método *Cross Validate*, es el siguiente: se parte de los datos originales de base, los cuales fueron el origen del *MDB*, como el esquema de la Figura 6a. En esta figura se representa 10 valores batimétricos, estos son Z_1, Z_2, \dots, Z_{10} y se tienen también, aunque no está representado explícitamente en la Figura 6a, las coordenadas espaciales de cada uno de estos valores batimétricos. Definitivamente tendríamos las tríadas de base: $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), \dots, (X_{10}, Y_{10}, Z_{10})$,

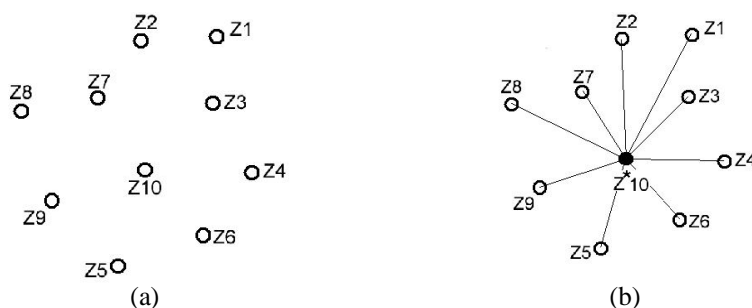


Figura 6. (a) Esquema que representa la distribución de datos de base para la generación del *MDB* y (b) Esquema de estimación del valor batimétrico en la localización del punto Z_{10} .

Se toma un elemento de la tríada, por ejemplo Z_{10} , y se procede a la estimación del valor batimétrico en la posición (X_{10}, Y_{10}) , suponiendo que no existe información batimétrica en ese punto (Figura 6b). Esta estimación se realiza, a partir de los valores batimétricos que existen en la periferia de la posición (X_{10}, Y_{10}) , a partir de la estrategia de selección considerada en la conformación de la estimación. De esto, se obtiene un valor batimétrico estimado (Z_{10}^*), que en general difiere del valor batimétrico de base en la posición (X_{10}, Y_{10}) que es Z_{10} . Esta diferencia ($|Z_{10} - Z_{10}^*|$) se procesa estadísticamente para el cálculo del error de estimación.

Para la estimación del error del *MDB*, se seleccionó un área (más reducida que la total), sobre la cual se procederá a realizar las aplicaciones futuras referente a los objetivos de determinación del Pie de Talud Continental (*FOS*) y para establecer -ante la Comisión de Límites de la Plataforma Continental- la delimitación de la plataforma continental de la República de Cuba más allá de las 200 millas marinas en el Golfo de México. Las coordenadas de esta área más reducida se muestran en la Tabla III y es sobre ella, sobre la cual se estimará el Error Medio Cuadrático (*EMC*) que establecerá con su valor, la calidad de la estimación del *MDB*.

En la Figura 7 se muestra la ubicación relativa del área que se utilizará para evaluar el *EMC* del *MDB*.

Tabla III. Coordenadas de la microlocalización de la zona útil para la determinación del *EMC*.

No	LATITUD			LONGITUD		
	Grado	Minuto	Segundo	Grado	Minuto	Segundo
1	24	00	00	88	00	00
2	26	00	00	88	00	00
3	26	00	00	86	00	00
4	24	00	00	86	00	00

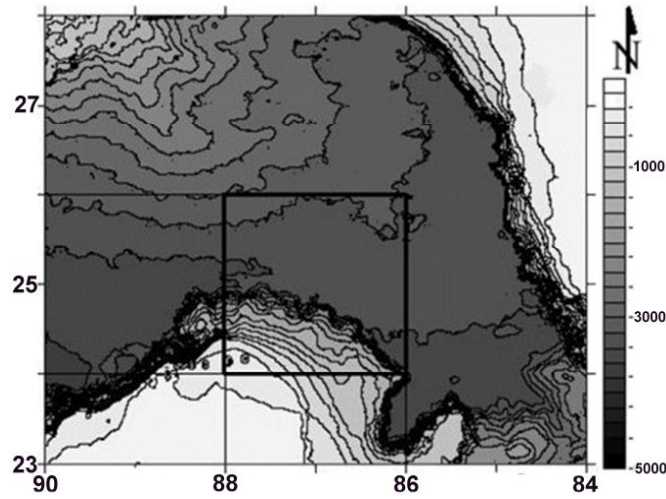


Figura 7. Ubicación del área que se utilizará para evaluar el *EMC* del *MDB*.

Los datos suministrados para la validación *Cross Validate* son los siguientes:

- Cantidad de números de la Red de Base que se seleccionarán para el análisis.
- Coordenadas de la sub-región de donde se extraerán los datos para el análisis.
- Intervalo de la variable dentro del cual será realizado el proceso.
- Valores del Ancho_X y Ancho_Y que señalarán la tolerancia de distancia entre datos para la exclusión de estos en el análisis.
- Camino y nombre del fichero de salida de los resultados, con extensión [.dat].

El procesamiento se realizó, a partir de los 5 aspectos anteriores, con los datos siguientes:

- 1000 muestras.
- Coordenadas Inferior Izquierda del área rectangular: [88°,24°], coordenadas Superior Derecha del área rectangular: [86°, 26°].

Menor de 5000 m

Ancho_X=0 y Ancho_Y=0

El proceso seleccionó 1000 valores de la red de base (Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental, 2009), los que fueron tomados de firma aleatoria para el cálculo del *EMC* (Spiegel. M. R., 1971), cuya expresión clásica se muestra a continuación:

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y^*)^2}{n}} \quad [3]$$

Donde

n es el número de valores a procesar (en nuestro caso 1000 muestras).

y_i es el valor de la profundidad del punto i -ésimo.

y^* es el valor de la profundidad estimada para el punto i -ésimo.

El cálculo nuestro arrojó un *EMC* de 98.28 metros, lo que representa un 3.3% de error respecto al promedio de profundidades tomadas de forma aleatoria para el cálculo, pues si calculamos el promedio de profundidades tomadas para la estimación del *EMC* esta es de: -2912.24 metros y al ser el *EMC* = 98.28 metros, entonces:

$$\frac{98.28}{|-2912.24|} \times 100 = 3.3\% \quad [4]$$

Los datos originales no sufrieron ningún tipo de procedimiento de filtrado o suavizado en el proceso de obtención del *MDB*, esto hace que los resultados sean más confiables, pues se trabaja con valores más cercanos a la realidad.

El *MDB* presentado en la Figura 6 –con 1 962 801 nodos en su red- no fue obtenido directamente, fue resultado de ejecutar algunas variantes de selección espacial para la estimación de los valores batimétricos en cada uno de los nodos del *MDB* y además, algunas pruebas tratando de lograr la utilización correcta del parámetro de la potencia en la expresión de interpolación [1] y [2].

Lo anteriormente expuesto logró eliminar el fuerte sesgo de distribución espacial que poseían los datos originales, que aunque eran suficientes en cantidades en el área, sí mantenían una secuencialidad que atentaba contra la adecuada exactitud de la estimación.

El *EMC* obtenido de 3.3% para caracterizar la exactitud de la estimación del *MDB*, invita a la utilización confiable de este, para trabajos batimétricos a escala 1:50000.

4. CONCLUSIONES

- Se logró acopiar la información pública batimétrica del Golfo de México para la conformación del *MDB*, a partir de cuatro fuentes: Base de datos IHO-DCDB GEODAS, CARIS Digital Atlas, Carta Batimétrica General Digital y Altimetría de Satélite.
- Se logró eliminar el fuerte sesgo de distribución espacial que poseían los datos originales a partir de su naturaleza secuencial de observación, que atentaba contra la adecuada exactitud de la estimación del *MDB*.
- Se estimó el Modelo Digital Batimétrico (*MDB*) del Golfo de México a escala 1:50000 con una red de 1401 x 1401 nodos que en total suman 1 962 801 nodos, a partir de los datos de base de una cantidad de 376995 tríadas de valores batimétricos de varias fuentes de datos de uso público.
- Se obtuvo un Error Medio Cuadrático (*EMC*) de 3.3%, en la zona de microlocalización, para caracterizar la exactitud de la estimación del *MDB* lo cual invita a la utilización confiable de éste, para trabajos batimétricos a escala 1:50000.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar, M. A., F. J. Aguilar, et al, 2001. Online! Evaluación de Diferentes Técnicas de Interpolación Espacial para la Generación de Modelos Digitales del Terreno Agrícola. Disponible: http://www.mapping interactivo.com/plantilla-n-te.asp?id_articulo=22. [Consulta noviembre 2008].

- Comisión Estatal del Límite Exterior de la Plataforma Continental. 2009. Plataforma continental en el Polígono Oriental del Golfo de México. República de Cuba. CD de la Presentación de la Información cubana a la CLPC 30/abril/2009.
- Davis, J.C., 1986. Statistics and data analysis in geology. John Willey and Sons. Inc. New York, 550 P.
- Lehmann, C. H., 1974. Geometría Analítica. Editora Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro. pp. 494.
- Naciones Unidas., 1999. Directrices Científico- Técnicas (CLPC/11) de la Comisión de límites de la Plataforma Continental. 635 P.
- NGDC., 2008. GEODAS Data Search and Retrieval. Version 5.0.12 for Windows and Linux. National Geophysical.
- NOAA., 2008. Satellite and Information Service. National Geophysical Data Center (NGDC). Disponible: www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/ims/trk_cri.html [Consulta noviembre 2008].
- Rossiter, D. G., Rodríguez, M. F., 2001. Construcción de modelos digitales de terreno para la evaluación de tierras. *Venesuelos* 2 (1): pp. 37-44. Disponible: <http://www.redpav.avepa.gro.org.ve/venesuel/v021/v021a070.html> [Consulta noviembre 2008].
- Smith, W., Sandwell, D., 2000. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, ISSN 0036-8075, Vol. 277, N° 5334, 1997, pp. 1956-1962. Disponible: <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/277/5334/1956>.
- Spiegel. M. R., 1971. Teoría y problemas de estadística. Editora Ciencia y Técnica. Instituto Cubano del Libro. La Habana.
- United Nations. Training Manual, 2006. Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. Office of Legal Affairs. For delineation of the outer limits of the continental shelf beyond 200 nautical miles and for preparation of submissions to the Commission on the Limits of the Continental Shelf. United Nations. New York, 632 P.

