

**RELIEVE SUBMARINO DE CUBA Y PUERTO RICO:  
CONDICIONAMIENTO GEOTECTONICO EN ZONAS  
DE COLISIÓN INTERPLACAS.**

**José R. Hernández Santana 1, José Seguinot Barbosa 2  
Instituto de Geografía Tropical, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio  
Ambiente, La Habana, Cuba (1).  
Centro de Informática y Estudios Interdisciplinarios, Universidad de Puerto  
Rico,  
San Juan, Puerto Rico (2).**

**RESUMEN**

A la luz conceptual de la tectónica de placas se ofrecen esquemas estructurogeomorfológicos del relieve submarino de los mares y océanos circundantes a Cuba y Puerto Rico, bajo la evolución geodinámica de los elementos mayores y más característicos de la corteza terrestre del Caribe septentrional. Los principios de su clasificación tipológica distinguen las grandes estructuras, en las cuales se desarrollan los complejos morfogenéticos. En los bordes sumergidos de las placas continental Norteamericana y oceánica Caribe se caracterizan las grandes categorías del relieve submarino (shelf y talud continental e insular, depresiones y fosas profundas), utilizando los rasgos morfológicos, genéticos e hipsométricos de los distintos complejos morfogenéticos (llanuras, mesetas y cadenas montañosas) de las cuencas marinas y oceánicas.

**ABSTRACT**

In the conceptual light of plate tectonics, structural-geomorphological patterns of the submarine reliefs of Cuba and Puerto Rico are shown, under the geodynamic evolution of the larger, more characteristic elements of the northern Caribbean earth crust. The principles of their typological classification distinguish the large structures in which morphological complexes develop. In the submerged borders of the North American continental and Caribbean oceanic plates, the large categories of the submarine relief (continental and insular shelf and slope, depressions and deep trenches) are characterized, using the morphologic, genetic and hypsometric features of the different morphogenetic complexes (plains, plateaus and mountain ridges) of the sea and ocean basins.

**INTRODUCCION**

Las investigaciones sobre la morfología, la estructura, la génesis y la dinámica del relieve submarino, en especial de la zonas de transición oceánico-continental, como lo es el Mediterráneo Americano o Gran Caribe, constituyen uno de los objetivos básicos de la ciencia geomorfológica contemporánea.

Las particularidades de la situación geodinámica y del desarrollo morfoestructural del Mediterráneo Americano están determinadas por su ubicación entre los continentes de América del Norte y América del Sur y entre las cuencas oceánicas del Pacífico y Atlántico; estando compuestas por sistemas de arcos insulares de distinta edad, por fosas y cuencas profundas y cadenas montañosas submarinas. Estas características lo ubican como un tipo geográfico singular de formaciones intercontinentales e interoceánicas.

La gran complejidad de su evolución geólogo-tectónica y de su plano morfoestructural, unido al insuficiente conocimiento geólogo-geofísico ha determinado la existencia de numerosos modelos teóricos sobre este territorio, con vistas a explicar las distintas etapas de la tectogénesis y de la morfogénesis, tanto de las regiones emergidas como de las submarinas. La compleja y heterogénea estructura de esta región intercontinental e interoceánica ha motivado la atención de gran cantidad de científicos, representantes de dos grandes direcciones del desarrollo de la corteza terrestre – el fijismo y el moviismo-; en la actualidad constituye uno de los centros de las concepciones teóricas de la nueva tectónica global de placas. De acuerdo con las ideas evolutivas neomovilistas, la larga historia de interacción entre las placas continentales Norteamericana y Suramericana originó el fracturamiento de la región mexicano-caribeña, lo que determinó una diferenciación morfoestructural en microplacas, megabloques y macrobloques. El relieve actual de la tierra firme y del fondo marino reflejan contrastantemente esta estructura de bloque de la corteza terrestre en esta región (Lilienberg, 1983; Hernández et al., 1984, 1991).

El objetivo central del presente trabajo es revelar los rasgos esenciales del relieve del fondo de los mares y océanos circundantes al archipiélago cubano y a la isla de Puerto Rico, en su interrelación con los grandes elementos estructurales regionales, sobre los cuales se desarrollan diferentes complejos morfogenéticos (fig.1). El territorio estudiado abarca el borde meridional de la Placa Norteamericana, la Microplaca Cubana y el margen septentrional de la Placa Caribe, teniendo singular relevancia la Fosa de Bartlett, como eje geodinámico principal de la endogénesis del Caribe septentrional, conjuntamente con las fosas Caimanes, al Oeste, y la de Puerto Rico, al Este.

### **METODOS GEOMORFOLOGICOS COMPLEJOS**

Las bases metodológicas para el análisis del relieve submarino circundante a Cuba, así como sus resultados básicos, se concentran en las investigaciones de J.R. Hernández Santana et al. (1989, 1991, 1995), las cuales se aplicaron también al territorio marino puertorriqueño. De acuerdo con esta concepción, la estructura de su contenido está elaborada sobre la base del principio tipológico, a través del cual se clasifican las grandes unidades de los complejos morfogenéticos (plataforma o shelf y talud continentales e insulares, depresiones y fosas profundas), los cuales son caracterizados utilizando los rasgos morfológicos, genéticos e hipsométricos (llanuras, mesetas, cadenas montañosas) de las cuencas marinas y oceánicas.

En la concepción de los mapas estructuro-geomorfológicos fueron empleados dos métodos morfoestructurales fundamentales: la comparación de los datos eólogotectónicos con los estudios y evidencias geomorfológicas, y el estudio batimétrico de los elementos del relieve submarino. El análisis independiente y conjunto de ambos métodos permitió definir y clasificar los distintos tipos del relieve submarino, así como el complejo de formas principales. En el análisis batimétrico de las peculiaridades del relieve del fondo submarino cubano fue empleada la hoja No. 1001 del mapa batimétrico a escala 1:1 000 000, impreso por el Instituto Cubano de Hidrografía en 1982, mientras en el caso de Puerto Rico

fue utilizada la carta oceanográfica de Puerto Rico y las Islas Virgenes, a escala 1:781, 786, compilada y preparada por el U.S. Geological Survey, en 1981.

De acuerdo con los objetivos de este trabajo fueron utilizados los métodos de investigación siguientes: - Análisis del mapa hipsométrico (NANC 1989) a escala pequeña 1:1 000 000, el cual nos permitió interpretar las características cualitativas complejas del relieve submarino del territorio cubano.

El mapa hipsométrico ofrece gran cantidad de información sobre la intensidad de los movimientos tectónicos, de su diferenciación espacial y el carácter de su estilo, del grado de fracturamiento del territorio y de las direcciones predominantes de las zonas de dislocaciones disyuntivas y de elementos lineales del relieve. El análisis del mapa hipsométrico constituye una de las primeras etapas del estudio estructuro-geomorfológico de un territorio y nos permite conocer la distribución de las grandes unidades morfoestructurales de la región y determinar los límites tectónicos de diferente jerarquía, existentes entre ellas.

- Análisis del relieve mediante los mapas topográficos y batimétricos a escala media (1:250 000 y 1:500 000) y pequeña (1:1 000 000 e inferior), con lo cual se obtuvieron los rasgos del relieve, a través de sus elementos más contrastantes, de sus formas lineales y de la composición y orientación de sus formas más pequeñas. La interpretación de la configuración y distribución de las isobatas permitió estudiar las características generales del relieve del fondo marino. Al analizar su diseño fue posible determinar los principales sistemas de morfoalineamientos, delimitar los diferentes tipos morfogenéticos del relieve submarino y mostrar su complejo de formas.

La utilización de este método constituyó una de las vías principales que permitió distinguir las grandes unidades morfoestructurales -macrobloques- y confecciona el mapa estructuro-geomorfológico de la fosa profunda de Bartlett. En esta interpretación fue empleada la hoja N°. 3001, Caribe Occidental del Instituto Cubano de Hidrografía (1983). De igual manera, el uso del mapa batimétrico de Puerto Rico facilitó la caracterización de su relieve submarino.

- Análisis de los elementos lineales del relieve, como base para el estudio de la orientación de los sistemas de fallas y morfoalineamientos, con lo cual se determinó el estilo tectónico de cada región y se estableció el fundamento objetivo de la diferenciación estructuro-geomorfológica del territorio.

- El estudio comparativo de los datos geomorfológicos y geofísicos permitió conocer las regularidades y correlaciones entre las grandes unidades morfoestructurales y la estructura profunda de la corteza terrestre e incluso explicar, preliminarmente, el mecanismo de su formación. El empleo de los datos gravimétricos (Ushakov et al., 1979) facilitó confeccionar el esquema correlativo de sus anomalías con los grandes macrobloques, lo que arrojó una estrecha relación entre éstos y las características del campo gravimétrico, en el caso de las fosas de Caimán-Bartlett.

- La comparación de los datos geomorfológicos con las características geologotectónicas, fundamentada en los trabajos de Case y Holcombe (1980) y de Drummond (1981) permitió distinguir los distintos tipos de estructuras y deformaciones tectónicas con expresión en el relieve, determinar la historia de los movimientos neotectónicos, las regiones de ascensos y descensos, e incluso la tendencia y la intensidad de los procesos de sedimentación.

El análisis geológico completo contribuyó al esclarecimiento de la historia del desarrollo de la región en diferentes etapas de la tectogénesis, lo cual constituyó un enfoque histórico geológico (paleogeográfico) del estudio del relieve de la superficie terrestre.

- El análisis de los datos geomorfológicos y sismológicos fue utilizado para la comparación de las grandes unidades estructuro -geomorfológicas y de las zonas de morfoalineamientos que las delimitan, con la distribución de los epicentros de terremotos de diferente intensidad y profundidad local. El análisis por separado y en conjunto de estos métodos permitió definir y clasificar los distintos tipos del relieve submarino, así como el complejo de sus formas principales.

### **GENERALIDAD DEL RELIEVE SUBMARINO DEL ARCHIPIÉLAGO CUBANO Y DEL FONDO OCEANICO CIRCUNDANTE**

En esta región están representados dos grandes elementos geotecturales o planetarios: la zona continental, formada en los bordes submarinos de la periferia meridional de la Placa Norteamericana, y la zona de transición oceánicocontinental, representada por la denominada Microplaca Cubana (según Ushakov et al., 1979; y Drummond, 1981) y la periferia oceánica septentrional de la Placa Caribe (fig.2). La zona de interacción entre ambos tipos geotecturales está representada por la zona de sutura norte-cubana, al NE, y por el morfoalineamiento oriental de Yucatán hacia el NW, el cual se corresponde con un escalón abrupto de 2 a 2,5 km de profundidad, a lo largo de la porción occidental de la depresión profunda de Yucatán.

El relieve del fondo marino desarrollado sobre la zona de tipo continental está caracterizado por llanuras abrasivo-acumulativas amplias, distribuidas en la Plataforma de Bahamas. Entre este territorio y la estrecha plataforma insular septentrional cubana se extiende una depresión profunda, que se amplía hacia el Golfo de México, al W, y hacia el Océano Atlántico, hacia el E. En ambos sectores se aprecia un perfil compuesto por las pendientes abruptas y suaves del talud continental e insular, por llanuras inclinadas de los bordes de las depresiones, y por llanuras suaves y abisales del fondo de las mismas. Esta depresión periférica septentrional alcanza su mínima extensión al N de Cuba central, donde se desarrollan llanuras onduladas submarinas. Una característica del fondo de esta depresión es la presencia de cadenas montañosas y de alturas en su región occidental, y de mesetas montañosas hacia el E; estas últimas con una dirección nordeste fundamentalmente.

La zona de transición está ocupada por la Microplaca Cubana (Ushakov et al., 1979), formada por tres grandes unidades regionales: el Megabloque del Archipiélago Cubano, con corteza subcontinental; la depresión profunda de Yucatán, con corteza suboceánica; y el bloque insular submarino Caimán, con corteza de tipo continental o intermedia (Bowin, 1976).

En algunas sectores abruptos y suaves del talud insular están desarrolladas llanuras débilmente inclinadas, macizos montañosos, cadenas de alturas y mesetas montañosas. Estos elementos del relieve submarino se corresponden con estructuras regionales y transregionales, como ocurre con la meseta submarina de Siboney al SE de la depresión graben de Santiago de Cuba, ajustada a la zona de sutura de transformación de la Fosa de Bartlett y al sistema

de morfoalineamientos de dirección NE, que desde la Placa Caribe corta Cuba oriental y se manifiesta en la zona de la Plataforma de Bahamas.

La depresión profunda de Yucatán, con dirección sublatitudinal, presenta llanuras inclinadas y colinosas en sus bordes. En sus partes noroccidental y centromeridional se desarrollan sistemas de mesetas inclinadas y escalonadas, respectivamente. En este último sector es característica la presencia de cadenas montañosas y de alturas que reflejan la actividad geodinámica del fondo de la depresión. En la etapa reciente, los límites de la Placa Caribe están claramente expresados en el relieve de la tierra firme y del fondo marino, lo cual también se confirma con los datos geólogo-geofísicos y por la frecuente actividad sísmica (Hernández, 1987; Hernández et al., 1991).

### **FOSA PROFUNDA DE BARTLETT: EJE DE LA ENDOGENESIS Y LA DIFERENCIACIÓN MORFOESTRUCTURAL DE LA CORTEZA TERRESTRE DEL CARIBE SEPTENTRIONAL**

La zona de sutura de interacción de la Microplaca Cubana (borde continental transicional, acrecionado a la Placa continental Norteamericana) y la Placa Caribe, de carácter oceánico, representada por la fosa profunda de Bartlett, constituye el eje geodinámico principal de la endogénesis y de la diferenciación morfoestructural de la corteza terrestre de Cuba oriental. Esta región sublatitudinal de carácter lineal se destaca por grandes contrastes de los movimientos verticales recientes, y por una densidad máxima de epicentros de terremotos, concentrada fundamentalmente en las zonas de su intersección con las zonas de suturas morfoestructurales transverso-diagonales, originadas por los paleomecanismos de compresión-expansión, y por los actuales campos de esfuerzos tectónicos tangenciales con elementos de subcorrimiento. El análisis realizado por L. Alvarez Gómez (1985) revela la presencia de deformaciones tectónicas de desplazamiento horizontal de izquierda con componentes de rotación de varios bloques morfoestructurales (Hernández; 1987; Lillienberg et al; 1993).

Por otra parte, el estudio de las sismodislocaciones producidas por varios terremotos - entre los que se destaca el ocurrido el 4 de febrero de 1976 en Guatemala con  $M=7,5$  - demostró su carácter de desplazamiento de izquierda con valores de hasta 349 cm (Plafker, 1976). A su vez los datos paleomagnéticos obtenidos por M.R.Perfit et al. (1978) reflejaron desplazamientos horizontales entre 0,5-2,0 cm/año. Otros especialistas, basándose también en métodos paleomagnéticos, destacan desplazamientos de izquierda de la Placa Caribe hacia el E con una velocidad de 1,4-2,1 cm/año con relación a la Placa Norteamericana (Molnar et al., 1969; Jordan, 1975) y de 2 cm/año (Drummond et al., 1981).

Desde el punto de vista estructuro-tectónico y basado en la teoría de la tectónica de placas, J.Cobiella et al. (1986) destacaron diversas correlaciones estratigráficas y estructurales del sistema montañoso de la Sierra Maestra con el extremo noroccidental de la Isla de La Española. En la etapa reciente ambas acrounidades de la corteza terrestre están desplazadas, precisamente siguiendo la dirección lateral de izquierda y sus estructuras orogénicas cortadas como resultado de este mecanismo geotectónico de interacción interplacas. El empleo de perfiles sísmicos realizado por E.Uchupi (1972) y D.H.Egler (1973) mostró la existencia de un sistema escalonado de depresiones y elevaciones alargadas en la fosa de Bartlett.

su vez, T.Holcombe et al., (1973) mediante la utilización del método de las ondas de reflexión corroboró dicha diferenciación estructuro-tectónica. Posteriormente, la comparación de los resultados geólogogeofísicos con la interpretación batimétrica del relieve submarino de la fosa de Bartlett, realizado por J.R.Hernández et al. (1989) permitió establecer la compleja situación morfoestructural del sistema disyuntivo transregional de dirección NE derivado del desplazamiento lateral siniestro y formador de los referidos ejes orográficos submarinos en el borde meridional jamaicano de la fosa. En los estudios geodinámicos de cuencas marinas y oceánicas, con un enfoque geomorfológico, una de las primeras tareas es el análisis morfológico de los elementos del relieve submarino. La configuración y el diseño del fondo de las depresiones y fosas profundas, correlacionado con los datos geólogo-geofísicos, en la mayoría de los casos, permiten establecer hipótesis sobre la evolución y las distintas etapas de desarrollo de las mismas. En este sentido se confeccionaron 21 perfiles transversales a la fosa de Bartlett, desde el Golfo de Honduras, al W, hasta el Paso de los Vientos, al E. El sistema de perfilación fue concebido bajo el criterio de atravesar tanto las estructuras submarinas, como las emergidas. Por otra parte, con el objetivo de establecer comparaciones con los resultados obtenidos por esta vía, se trazaron tres perfiles longitudinales, a lo largo de los ejes de los tres megabloques principales, de N a S: Dorsal Caimán-Sierra Maestra; fosa profunda de Bartlett; y Dorsal de Nicaragua-Jamaica-La Española. (fig.3).

Los rasgos morfológicos transversales nos permitieron dividir la fosa en cinco grandes macrobloques (fig.4): occidental, comprendido entre el Golfo de Honduras, al W y el Banco Rosario y las Islas Swan, al E (perfiles 1 al 8); macrobloque centro-occidental, limitado al E por la prolongación submarina occidental de la Isla Caimán Grande y el Banco Rosalinda, en la dorsal de Nicaragua (perfiles 9 y 10); macrobloque central, ocupado por la fosa profunda de Caimán, correspondiéndose con el macrobloque elevado de las islas de Caimán Grande, Caimán Chico y Caimán Brac (perfiles 11 al 14); macrobloque centrooriental, zona de transición entre las fosas de Caimán y Oriente (perfiles 15 al 17); y macrobloque oriental, ocupado por la fosa de Oriente y el extremo oriental de la zona de sutura entre la Placa Caribe y la Microplaca cubana (perfiles 18 al 20). La diferenciación morfoestructural de estos macrobloques está reforzada en la existencia de sistemas disyuntivos diferentes; de disímiles valores y configuraciones del campo gravimétrico; de cambios morfológicos del fondo, desde morfología de U hasta V, transitando por el diseño típico de zonas expansivas del lecho oceánico; así como diferencias de espesores en sus depocentros. El relieve del fondo marino del macrobloque occidental está caracterizado por llanuras acumulativas abisales, en su parte central, representado por una diferenciación en tres sectores de los taludes septentrional y meridional, en estrecha correspondencia entre ellos: abrupto y diseccionado (al N de las Islas de la Bahía y al S de las cadenas terminales de la Dorsal de Caimán), suave y escalonado (al E de las anteriores) y nuevamente abrupto diseccionado (al N de las Islas Swan y al S del Banco Rosario). Estos rasgos se aprecian en los perfiles longitudinales (fig.3), en que resulta clara la subdivisión de los macrobloques de las Dorsales de Nicaragua y de Caimán en unidades de rango inferior.

En el macrobloque centro-occidental, su región central refleja la típica diferenciación de las zonas de expansión con un sistema de cadenas paralelas y transversales al eje de la fosa y a ambos lados de la sutura de expansión. Es extraordinariamente notable la configuración del valle de rift central, que de acuerdo con los datos batimétricos presenta una asimetría, tanto longitudinal como transversalmente, lo cual puede estar asociado con la rotación antihoraria hipotética de su eje, debido a las diferentes velocidades de desplazamiento a lo largo de las zonas de transformación. La influencia del mecanismo de expansión joven se manifiesta en la morfología de los taludes, los cuales presentan una diferenciación transversal con cadenas montañosas de dirección submeridional. Incluso en la región suroriental del macrobloque se aprecia una paleodepresión profunda, originada por el avance de la sutura riftogenética. En este macrobloque existen llanuras abisales posiblemente colinosas, elaboradas sobre un fundamento de rocas básicas y ultrabásicas. En la región nororiental, de contacto con la Dorsal de Caimán Grande, se aprecia al N de la misma una depresión de reajuste isostático con la fosa profunda de Caimán, en la cual se desarrollan llanuras abisales acumulativas.

Las características estructuro-geomorfológicas varían con gran contraste en el macrobloque central, a lo largo del cual se manifiesta la estructura en V de la fosa profunda de Caimán, con una estrecha llanura abisal, de carácter acumulativo, bordeada por un talud abrupto escalonado al N, y un talud suave, al S, con una compleja estructura de cadenas montañosas orientadas paralelamente al eje de la fosa y transversales a ella. Una de estas estructuras, situada al S de la Isla Caimán Grande, refleja morfológicamente desplazamientos horizontales, tanto en el talud, como en el eje de la fosa. Idéntica situación encontramos en el límite oriental de este macrobloque, al NW de Jamaica. El macrobloque centro-oriental se caracteriza por una diferenciación de cadenas montañosas y valles tectónicos en el sector septentrional de la fosa, con una porción central de llanuras abisales, débilmente inclinadas en el borde jamaicano, con un talud meridional abrupto y diseccionado, que limita por el S la zona de cadenas montañosas escalonadas, reflejando el carácter pulsátil de los desplazamientos horizontales interplacas.

Finalmente, el macrobloque oriental presenta en su borde septentrional un talud abrupto al W, con bloques escalonados hacia su interior. Hacia el E de la zona de morfoalineamientos, que atraviesa a Cuba por la bahía de Santiago de Cuba, el talud se fractura en bloques de rango superior sobre los cuales se han desarrollado mesetas submarinas y sistemas montañosos. Esta zona es precisamente la más móvil y sismoactiva en la actualidad. La disección del talud está expresada a través de cañones submarinos, muchos de ellos asociados con las suturas transverso-diagonales que dividen a Cuba suroriental en mesobloques morfoestructurales. El borde jamaicano presenta un escalonamiento de cadenas montañosas diagonales al eje de la fosa. En general, las características morfométricas de las depresiones y fosas de este segmento de la zona de sutura interplacas se aprecian en la fig.5.

En las últimas décadas, los estudios físico-experimentales, mediante modelación de ruptura de cuerpos sólidos, han permitido esclarecer, en cierta medida, las leyes generales de su acción mecánica y las regularidades de sus deformaciones, para su aplicación a las distintas variantes de las teorías fijistas y movelistas del

desarrollo de la corteza terrestre y de su evolución geotectónica. A la luz de las ideas teóricas de la tectónica global de placas, la región caribeña constituye una geotectura de sutura de carácter continental-oceánico e intercontinental (Guerasimov, 1986), la cual estuvo sometida a la acción de mecanismos de compresión y tensión durante las etapas mesozoica tardía y cenozoica temprana de su evolución. A partir del Oligoceno su desarrollo transcurre bajo esfuerzos tectónicos de desplazamiento horizontal a lo largo de sus zonas de interacción septentrional con la placa norteamericana y meridional con la placa suramericana. Según V. V. Belousov (1971), las dislocaciones tectónicas son el resultado de la ruptura de los cuerpos sólidos bajo la acción mecánica de fuerzas aplicadas externamente. Los principales mecanismos geotectónicos que deforman la estructura de la corteza terrestre son la compresión, la tensión y el cizallamiento. En la zona de sutura de interacción de la Placa Caribe con la Microplaca Cubana se desarrolla desde el Oligoceno, como mencionamos anteriormente, un desplazamiento horizontal de izquierda, provocado por el movimiento hacia el E de la Placa Caribe y hacia el W de la Microplaca Cubana, por lo que el diseño geométrico del fallamiento producido por ambos campos tangenciales, así como las deformaciones corticales y elementos estructuro-geomorfológicos deben responder al proceso mecánico del cizallamiento. Tales manifestaciones geotectónicas y geomorfológicas quedan claramente expresadas cuando comparamos la interpretación batimétrica del relieve del fondo marino con los modelos de fracturamiento de la corteza terrestre por esfuerzos tectónicos tangenciales (Hernández, 1987; Hernández et al., 1991) (figs.6 y 7).

Estas evidencias constituyen nuevos aportes morfoestructuro-geodinámicos del relieve submarino, e incluso el emergido, que revelan el papel del mecanismo geotectónico de transformación en la formación del relieve del territorio interplacas durante la etapa neotectónica de su desarrollo. El macrobloque oriental, descrito en párrafos anteriores, se corresponde con el segmento de la fosa, localizado al S de Cuba Oriental, caracterizándose por su gran complejidad y por la existencia de un sistema regional de fallas transversodiagonales de dirección NE, que atraviesa la meseta submarina de Colón (borde meridional jamaicano de la fosa) y a Cuba oriental. Precisamente, este sistema disyuntivo con 45° aproximadamente (NE-SW a ENE-WSW) respecto al eje geodinámico principal determina algunos rasgos geomorfológicos y dinámicos de este territorio septentrional caribeño. A lo largo de la meseta submarina de Colón (al S del eje de la fosa de Bartlett) se dispone un sistema escalonado de cadenas montañosas, separadas por depresiones tectónicas con dirección NE. A su vez, este sistema presenta una diferenciación escalonada de W a E, desde 5 000 m hasta aproximadamente 200 m, de profundidad, en el Banco de Formigas, al NE de Jamaica, lo cual refleja el carácter de pulsaciones de los desplazamientos horizontales de la Placa Caribe hacia el E, con su correspondiente componente tectónica vertical.

Los elementos tectónicos y morfoestructurales de esta meseta ubicada en el borde septentrional de la Placa Caribe encuentran continuidad en el talud y plataforma insulares, y en la configuración de la costa meridional de Cuba oriental (fig.7). Como resultado del mecanismo geotectónico de desplazamiento lateral izquierdo interplacas, se desarrolló un sistema de fracturamiento conjugado de dirección NE durante la etapa neotectónica temprana, el cual jugó un papel determinante en la



consolidación morfoestructural y en la elaboración morfoescultural del relieve submarino y emergido, como puede apreciarse en el mapa geomorfológico de esta singular región de interacción litosférica (fig.8). La expresión cartográfica de la clasificación tipológica del relieve submarino, en un contexto regional, refleja la referida diferenciación espacial de la corteza terrestre en las 5 macrounidades mencionadas anteriormente (fig.9).

### **RELIEVE SUBMARINO DE PUERTO RICO**

Las raíces estructurales tanto de la Isla de Puerto Rico como de la extensa plataforma oriental de las Islas Vírgenes descansan en su posición geotectónica transicional entre las placas continental Norteamericana y oceánica Caribe. Como resultado de las colisiones mesozoicas entre las grandes placas continentales Norteamericana y Suramericana, grandes y heterogéneos elementos morfotectónicos de la corteza terrestre, continentales y oceánicos, fueron desplazados horizontalmente, sobrecorridos e imbricados y finalmente acrecionados, determinando el cinturón orogénico de las Grandes Antillas (Seguinot, 1997).

A partir del Oligoceno, los cambios geodinámicos ocurridos en el complejo nudo interplacas del Caribe septentrional, establecieron un régimen de desplazamientos horizontales con componente de izquierda, que como explicamos anteriormente deformaron y dislocaron ambos márgenes corticales bajo la influencia de sistemas de cizalla derivados de los movimientos regionales tangenciales. Estos sistemas disyuntivos, de dirección predominante del NW y NNW, así como del NE en la región meridional de la Isla conforman el diseño geomorfológico general de la Cordillera Central, la dirección de las principales cuencas y ríos, la configuración y morfología de las costas, el rumbo de pequeños grupos insulares, así como algunos elementos morfoestructurales de su relieve submarino. La evolución y consolidación de la gran macrounidad morfoestructural de la dorsal insular de la Isla de Puerto Rico y la plataforma de las Islas Vírgenes, así como el trazado de los rasgos fundamentales de su relieve submarino también descansan en la historia del desarrollo de las fosas Los Muertos; al S, y de Puerto Rico, al N. Algunos autores (Mc Cann et al., 1984 a) consideran el predominio de un mecanismo subductivo en la Fosa Los Muertos, a través del cual el lecho oceánico de la Cuenca de Venezuela se desplaza por debajo de la pequeña placa o bloque de Puerto Rico (Mc. Cann, 1984 b).

El reconocimiento y análisis batimétrico del talud insular en dicha región nos presenta, desde el S de la Isla Mona hasta el extremo suroriental de la Isla, un sistema escalonado de mesetas planas y onduladas, y de cadenas montañosas, separadas por sectores de fuerte y moderada inclinación del talud, lo cual puede aseverar el carácter pulsátil del mecanismo subductivo propuesto. Gran parte de estas morfoestructuras están controladas por un sistema disyuntivo sublatitudinal, paralelo a la Fosa Los Muertos (fig.10). Este flanco sureño se caracteriza por la presencia de largos y profundos cañones transversales submarinos, entre los que sobresalen, de W a E, los cañones ramificados meridionales de Isla Mona, Guanica, Aguayanilla, Cuchara, Muertos y los anónimos del extremo sureste de la Isla. Hacia el E, la complejidad geotectónica del talud aumenta con la presencia de un sistema alterno de depresiones profundas con cadenas montañosas y mesetas

planas y onduladas de gran extensión, controladas por el conjunto de fallas de dirección NE, con 45° aproximadamente con respecto al eje de máximos esfuerzos tangenciales interplacas Norteamericana y Caribe, y que constituye el eje estructural principal que separa las megamorfoestructuras de las Antillas Mayores y Menores. A partir de esta zona de sutura, y hacia el S, la endogénesis adopta mecanismos geotectónicos diferentes con la consiguiente expresión geomorfológica del patrón insular volcánico de la zona subductiva del Atlántico. Los elementos morfoestructurales más contrastantes son las depresiones profundas y alargadas del Paso Anegada, la cadena montañosa de Barracuda y la depresión profunda de Santa Cruz (St. Croix), esta última articulando con el extremo septentrional del arco insular de Aves, de configuración meridional. Hacia el W, la fosa de las Islas Vírgenes contrasta con la plataforma homónima, al N, y con la Isla Santa Cruz y las mesetas montañosas de igual nombre. Esta última zona estructural presenta la mayor actividad sísmica suroriental. Desde el arco volcánico de Aves hacia el W, se extiende un sistema escalonado de llanuras submarinas, transitando de colinosas y onduladas a planas en el sector abisal de la Fosa Los Muertos.

Al N de la Isla de Puerto Rico se produce una alternancia de pendientes fuertes y suaves en el talud. El sector más meridional, cercano a la plataforma insular, sobresale por el amplio desarrollo de cañones submarinos, tales como Icacos, Sabana, Mameyes, Loiza, Río de La Plata, Cibuco, Tortuguero, Arecibo y Guajataca. Al E, a lo largo de la porción norte de la plataforma de Islas Vírgenes este elemento estructural está prácticamente ausente, lo cual puede atestiguar una moderada a débil intensidad de la dinámica neotectónica con su correspondiente inapreciable diferenciación morfoestructural. Hacia el extremo noroccidental se localiza el relieve submarino más complejo y dinámico, compuesto por el cañón Mona, el sistema escalonado de mesetas planas, ubicado al N de la Isla Monito y la prolongación montañosa La Cadena. Estos últimos como límites estructurales del cañón Mona. Realmente este singular cañón se abre al NW y luego al N, como continuación del graben de la cuenca del Río Culebrinas, que desemboca en la Ensenada de Aguadilla. En esta región noroccidental el diseño tectónico posee rumbo NW y controla todos los rasgos morfoestructurales de la dorsal insular (plataforma y talud insulares, sistemas montañosos y de mesetas escalonadas y tercio superior del cañón Mona), atendiendo a los patrones de cizallas derivados del desplazamiento tangencial máximo de la zona de sutura interplacas.

## **CONCLUSIONES**

- El desarrollo endogenético (tectogenético) en el Caribe septentrional determinó, paralelamente a la formación del relieve emergido, una contrastante diferenciación de los rasgos morfoestructurales del relieve submarino, durante dos etapas fundamentales: colisión convergente interplacas Norteamericana-Suramericana (Mesozoico) y colisión tangencial interplacas (Neógeno-Cuaternario).
- La influencia del mecanismo transformante de izquierda, así como la superposición de la expansión oceánica, al SW de las Islas Caimán, provocó la formación de 5 macrobloques en la Fosa de Bartlett-Caimán, reflejados en los datos geólogo-geofísicos y la expresión morfológica del relieve.

- La estructura y orientación del relieve del sistema de la cadena submarina Caimán-montañas de la Sierra Maestra (al N de la Fosa de Bartlett) y de la meseta submarina de Colón (al S de la fosa), no poseen particularidades comunes entre sí, y constituyen elementos heterogéneos genética, cronológica y territorialmente, desplazados horizontalmente a lo largo de la zona de sutura entre la Placa Caribe y la Microplaca Cubana.
- Como resultado del mecanismo de desplazamiento lateral de izquierda se desarrolló un sistema de fracturamiento de dirección NE y NW, durante la etapa neotectónica temprana, el cual jugó un papel determinante en la consolidación morfoestructural de Cuba oriental y de Puerto Rico, tanto del territorio emergido como del submarino.
- El proceso de subcorrimento de la Fosa Los Muertos por debajo de la microplaca o bloque de Puerto Rico, que proponen algunos autores, se refleja en el carácter escalonado de su relieve, paralelo al eje de la fosa.
- El diseño de los tipos y formas del relieve del extremo noroccidental de Puerto Rico están controlados por las cizallas transverso-diagonales originadas por los esfuerzos tangenciales regionales de la zona de interacción interplacas.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean plasmar su más sincero agradecimiento a las autoridades de la Universidad de Puerto Rico, y en especial a la Dirección del Programa ATLANTEA, así como al Instituto de Geografía Tropical de Cuba, por su apoyo financiero al proyecto: "Morfoestructuras insulares antillanas de transición marginal interplacas del Caribe Septentrional: Contribución geomorfológica al neomovilismo y a la reducción de desastres litosféricos", desarrollado conjuntamente durante los años 1997 y 1998.

### **BIBLIOGRAFIA**

- ALVAREZ GOMEZ, L. (1985): Sismicidad de Cuba Oriental. Tesis de Doctorado (en ruso). Instituto de Física de La Tierra, Moscú, 152 pp.
- BELOUSOV, V. V. (1971): Problemas básicos de geotectónica. Ed. Omega, Barcelona, 854 pp.
- BOWIN, C. (1976): Caribbean gravity field and plate tectonics. Geol. Soc. Amer., Spec. Publ., 169:1-79.
- CASE, J., T. HOLCOMBE (1980): Geologic-tectonic maps of the Caribbean region. U.S. Geol. Surv. Miscel. Inv. Ser., map 1-1100.
- COBIELLA, J., J., RODRIGUEZ (1986): Sobre la edad de la fosa de Bartlett y la magnitud de los desplazamientos horizontales de la placa del Caribe, de acuerdo con los datos geológicos del norte de Centroamérica y Cuba Oriental. Minería Geol. 1:15-30.
- DRUMMOND, J. (1981): Mapa de la tectónica de placas de la región del Caribe (según los datos del mapa de la tectónica de placas de la región circumpacífica, cuadrante NW). Cons. Circumpac. Energ. Yacim. Min., U.S.A., Escala 1:10 000 000.
- EGGLER, D. H. (1973): Ultrabasic rocks from Cayman Trough, Caribbean Sea. Bull. Amer. Geol. Soc., 84:2133-2138.

- GUERASIMOV, I. P. (1986): Problemas de geomorfología global (geomorfología contemporánea y la teoría del moviismo en la historia geológica de la Tierra) (en ruso). Ed. Nauka, Moscú, 207 pp.
- HERNANDEZ SANTANA, J. R., A., VENEREO MORALES, D. A., LILIENBERG, M. E., MARQUEZ TABLON, J., RUEDA PEREZ (1984): Las correlaciones de los movimientos tectónicos recientes y la sismicidad con la diferenciación morfoestructural y la estructura profunda de Cuba suroriental en la zona de articulación con la fosa profunda de Bartlett (en ruso). En: Memorias 27 Cong. Internac. Geología, Moscú, 4:97-99.
- HERNANDEZ SANTANA, J.R. (1987): Geomorfología estructural y geodinámica reciente del relieve de Cuba suroriental en la zona de interacción de la microplaca cubana con la fosa profunda de Bartlett. Tesis de Doctorado (en ruso). Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 264 pp.,95 ilustr.
- HERNANDEZ SANTANA, J. R., P., BLANCO SEGUNDO, J. L., DIAZ DIAZ (1988): Rasgos estructuros-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. Ed. Academia, La Habana, 14 pp.
- HERNANDEZ SANTANA, J. R., R., GONZALEZ ORTIZ, F., ARTEAGA BARRIOS (1989): Diferenciación estructuro-geomorfológica de la zona de sutura de la microplaca cubana con la placa Caribe. Ed. Academia, La Habana,48 pp.
- HERNANDEZ SANTANA, J.R., J. L., DIAZ DIAZ, D. A., LILIENBERG, A. MAGAZ GARCIA (1991): Evidencias morfoestructuro-geodinámicas del desplazamiento lateral siniestro de la zona de sutura interplacas de Bartlett. En: Morfotectónica de Cuba oriental. Ed. Academia, La Habana, p.5-9.
- HERNANDEZ SANTANA, J.R., P., BLANCO SEGUNDO, J. L., DIAZ DIAZ (1995): Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. Ed. MAPPING, Madrid, 24:34-42.
- HOLCOMBE, T.L., P.R., VOGT, J.E., MATTHEWS (1973): Evidence for seafloor spreading in the Cayman Trough. Earth Planet, Sci. Lett, 20 (3): 357-371.
- INSTITUTO CUBANO DE HIDROGRAFIA (1982): Mapa batimétrico de Cuba a escala 1: 1 000 000. Ed. ICH, La Habana, hoja 1001.
- INSTITUTO CUBANO DE HIDROGRAFIA (1983): Mapa batimétrico del Caribe Occidental. Ed. ICH, La Habana, hoja 3001.
- INSTITUTO DE GEOGRAFIA, ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA (1989): Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Ed. Inst. Geogr. Nac. España, Madrid, hoja IV.1.2-
- JORDAN, T. H. (1975): The present day motion of the Caribbean Plate. J. Geophys. Res., 80 (32):4433-4439.
- LILIENBERG, D. A. (1983): Morphotectonics and recent geodynamics of the interaction region between Cuban Microplate and Bartlett deepwater trench. In: Problems of morphotectonics. Symp. Morphotect. Work. Group, Internat. Geograph. Union, Bulgaria, p. 204-232.
- LILIENBERG, D. A., J. R., HERNANDEZ SANTANA, M.E., MARQUES TABLON, L., ALVAREZ GOMEZ (1993): Movimientos tectónicos recientes en 19 Cuba. Nº 1. El polígono geodinámico complejo de Santiago de Cuba. Ed. Academia, La Habana, 2 tom. 578 pp.
- Mc CANN, W. (1984 a): Subduction of aseismic ridges beneath the Caribbean plate: Implications for the tectonics and seismic potential of the northeastern caribbean. Journal of Geophysical Research, N. York.

- Mc CANN, W., L., SYKES (1984 b): On the Earthquakes Hazard of Puerto Rico and the Virgin Islands. Proceedings, Workshop on Geologic Hazards in Puerto Rico. San Juan, p.41-59.
- MOLNAR, P., L.R., SYKES (1969): Tectonics of the Caribbean plate and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. Bull. Amer. Geol. Soc., 80:1639-1689.
- PLAFKER, G. (1976): Tectonics aspects of the Guatemala earthquake of Feb.4.1976. Sci., 193 (4259):1201-1208.
- PERFIT, M. R., HEEZEN, B.C. (1978): The geology evolution of the Cayman Trench. Bull. Amer. Geol. Soc., 89 (8):1155-1174.
- SEGUINOT BARBOSA, J. (1997): San Juan, Puerto Rico: la ciudad al margen de la bahía. Ed. GEO, San Juan, 143 pp.
- UCHUPI, E. (1972): Eastern Yucatan margin and western Caribbean Tectonics. Bull. Amer. Geol. Soc., 45:516-619.
- USHAKOV, S. A., A. I., AVDEEV, Yu. I., GALUCHKIN, E.P., DUBIKIN (1979): Ruptura de la isostasia de la litosfera de la región del Caribe y análisis de su naturaleza. En. Tectónica y geodinámica de la región del Caribe (en ruso). Ed. Nauka, Moscú, p. 63-77.
- WILDE, P., T. E., CHASE, W. R., NORMARK, C. P., MILLER et al. (1981): Oceanographic map of Puerto Rico to scale 1:781, 786. Ed. U.S. Geological Survey, LBL Pub.360.

## **RELACIÓN DE FIGURAS**

Fig. 1 Localización geográfica de los territorios estudiados.

Fig. 2 Mapa estructuro-geomorfológico del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba (Hernández et al., 1988, 1995).

Fig. 3 Ubicación geográfica del trazado de los perfiles longitudinales y transversales a la Fosa de Bartlett.

Fig. 4 Perfilación transversal de la Fosa de Bartlett y grandes unidades estructurogeomorfológicas o macrobloques (según Hernández et al., 1989).

Fig. 5 Caracterización morfométrica de las depresiones y fosas profundas de la zona de sutura interplacas (según Hernández et al., 1989).

Fig. 6 Modelos de fracturamiento de la corteza terrestre por esfuerzos tectónicos tangenciales. A. Utilización de las diaclasas para la reconstrucción de los esfuerzos tectónicos: deformaciones de cizalla producida por un par con la formación de un sistema de diaclasas en escalón (arriba); lo mismo, con la formación de un sistema de fracturas de cizalla en escalón (debajo). Las líneas gruesas son diaclasas de tensión; las líneas finas fracturas de cizalla; las flechas indican la dirección del desplazamiento (Belousov 1971). B. Deformación de cizalla (1) acompañada por la formación de fracturas en escalón; (2) las anteriores adquieren forma de S; y (3) como la deformación continúa, se unen (4,5) (Belousov, 1971).

Fig. 7 Rasgos estructuro-geomorfológicos de fallamiento de cizalla escalonado de la línea costera, la plataforma y el talud insulares de Cuba suroriental y de la meseta submarina de Colón (Hernández, 1987). (1) isobatas (en metros); (2) borde de la plataforma insular cubana; (3) eje de la fosa profunda de Bartlett; (4)

sistema de fallas de desplazamiento horizontal interplacas Caribe y Cubana; (5) morfoalineamientos.

Fig. 8 Mapa geomorfológico de la zona de sutura interplacas (Hernández, 1987) y su leyenda tipológica.

Fig. 9 Esquema estructuro-geomorfológico de la fosa profunda de Bartlett (Hernández et al., 1989).

Fig.10 Mapa estructuro-geomorfológico del fondo de los mares y océanos circundantes a Puerto Rico (elaboración de los autores).

#### **LEYENDA FIG.10:**

#### **TIPOS ESTRUCTURO - GEOMORFOLOGICOS DEL RELIEVE SUBMARINO DORSAL INSULAR SUBMARINA:**

**Plataforma insular:** 1. Llanuras abrasivo - acumulativas; 2. Mesetas escalonadas, pseudopericlinales, prolongaciones axiales insulares; **Talud insular:** 3. Pendientes abruptas, fuertemente diseccionadas; 4. Pendientes escalonadas; 5. Pendientes suaves, debilmente diseccionadas; 6. Llanuras inclinadas, colinosas, diseccionadas; 7. Mesetas onduladas; 8. Mesetas planas; 9 Macizos y cadenas montañosas; 10. Depresiones estructurales locales; **DEPRESIONES PROFUNDAS:** 11. Llanuras inclinadas del fondo, periféricas; 12. Llanuras abisales del fondo, planas; **FOSAS PROFUNDAS:** 13. Llanuras muy inclinadas, colinosas, de los bordes de las fosas; 14. Llanuras inclinadas, onduladas, del fondo; 15. Llanuras abisales del fondo, planas; **COMPLEJO DE FORMAS:** 16. Borde del escalón de la plataforma insular; 17. Borde de escalones en el talud insular; 18. Pie del escalón del talud insular; 19. Pie de las pendientes de las depresiones profundas; 20. Pie de sistemas montañosos y alturas; 21. Fallas expresadas en el relieve, según datos geólogo-geofísicos; 22. Fallas, según evidencias geomorfológicas; 23. Ejes de cadenas montañosas y alturas; 24. Cañones submarinos; 25. Cañones submarinos de segundo orden, intracañones; 26. Escalones intracañones; 27. Valles submarinos.