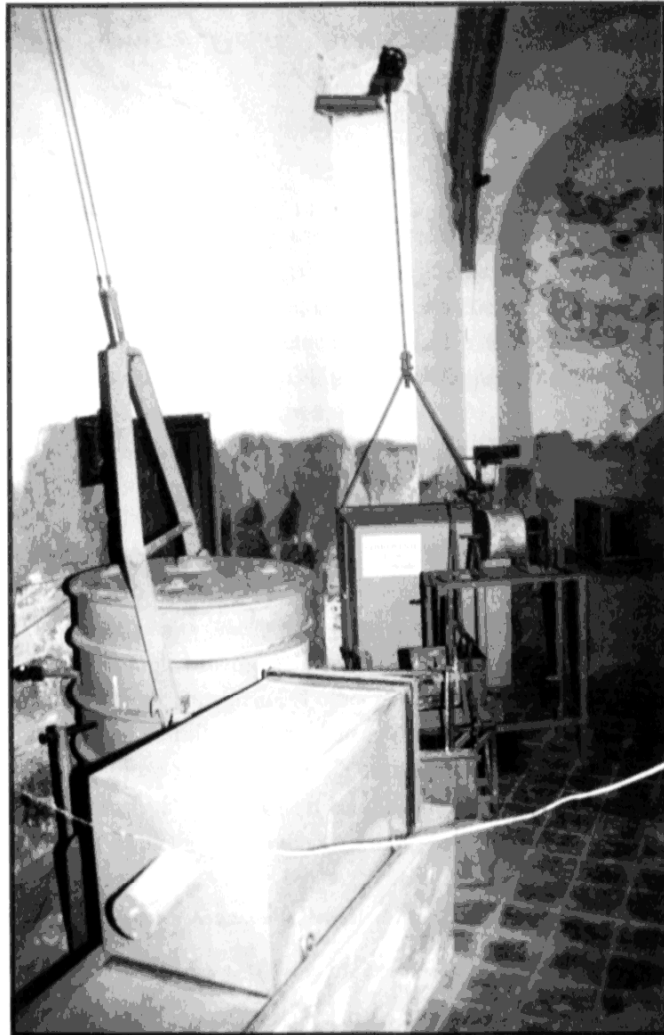




GEOFISICA



Una Valoración Sismotectónica de Cuba

Mario Octavio Cotilla Rodríguez *

Peter Bankwitz **

Hans Joachim Franzke **

José Leonardo Álvarez Gómez ***

Enio César González Clemente ****

Joachim Pilarski **

Jorge Luis Díaz Comesañas ****

Francisco Arteaga Barrios *****

Abstract

When making up a seismotectonic map, a previous study of a great deal of neotectonic geological-geophysical research material, satellite images and seismologic data is required. Up to the present, neotectonic studies in the country are insufficient for such purposes. We then decided to produce, first of all, a neotectonic map of Cuba, at 1:1,000,000; from available geological, geomorphological and geophysical data in order to pursue seismotectonic research.

This map, in agreement with other authors, shows the Cuban insular territory as an emerging megablock integrating the North American Plate subduction to intense dynamical interactions with the Caribbean plate. However, a subdivision for this megablock into two neotectonic units: Western and Eastern, is indicated, their margins being the active fault Cauto-Nipe.

Composition of such units macroblocks, mesoblocks, blocks and microblocks were determined by complex methods. Their margins are not always tectonic and precise, which differs from statements of other researchers.

When comparing such units, the higher activity of the eastern blocks, may be explained by the close proximity to the active regional disjunction element Bartlett-Cayman (transform fault), a later neotectonic evolution, the occurrence of an important number of historic and recent earthquakes, and so on.

* Instituto de Geofísica y Astronomía. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

** Instituto Central para Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la República Federal Alemana.

*** Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

**** Instituto de Geología y Paleontología. Ministerio de Industria Básica, Cuba.

***** Instituto de Oceanología. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

Reference information was required: a morphostructural map of Cuba, scale 1:250,000; a morphoisohypse map of Cuba, scale 1:250,000; a river, basin and watershed map of Cuba, scale 1:25,000; a neotectonic outline of Cuba, scale 1:250,000; main lineaments and tectonic knots of Cuba, scale 1:1,000,000; outlines of vertical movements from the Neogeno-Quaternary, Pleistocene and Holocene in Cuba, scale 1:1,000,000.

Our innovative proposal about the existence of an expansion pull-apart basin in the Cauto-Nipe macroblock environment was mainly based on the arc shaped zone; the presence of a sedimentary filled basin; the proximity of the transform fault Bartlett-Cayman; several epicenters related to the neighborhood; an evident lack of relationship between the Cauto-Nipe sedimentary prism and the supposedly Paleogenic aggregated material from Sierra Maestra; the agreement of sides and widths with a geometric ratio of 1:1.6.

The term "neotectonic gradient" was defined as the activity characterization of different units and sectors, taking into account elements such as unit range, movement course, relief gradient, and neotectonic span values.

A lack of coincidence among fault designs by different authors points to the need for unifying criteria for decoding satellite imagery. For Cuba, the difficulty was that much of the information used was macroseismic, noted for its high uncertainty in determining coordinates and magnitudes.

Finally, a seismotectonic map of Cuba, scale 1:1,000,000, was produced showing seismic activity through the five level seismogenerating zones, together with the isoseismal curves of the most important earthquakes, as well as the upwarping and downwarping zones.

We agree with other authors in considering Cuba as a Seismotectonic Province. But we specify three Seismotectonic Units: (1) Western, (2) Eastern, (3) a portion of the Bartlett -Cayman (deep trench).

We advocate for inclusion of the territory delimited by the Eastern Neotectonic Unit of Cuba into the Plate Boundary Zone based on the characteristics of diffuse seismicity and neotectonic contrasts, the former being of the interplate type while that of the Western Unit is of inner plate type.

For the first time in the country, seismogenerating zones are featured as non-homogeneous, that is, they may generate different magnitude earthquakes, according to the potentials, no matter which zone they belong to. Thus, possible Mmax are no more bounded by the maximum earthquakes reported.

Resumen

La preparación de un mapa sismotectónico (MS) implica necesariamente la utilización de un conjunto de materiales, producto de investigaciones de neotectónica, geólogo-geofísicas, descifrado e interpretación de fotos e imágenes de satélite, al igual que de tipo sismológico.

Debido a que los estudios de neotectónica realizados hasta la fecha no permitían pasar a la confección del MS, se procedió a realizar un mapa neotectónico (MN) de Cuba, escala 1:1,000,000 con el empleo de las informaciones geológicas, geomorfológicas y geofísicas existentes. La falta de coincidencia entre los trazados de fallas propuestas por diferentes autores, planteó la necesidad de buscar un criterio unificador, que correspondió al descifrado e interpretación de imágenes de satélite (Landsat, canales 5, 6 y 7), el cual constituye un diagnóstico de los lugares de ocurrencia más probables de terremotos fuertes. En este mapa, en coincidencia con otros autores, se considera al territorio insular de Cuba un megabloque en ascenso, perteneciente a la placa litosférica de América del Norte el cual se halla sujeto a una intensa interacción dinámica con la placa Caribe. No obstante, se plantea que este megabloque está subdividido en dos unidades neotectónicas (UN), la Occidental y la Oriental, siendo el límite entre ellas la falla activa Cauto-Nipe. Estas UN se componen de macrobloques, mesobloques, bloques y microbloques (con límites no siempre tectónicos y precisos). La UN Oriental es más activa que la Occidental, justificado por la inmediata cercanía al elemento disyuntivo regional activo Bartlett-Caimán (BC) (falla de transformación), una evolución neotectónica más tardía que la Occidental y considerable número de terremotos históricos y recientes. Aquí se define el término gradiente neotectónico para caracterizar la actividad de las diferentes unidades y sectores de ellas. Para ello se consideran una serie de elementos como rango de la unidad, sentido del movimiento, gradiente del relieve y valores de las amplitudes neotectónicas.

Como algo novedoso del trabajo consideramos la propuesta de la existencia de una cuenca de distensión del tipo *Pull-Apart Basin* en las inmediaciones del macrobloque Cauto-Nipe. Esta propuesta se sustenta en la forma arqueada de la zona, la presencia de una cuenca rellena de sedimentos, la cercanía a la falla BC, la asociación de epicentros a sus inmediaciones, la no relación del prisma sedimentario de Cauto-Nipe con el supuesto aporte rocoso de la Sierra Maestra a partir del Paleogeno, el cumplimiento de la relación geométrica de los lados y anchos de 1:1.6.

Como colofón de las investigaciones, se confeccionó el MS de Cuba, escala 1:1,000,000, el cual resume en cinco niveles de zonas sismogeneratoras (ZS) la actividad del país. En el mismo, se representaron los ejes principales de las ZS, las isosistas de los sismos más importantes y las zonas de ascenso y descenso desde el Plioceno.

Partiendo de la hipótesis de que Cuba es una Provincia Sismotectónica, se plantea la existencia en ella de tres Unidades Sismotectónicas, las cuales coinciden espacialmente con las UN Occidental, Oriental y Fosa de Bartlett-Caimán (porción oriental). Además, se considera que el territorio delimitado por la UN Oriental pertenece a la denominada Zona Límite de Placas Litosféricas (Plate Boundary Zone o PBZ).

Introducción

En Cuba se han realizado diversas investigaciones sismotectónicas, orientadas fundamentalmente a resolver problemas del emplazamiento de objetivos nucleares o hidrotécnicos. Estas han sido de carácter regional o local, sin abarcar nunca todo el territorio nacional ni pretender presentar un modelo evolutivo de la sismotectónica en Cuba. La adopción de técnicas de teledetección, unido al estudio de la neotectónica por métodos de gabinete (sobre la base de mapas topográficos actualizados) permiten enfrentar de manera uniforme el problema de la heterogénea composición del megabloque cubano. Por otra parte, se dispone de una base de datos sismológicos que posibilitan realizar estimaciones de la actividad reciente de diversas estructuras disyuntivas.

El presente trabajo tiene dos objetivos principales: 1) Exponer las experiencias de los autores en la confección de un mapa sismotectónico de Cuba; 2) Proponer una vía práctica para la solución técnico-metodológica de la evolución sismotectónica de territorios con condiciones geólogo-geofísicas similares a Cuba.

Una experiencia similar a la presente, pero con la tónica de constituir un ensayo para la delimitación de fuentes sísmicas (áreas asociadas a unas determinadas estructuras geológicas activas, donde se produce un tipo específico de terremotos) se recoge en Sanz C. y López C. [61]. Nuestro propósito es más amplio, ya que además de la delimitación de las zonas sismogeneradoras, se establecen unidades sismotectónicas y presenta un modelo que explica la actividad sismogeneradora de Cuba en el marco de la tectónica de placas regional del Caribe.

La estructura del artículo está dada en dos partes, las cuales se corresponden directamente con el procedimiento académico propuesto para la confección del mapa sismotectónico de Cuba.

En la primera parte, a partir de una amplia información de tipo geólogo-geomorfológica, gran parte de la cual corresponde a resultados de los propios autores, se realizó una interpretación que condujo a la delimitación de zonas de fallas o alineamientos, la clasificación de zonas en términos del gradiente neotectónico y la división en bloques con su clasificación jerárquica, elementos éstos que permitieron confeccionar un nuevo mapa neotectónico de Cuba a escala 1:1,000,000, y en la segunda parte se presentan los resultados del análisis conjunto de los datos sismológicos y los contenidos en el mapa neotectónico antes mencionado para el establecimiento de la clasificación jerárquica de estas zonas, presentándose como resultado final el mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000.

Posición tectónica de Cuba

La tectónica del Caribe ha sido tratada extensamente por numerosos autores, entre los que se destacan los trabajos de [49, 50, 52]. De éstas y otras investigaciones se

asegura que el Caribe es una placa litosférica con un tipo de corteza oceánica modificada, no muy antigua, que está derivando al este con respecto a las placas de Norteamérica y Suramérica. Las velocidades de desplazamiento en las márgenes norte y sur son diferentes, siendo al norte de 3-4 cm/año, correspondiendo 2 cm/año para Cuba y 1-2 cm/año para Jamaica [66]. El movimiento de la placa caribeña está dado por la interacción dinámica de las placas Litosféricas de América del Norte y del Sur, Cocos y Nazca.

En general, la placa Caribe contiene un conjunto de estructuras oceánicas y de arcos de islas interrelacionados. Entre esas estructuras hay varias fosas profundas como Bartlett-Caimán.

Las estructuras sismogeneradoras principales de esta parte norte del Caribe se localizan en las zonas de interacción de las placas, y más en detalle, en las intersecciones de las estructuras transversales a las mismas [49]. Cuba se ubica desde el punto de vista tectónico en la parte meridional de la placa litosférica de Norteamérica, donde contacta a través de la estructura submarina Bartlett-Caimán con la placa Caribe. Es en este heterogéneo límite donde se concentra una importante actividad sísmica. De hecho, los terremotos pueden tener magnitudes (M_s) de hasta 8.0 y más, sin embargo, estos últimos están limitados al norte de La Española.

La evolución geológica de Cuba se ha explicado según diferentes concepciones, para lo cual se elaboraron diversos modelos geotectónicos, tanto fijistas como movilistas. No obstante, ninguno explica satisfactoria e integralmente los principales problemas de su geología. Concretamente, en la actualidad, el territorio de Cuba se divide en dos grandes mosaicos geológicos superpuestos que se corresponden con diferentes etapas de su desarrollo: *un substrato plegado* y *un neoaútóctono*. El substrato plegado está compuesto de rocas y estructuras de origen continental y oceánico, las cuales surgieron y evolucionaron (en un área mucho mayor) fuera de los límites del actual territorio con una tectónica muy compleja de mantos de corrimiento. Por su parte, el neoaútóctono también posee rocas y estructuras continentales, pero todas ellas originadas en las inmediaciones del actual archipiélago, a partir del Eoceno Superior Tardío y luego de la consolidación del substrato plegado. En el neoaútóctono predominan los movimientos verticales de tipo oscilatorio, que conforman al megabloque en ascenso con distintos valores de amplitud/velocidad.

De acuerdo con Iturralde, M.A., 1997 [41], el territorio cubano experimenta un desarrollo de tipo neoplatafórmico con tendencia a los ascensos y descensos (en bloques) desde el Eoceno Superior hasta el Reciente. Investigaciones de Cotilla et al. (1991c) permiten sustentar que el megabloque Cuba está en ascenso diferencial y en estrecha relación (espacio-temporal-energética) con la zona sismogeneradora Bartlett-Caimán (BC).

Características neotectónicas de Cuba

Apuntes iniciales

Las investigaciones neotectónicas requieren el estudio del carácter de los movimientos neotectónicos, de la actividad y desplazamiento de las fallas, aspectos que para ser aplicados en la confección de un mapa sismotectónico resultan imprescindibles. Esto es evidente, ya que las zonas más peligrosas serán aquellas donde los movimientos cambian de signo en distintas épocas del desarrollo tectónico. Por otra parte, los autores han desarrollado todo un conjunto de investigaciones geomorfológicas y de teledetección previas a ésta en los últimos años, con el propósito de elaborar una metodología adecuada y no costosa que permita alcanzar ese objetivo. En este sentido, el trabajo más reciente fue el "Esquema Neotectónico de Cuba escala 1:250,000" [36].

En la literatura internacional en general, y en la soviética en particular [43, 44], se relaciona la neotectónica con los movimientos de la corteza terrestre, que comenzaron desde el Oligoceno y que en la actualidad conservan su dirección y una intensidad considerable. Consideramos, como otros autores, que los movimientos neotectónicos causaron la transformación del relieve de la corteza terrestre, y que la neotectónica está comprendida en el tiempo Oligoceno-Cuaternario y posee tres fases de plegamiento característico: sálica, attica y del Caribe.

Metodología

Estudio de lo publicado anteriormente en el país

La neotectónica ha sido estudiada en Cuba por diferentes autores que han utilizado distintos métodos, pero todos, sin excepción, muestran la influencia de estos movimientos neotectónicos en las condiciones actuales del relieve cubano [1-6, 35-37, 41, 42, 44, 46-48, 59, 62].

De los resultados obtenidos en las investigaciones precedentes en Cuba es factible comprender que los movimientos neotectónicos son los que caracterizan la última etapa del desarrollo geológico (Eoceno Superior-Reciente) con manifiesta tendencia a los ascensos, aunque los movimientos horizontales han producido traslados laterales de bloques hasta 20-30 km a través de las fallas Pinar, Cochinos, La Trocha y Camagüey, y en más de 100 km en la falla Cauto-Nipe.

Además, queda claro que la etapa de formación del relieve actual de Cuba se inició con el incremento sostenido de la intensidad de los movimientos tectónicos verticales del Paleogeno y la consecuente disminución de los horizontales. La etapa del Eoceno Superior-Oligoceno es la fracturación de la corteza pre Eoceno Superior, en la que se conforman las primeras superficies de aplanamiento y de las cuales no

quedan posiblemente grandes áreas debido a las transgresiones del Mioceno. Luego, desde el Oligoceno Medio-Superior al Mioceno Medio se conforma más regularmente la estructura en bloques, emergidos y sumergidos, en la ya existente corteza post Eoceno Superior, en el marco de una relativa estabilidad tectónica. Es entonces que se dan las condiciones apropiadas para la conformación de superficies de aplanamiento, que luego de varios procesos evolutivos se conservan en las partes más elevadas de los sistemas orogénicos, muy reducidas y fragmentadas. Rodeando a éstas se definen las superficies más jóvenes.

Métodos geomorfológicos utilizados

Los métodos geomorfológicos son los más importantes en el estudio de los movimientos mencionados. La aplicación de los métodos morfométricos es una parte valiosa de la geomorfología cuantitativa en el análisis conjunto del relieve y de la neotectónica. La importancia de estos métodos radica, entre otras cosas, en que establecen relaciones entre las particularidades del relieve y la estructura geológica y sirven para confeccionar mapas de tipo especial desde el punto de vista cartográfico. También el poco costo, la rapidez de su confección y los resultados que de ellos se obtienen, ha hecho posible que se conviertan en un aspecto importante para muchos trabajos geólogo-geomorfológicos. En el análisis geomorfológico general, son obligatorios además, los trabajos de campo, la fotointerpretación geomorfológica y el estudio de mapas geomorfológicos, geológicos, tectónicos y geofísicos generales y especiales. No obstante, se debe señalar que los métodos de estudio de la neotectónica son diversos y no exclusivos de una especialidad.

La base de estos trabajos fueron los resultados que incluyeron los mapas y esquemas a escala 1:250,000 siguientes: Disección vertical, Disección horizontal, Pendientes, Superficies de cimas, Superficies básicas de erosión (isobasitas) de diferentes órdenes, Diferencias de superficies básicas de erosión (sectores de levantamientos de diferentes órdenes), Morfoestructural, Parteaguas, cuencas y ríos, Morfoisohipsas (con 2 y 3 generalizaciones), Alineamientos de la red fluvial y del relieve y Neotectónico [36].

También se tuvo en cuenta la información acerca de: Movimientos recientes [33, 37, 44, 46-48]; mapas de alineamientos y nudos [14, 17]; mapas tectónicos [53, 63]; mapas gravimétricos [39, 40, 54, 64]; mapas geomagnéticos [7, 65]; mapa de intensidades sísmicas por datos históricos, para periodos de 100 años [25].

El análisis conjunto de este material permitió delimitar los bloques de diferentes dimensiones, intensidades y su sentido del movimiento. Fueron confeccionados adicionalmente, de acuerdo a las informaciones acerca de los pozos (espesores de sedimentos de diferentes edades), perfiles geomorfológico-geológicos y morfoisohipsas, tres esquemas a 1:1,000,000 de las amplitudes de los movimientos verticales del Neogeno-Cuaternario, Pleistoceno y Holoceno. Para la preparación

de estos esquemas se estudiaron las superficies de aplanamiento o nivelación antiguas, que sirven de punto de referencia fundamental para juzgar sobre los movimientos y deformaciones de los espacios divisorios de aguas, para un tiempo más remoto, además que el obtenido con las terrazas fluviales.

Existen como antecedente dos investigaciones para la zona marítima del Sur de Cuba oriental, una de tipo geólogo-estructural por Cobiella [13] y otra de tipo morfoestructural de Hernández *et al.* (1986), así como otras de corte netamente geólogo-geofísico [34, 38, 51], las cuales en su totalidad sirvieron de base a la realizada por los autores, en que se aplicaron un complejo de métodos geomorfológicos cuantitativos, morfoestructurales y neotectónicos para la clasificación de las estructuras de la parte oriental de la fosa Bartlett-Caimán.

Zonas de fallas y de alineamientos. Delimitación

Las zonas de fallas y de alineamientos fueron analizadas en detalle, además de tener en cuenta toda la información publicada y los resultados de los autores al respecto. Sobre esa base se cartografiaron de la siguiente forma: las zonas de fallas que son límites de placas litosféricas (sistemas transcorticales extensos, y de larga evolución y activas en el presente); las zonas de fallas transcorticales de diferente orientación y movimiento; las zonas de fallas corticales; las zonas de fallas supuestas transcorticales y corticales; las flexuras; las zonas de alineamientos.

Todas las zonas de fallas y de alineamientos aparecen numeradas para su identificación, así como los diferentes macrobloques, mesobloques y bloques (Tabla 1). La identificación de los sentidos de movimiento relativo de los macro, meso y bloques se representó con triángulos, indicando con símbolos en su interior la amplitud del movimiento.

La delimitación de las zonas de fallas y de alineamientos pudiera parecer simple a todos, dado que Cuba es un territorio relativamente pequeño y ha sido profundamente estudiado. Sin embargo, existen grandes contradicciones, incluso en diferentes publicaciones de los mismos autores, lo que se puede apreciar en una revisión de la literatura publicada o en archivo de la temática. Por tal razón, para tener un tratamiento uniforme de la información se decidió procesar las imágenes del Landsat, canales 5, 6 y 7 con vistas a esclarecer qué elementos eran fallas o no, según el criterio de los autores. Los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes fueron comparados con los realizados por otros autores [59], y con los datos acerca del fallamiento propuesto por Mossakovskiy, Pérez C. *et al.*, 1985 y Shein V. *et al.*, 1985 [53, 59, 63]. Es conveniente aclarar que siempre se escogió la información de las imágenes como la correcta y a ella se ajustó el mapa confeccionado. Esta posición obedece a que de acuerdo a la mayor parte de las publicaciones sobre tectónica de Cuba, las fallas no son activas o son activas limitadamente, en contradicción total con los datos sismológicos. Ejemplos hay suficientes: terremoto de Torriente-Jagüey

Tabla 1
Resumen de las zonas de fallas o de alineamientos cartografiados

No.	Nombre	Tipo	Actividad
1	Guane	T	A
2	Pinar	T	P.A.
3	Alineamiento 3	C	N.A.
4	Alineamiento 4	C	N.A.
5	Río Hondo	C	A
6	Consolación del Norte	C	A
7	Norte Cubana	T	P.A.-A
8	Sur Cubana	T	N.A.-P.A.-A
9	Majana-Habana	T	P.A.
10	Hicacos	C	A
11	Habana-Jagüey	T-C	A
12	Jagüey-Cienfuegos	T	A
13	—	—	?
14	Cárdenas-La Broa	C	N.A.
15	Cazones-M. Gómez	T	N.A.
16	Zapata-Corralillo	T	P.A.
17	Cochinos	T	A
18	Cochinos-Cárdenas	T	N.A.
19	Cochinos-Manacas	T	N.A.
20	Cienfuegos-S. La Grande	T	A
21	Las Villas	T	P.A.
21 ^A	Cubitas	T	A
22	Tuinicú	T	P.A.
23	Cienfuegos-Caibarién	C	N.A.
24	Flexura Trinidad	C	N.A.
25	La Trocha	T	A
26	Jatibónico Sur-Yaguajay	C	P.A.
27	Esmeralda	C	A
28	Camagüey	T	A
29	Tunas	C	P.A.
30	Baconao	T	A
31	Cauto-Sibanicú	C	N.A.
32	Cauto Norte	C	P.A.
33	Cauto-Bayamo	C	N.A.
34	Gibara	T	A
34 ^A	Nipe-Cristal-Baracoa	T	P.A.
35	Niquero-Cacocúm	T	A
36	Pico Turquino-Pico Cristal	T	P.A.
37	Pico Martí-Cuchillas de Toa	C	P.A.
38	Gran Piedra	C	A
39	Guantánamo-Cacocúm	C	A
40	Purial	C	A
41	Bartlett-Caimán	T	A
42	Oeste de I. de la Juventud	C	N.A.
43	Lanier	C	N.A.

Nota: T-Transcortical, C-Cortical, A-Activa, P.A.-Probablemente activa, N.A.-No activa.

Grande, el 16 de diciembre de 1982; terremoto de Esmeralda, el 07 de abril de 1974; terremoto de Jatibonico, el 26 de julio de 1971; terremoto de San Cristóbal, el 23 de enero de 1880; Terremoto de Remedios-Caibarién, el 14 de agosto de 1939; terremoto de Sagua La Grande, el 25 de mayo de 1960; terremoto de Consolación del Norte, en marzo de 1873; terremoto de Santa Cruz del Sur, el 23 de noviembre de 1949.

Gradiente neotectónico. Niveles

Una de las cuestiones que consideramos de mayor importancia fue la evaluación del "gradiente neotectónico", que definimos como un parámetro cualitativo, para lo cual se consideró lo siguiente: Unidad Neotectónica; presencia de falla, tipo y actividad; estructuras neotectónicas que compiten: amplitud de los movimientos neotectónicos verticales; valores de los parámetros morfométricos; zona de intensidad sísmica (en el mapa de intensidades por datos históricos); presencia de terremotos; zona de nudos de alineamientos.

En este sentido, es bastante común utilizar este término apartándose de la concepción matemática que el mismo representa, para indicar, de forma cualitativa, una gradación de la actividad neotectónica. En nuestro caso, este "gradiente" fue representado en tres niveles: 1) muy fuerte, 2) fuerte y 3) moderadamente fuerte, de los cuales exponemos algunas de sus características.

1) Gradiente neotectónico muy fuerte

- A) 1) Zona límite de placas litosféricas; 2) Amplitud de los movimientos neotectónicos > 8 m; 3) Zona de intensidad sísmica de VIII grados (MSK); 4) Ocurrencia de terremotos de intensidad de IX grados (MSK); 5) Gran densidad de epicentros.

2) Gradiente neotectónico fuerte

A) *Unidad Neotectónica Oriental*

- 1) Fallas activas; 2) Límite de megabloques, macrobloques y de placas litosféricas; 3) Amplitud de los movimientos neotectónicos (>1 km y <5 km); 4) Zona de intensidad sísmica de VI y VII, e incluso VIII grados (MSK); 5) Nudos de alineamientos de diferentes categorías.

B) *Unidad Neotectónica Occidental*

- 1) Fallas activas; 2) Límite de megabloques y macrobloques; 3) Amplitud de los movimientos neotectónicos (>1 km y <3 km); 4) Zona de intensidad

sísmica de VI y VII grados (MSK); 5) Nudos de alineamientos de 1ra. categoría ($M_s=6.0 \pm 0.25$).

3) Gradiente neotectónico moderado

A) *Unidad Neotectónica Occidental*

- 1) Fallas activas; 2) Límite de macrobloque, mesobloque y bloque; 3) Amplitud de los movimientos neotectónicos (>0.5 km y <2 km); 4) Zona de intensidad sísmica de V y VI grados (MSK); 5) Nudos de alineamientos de 2da. categoría (5.5 ± 0.25).

Mapa neotectónico. Contenido

En la Figura 1 se presenta un esquema simplificado del mapa neotectónico (MN) de Cuba a escala 1:1,000,000, su leyenda es de tipo sencilla, ya que representa los sistemas de zonas de alineamientos y los tipos de fallas con sus sentidos de desplazamiento, las unidades neotectónicas y los sistemas de bloques (que incluyen los valores morfométricos y los sentidos de movimientos) así como los gradientes neotectónicos.

Fueron empleados otros símbolos convencionales como: ríos, ciudades y embalses.

El mapa principal se acompaña de un conjunto de recuadros que facilitan la comprensión del trabajo, estos son: esquema de las zonas límites de placas; esquema de las grandes unidades; esquema de los movimientos tectónicos de Cuba en el Neogeno-Cuaternario, escala 1:2,000,000; esquema de los movimientos tectónicos de Cuba en el Pleistoceno, escala 1:2,000,000; esquema de los movimientos tectónicos de Cuba en el Holoceno, escala 1:2,000,000; mapa de morfoestructuras de la parte oriental de la fosa de Bartlett; mapa de intensidades sísmicas por datos macrosísmicos (100 años); esquema de las elipses de influencia y deformación (cinemática neotectónica).

Unidades neotectónicas. Criterios

La proposición de la existencia de dos unidades neotectónicas se sustenta, de acuerdo a los resultados de otros autores, en cuanto a la constitución geológica, la tectónica y la geomorfología de Cuba [1-6, 35, 41, 45, 49, 53, 59, 63] y al procesamiento de las informaciones geólogo-geomorfológicas de González, C.E. et al., 1983 y 1987 [35, 36]. Estas unidades poseen evidentemente un orden inferior con respecto al megabloque cubano y se denominan: Occidental y Oriental. El límite de estas unidades lo constituye el sistema de fallas activas Cauto-Nipe, que según nuestros resultados es desplazado por el sistema de fallas Baconao, de igual forma que fue planteado en Academias de Ciencias de Cuba y Hungría [6].

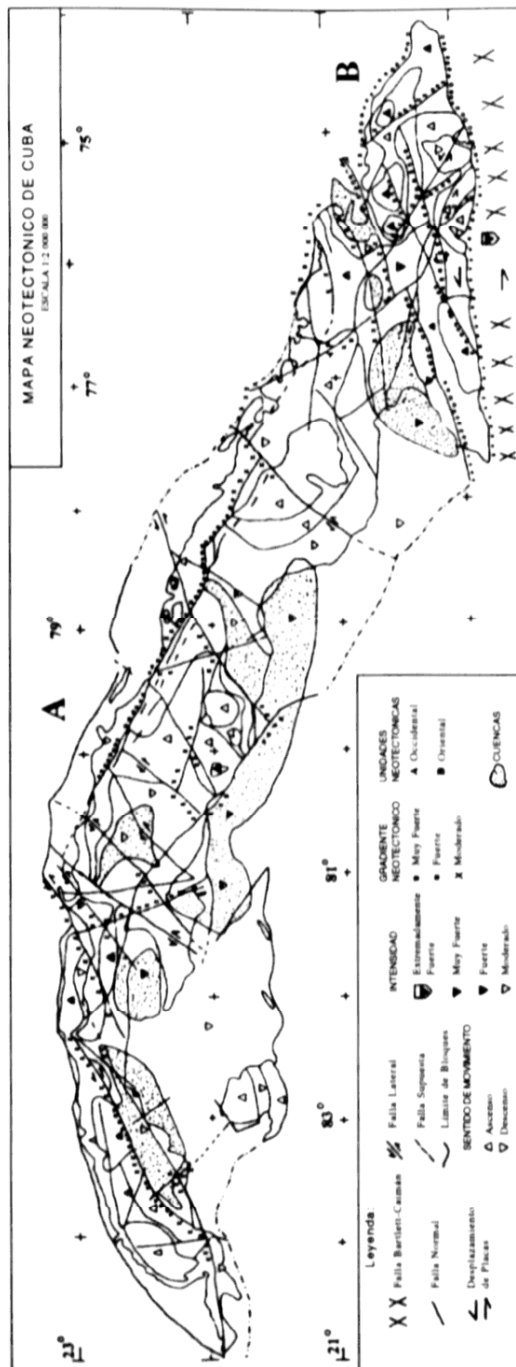


Figura 1. Esquema simplificado del mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000.

A continuación una breve descripción de sus características generales:

U.Oriental.

Se localiza entre la Punta de Quemados y la zona de fallas Cauto-Nipe, al este de la depresión homónima. Posee las mayores altitudes del archipiélago cubano, las llanuras se localizan solamente en estrechas bandas, en las inmediaciones de las costas y en la parte central. Sin embargo, el relieve montañoso es su característica predominante, es decir, relieve vigoroso, con valores de pendientes y disección vertical de más de 30 grados y 100 m/km² respectivamente. Su red fluvial es irregular y compleja en cuanto a su figura, sus ríos alcanzan un alto orden en recorridos relativamente cortos. Aquí se pueden trazar dos parteaguas principales de primer orden. Existe una gran densidad de sectores de levantamiento, determinados por diferencias de isobasitas. Las amplitudes totales de los movimientos neotectónicos verticales en la S. Maestra y en el macizo de Nipe-Cristal-Baracoa son del orden de los 1,000 m y más.

U.Occidental

Esta unidad está entre la zona de fallas Cauto-Nipe y el Cabo de San Antonio en la provincia Pinar del Río, y posee un área mucho mayor que la anterior. Las llanuras, en sentido general, cubren un área mayor que las alturas, y las elevaciones máximas son mucho menores que en la unidad Oriental, o sea el relieve es menos vigoroso. Existe un considerable número de cuencas superpuestas. El parteaguas principal de primer orden no presenta grandes irregularidades en su extensión. Los ríos principales son de menores órdenes que en la UN Oriental. Los sectores de levantamientos neotectónicos determinados por las diferencias de isobasitas, son menos numerosos que en la unidad Oriental y existen amplios territorios donde no se manifiestan. La amplitud total de los movimientos neotectónicos verticales en el macizo de Guamuha es ligeramente superior a 1,000 m y en el resto del territorio considerablemente inferior.

La delimitación de las unidades neotectónicas (Figura 1) se fundamentó en los siguientes criterios:

1. La independencia de los procesos tectónicos (neotectónicos)
2. Las características específicas del ciclo de desarrollo de la corteza terrestre
3. La amplitud de los movimientos neotectónicos
4. La cantidad de eventos sísmicos reportados
5. La cercanía a la fosa de Bartlett-Caimán
6. Otros

En síntesis, se presentan a continuación cómo estos criterios permiten caracterizar ambas unidades de forma independiente. Por ejemplo, con referencia a 1. *La independencia de los procesos neotectónicos*, tenemos que:

La Unidad Neotectónica Occidental, se caracteriza por una actividad neotectónica relativamente homogénea desde el Eoceno Superior hasta la actualidad. En los bloques elevados, macizos de Guamuhaya e I. de la Juventud, los movimientos ascendentes se iniciaron no más tarde del Maestrichtiano. Sin embargo, en la cordillera de Guaniguanico y el margen continental de América del Norte (la región miogeosinclinal del norte de Cuba Central) ocurrieron los primeros ascensos con posterioridad al Eoceno Medio, quedando a partir de éstos ya establecidas las zonas o bloques de ascenso y descenso de forma relativamente estable. Las épocas más activas fueron el Mioceno Inferior (transgresión general) y el Plioceno (regresión moderada) con varias transgresiones y regresiones marcadas en el Pleistoceno, intensas, pero de corta duración en el tiempo geológico, manteniéndose las tendencias establecidas desde el Eoceno Superior, y para algunos bloques aún desde antes.

Esta unidad se caracteriza también por la existencia de gran número de cuencas superpuestas, con tendencias claras al descenso: Los Palacios, Las Vegas, La Broa, Santo Domingo, Central, Redención, Cochinos, Bela, Ana María y Navarro. Se observa que posee en general una amplia plataforma insular con cayos en ambas costas. La mayoría de los pozos abiertos en la plataforma insular muestran que bajo las secuencias pleistocénicas yacen las areniscas, las lutitas y las margas arenosas de edad Eoceno Inferior, las cuales son correlacionables con la Fm Capdevila. Esto refleja un proceso de "equilibrio", ya que mientras las zonas (bloques) actualmente emergidas, se comportaron como cuencas sedimentarias durante prácticamente todo el Paleogeno Superior y el Neogeno, las zonas (bloques) actualmente sumergidas en la plataforma estaban sometidas a la erosión. Es decir, ocurrió una inversión del proceso durante el Pleistoceno.

La Unidad Neotectónica Oriental, fue sometida a procesos neotectónicos de naturaleza diferente y no relacionados, al menos estrechamente, con los de la UN Occidental. Se caracterizaron dichos procesos por iniciarse algo después al establecimiento de los bloques, por la independencia entre ellos, por la continuación de un estilo paleotectónico (orogénico) aún en el Eoceno Superior y quizás para la base del Oligoceno.

En los macrobloques S. Maestra y Nipe-Cristal-Baracoa, el proceso de ascenso ha sido ininterrumpido o interrelacionado, no antes del Eoceno Superior y probablemente del Oligoceno, ya que en los conglomerados Camarones (miembro de la Fm San Luis) no hay rocas de la Sierra Nipe-Cristal-Baracoa. Sin embargo, ya en el conglomerado Cilindro, del Mioceno Inferior, aparecen cantos de ambos bloques (Sierras Maestra y Nipe-Cristal-Baracoa), lo que indica la erosión de ambos macizos.

En cuanto al macrobloque Cauto-Nipe, éste se inició probablemente en el Eoceno Superior, seguramente Mioceno Inferior, con el comienzo de los movimientos de tipo compresivo de alzamiento de la S. Maestra, en forma de una zona de distensión al Norte de la misma. Esto se evidencia con el corte, que comienza con un potente paquete de molasas y flysh del tipo San Luis y quizás de horizontes conglomeráticos del tipo Camarones, y posteriormente un paquete terrígeno y terrígeno-carbonatado que se extiende ininterrumpidamente por toda la columna estratigráfica. La Plataforma Insular prácticamente no existe.

Por otra parte 2. *Las características específicas del ciclo de desarrollo de la corteza terrestre* en las unidades neotectónicas se pueden resumir así:

U. Occidental

Tiene un marcado proceso de continentalización, en donde las estructuras paleotectónicas han perdido su independencia y las cuencas superpuestas cubren las secuencias pertenecientes a zonas diferentes por igual. Es decir, se atravesó por un periodo de uniformidad estructural y un cubrimiento por unidades nuevas, relativamente poco activas e indiferenciadas. Esto sería un tipo de desarrollo de plataforma moderna o neoplataforma. Durante el Paleogeno disminuyó o se extinguió el vulcanismo.

U. Oriental

No ha alcanzado aún la uniformidad estructural, ya que el grado de disección paleotectónica es mucho mayor. No se ha desarrollado una zona de plataforma insular tranquila, existe una considerable actividad sismotectónica, los límites de las estructuras están dados por fallas activas y en cada macrobloque se desarrollan sus propias coberturas sedimentarias no uniformes. Este tipo de desarrollo se denomina post-geosinclinal o post-orogénico. Durante el Paleogeno, especialmente en la S. Maestra se incrementó el vulcanismo y se manifestó el magmatismo intrusivo.

3. Con relación a las *amplitudes totales de los movimientos tectónicos* verticales, determinadas éstas por las diferencias de las superficies básicas, ya fueron mencionadas en la descripción de las UN, y aunque no son definitorios los datos de movimientos recientes para el trabajo de clasificación de las UN por su grado de generalización e indeterminación, sí pueden ser aplicados como índice. Tal como se plantea por Hernández, J.R. *et al.*; Lilienberg, D.A. *et al.* s/f y 1976 [37, 47, 48] la zona axial de la S. Maestra experimenta ascensos intensos de 10-20 mm/año, mientras que el macrobloque Cauto-Nipe desciende a razón de 10-15 mm/año, y que la región Occidental tiene en general velocidades de ascenso y descenso del orden de los 0.5-5 mm/año [33].

4. La cantidad de eventos sísmicos reportados en las UN con independencia del despoblamiento o la instalación de estaciones sismológicas en sus inmediaciones difiere considerablemente. En la UN Occidental se han reportado como eventos más importantes uno de VIII grados (MSK) en el año 1880 en San Cristóbal, P. del Río; dos de VII grados (MSK) en Gibara, Holguín en 1914 y Caibarién, Villa Clara, en 1939; y dos de VI grados (MSK) en Esmeralda, Ciego de Avila, en 1974 y Torriente-Jagüey Grande, Matanzas, en 1982. Sin embargo, de IX grados (MSK) en la UN Oriental se conocen dos; de VIII grados (MSK) 8 y de VII grados (MSK) 17 [8, 19, 32].

Otro elemento de interés para la diferenciación de las UN lo constituye el mapa de intensidades sísmicas por datos históricos, para periodo de recurrencia de 100 años [32], que precisa a la UN Occidental con valores menores de VI grados (MSK), con la excepción de la zona de San Cristóbal-Candelaria-Soroa de VII grados (MSK).

5. La UN Oriental es colindante con la zona Bartlett-Caimán y como se comprobó en Cotilla et al., 1991a y Cotilla, et al. 1991c [16, 18] existe interacción y por consiguiente influencia entre ellas, lo cual indudablemente la diferencia de la UN Occidental. Esto no quiere decir, que no existe influencia del elemento Bartlett-Caimán en la unidad Occidental, sino que es mucho menos marcada.

6. Uno de los aspectos que se valoró en la diferenciación de las dos UN fue el de los mapas geomagnéticos [7, 65]. Ellos definen claramente a toda la UN Oriental dentro del campo de valores negativos y a la Occidental con preferencia en los positivos, estando los negativos asociados a estructuras importantes.

Pull - Apart Basin

La literatura geológica cubana recoge la presencia de un conjunto de cuencas, depresiones y grabens en todo el territorio, como Los Palacios, Las Vegas, La Broa, Cochinos, La Trocha, Cauto-Nipe y Redención [1-6, 33, 53, 62, 63]. Esas cuencas, como corrientemente se conocen, fueron formadas en las etapas orogénicas y post-orogénicas y los sedimentos en ellas alcanzan profundidades del orden de los 1,000-3,000 m.

Hay un conjunto de características que poseen estas unidades que señalaremos a continuación: 1) Su relieve en general es de llanuras suavemente onduladas en las áreas emergidas. 2) Son depresiones marinas adyacentes a la isla. 3) Están limitadas al menos en uno de sus flancos por una falla o sistema de fallas. 4) Las fallas y flexuras asociadas a las cuencas tiene dirección NE generalmente. 5) Se localizan en las cercanías de estructuras neotectónicas elevadas. 6) Su figura geométrica es arqueada. 7) La relación de las mitades de sus largos es a los anchos aproximadamente 1:1.6.

Se ha planteado que estas cuencas en general son zonas de distensión de la corteza terrestre y la ocurrencia de terremotos en sus cercanías ha permitido a los autores asociarlos a los bordes de éstas. Luego del desarrollo teórico del concep-

to de *Pull-Apart Basin* como zonas de distensión, o etapas de fallas transformantes o de desplazamiento lateral, su introducción en los trabajos de neotectónica fue paulatino. Para el caso del Caribe en Mann, P. y Burke, K. [49], se planteó la presencia de un conjunto de estructuras de *Pull-Apart Basin*, y en Cuba específicamente, en la cuenca Cauto.

Es conocido de esta teoría, la necesidad de un cierto "espacio" para provocar la rotación, ya que en sí, no es necesario hundimiento, sino un salto en la falla de desplazamiento lateral. Diversos autores han argumentado que la falla Bartlett-Caimán ejerce influencia en la parte oriental, al interaccionar las placas litosféricas de América del Norte y Caribe, que se desplazan al oeste y este respectivamente. Otros autores plantean que la dirección oeste es favorecida en su rotación por el desplazamiento que provocó la falla Baconao sobre la falla Cauto-Nipe, dividiendo por tanto la cuenca Cauto de la Nipe. Esta cuenca Cauto indudablemente posee espacio para "rotar"; además, en las isóclinas de la profundidad de sus sedimentos se ve una inflexión al SE, y este prisma sedimentario no guarda relación desde el Paleogeno con el supuesto aporte de la Sierra Maestra. Por ello consideramos que en la cuenca Cauto hay elementos suficientes para ser un *Pull-Apart Basin*, ya que tiene todos los requisitos. Igualmente, el límite de las dos UN es precisamente esta estructura. Los autores consideran también que las cuencas La Trocha y Cochinos pueden ser de este tipo, a pesar de que no hay relación directa de las fallas que la limitan con la Bartlett-Caimán. En el caso de la cuenca Los Palacios, es indudable que las direcciones de ella y su falla límite, su geometría y el espesor de sedimentos por edades, permiten proponerla como un *Pull-Apart Basin*. En la parte suroriental de Cuba hay un conjunto de pequeñas cuencas que tienen sismicidad asociada y elementos disyuntivos transversales a Bartlett que permiten proponerlas también como incipientes *Pull-Apart Basin* [18].

Plataforma Insular

La neotectónica de la parte submarina se tomó en parte de los trabajos publicados y que los autores interpretan y resumen así:

1) La plataforma insular rodea a la isla con diferente ancho, aunque en la región suroriental prácticamente no existe. 2) El relieve de la plataforma en general es de llanuras suaves y onduladas. 3) En la plataforma se pueden delimitar bloques de diferentes dimensiones que están siempre relacionados con la parte emergida. 4) Los límites externos de la plataforma coinciden al norte, en la región suoriental y tramos del sur con fallas activas. 5) Al sur de la región oriental hay una fosa activa constituida por diferentes bloques y fallas (se desprecia la plataforma insular). 6) El sistema de fallas que integra a la fosa es el límite de las placas litosféricas de América del Norte y del Caribe. 7) Existe un cambio estructural notorio de la fosa al este de Baconao.

Neotectónica de la parte oriental de la fosa de Bartlett

La parte oriental de la fosa de Bartlett posee un conjunto de unidades neotectónicas de diferentes órdenes, las cuales están enlazadas estructural y espacialmente. Estas unidades poseen diferentes dimensiones, actividad y sentido de los movimientos y ha sido demostrado que es en los bordes de los grandes bloques, precisamente en los límites de interacción, donde se localiza la actividad sísmica y no arbitrariamente en cualquier lugar. La región estudiada es la comprendida entre los 74 grados y los 78 grados de longitud oeste.

Taxonomía

En el megabloque cubano se identificaron 15 macrobloques, estos a su vez están compuestos de mesobloques, pudiendo estos últimos estar compuestos también por bloques. En la Tabla 2 se presenta un resumen de esta clasificación, y en Cotilla *et al.*, 1991c [18] aparece la descripción.

La parte estudiada del megabloque fosa de Bartlett - Caimán, de corteza oceánica modificada, está integrada por un total de seis grandes unidades: macrobloques Fosa de Oriente, Oriente, Cordillera, Complejo, Paralelo y Costero. En la Tabla 3 se presenta un resumen de esta clasificación, y la descripción de estos macrobloques y las unidades menores que los componen aparece en Cotilla *et al.*, 1991c [18].

En la Tabla 4 se presenta de forma condensada el tipo de movimiento neotectónico (vertical) predominante para los megabloques cubano y Fosa de Bartlett-Caimán (parte oriental).

Características sismotectónicas de Cuba

Apuntes iniciales

Los especialistas en sismotectónica tratan de encontrar patrones y regularidades en la tectónica que puedan corresponderse con la actividad sísmica. Para ello se valen de estudios geológicos, geofísicos y geomorfológicos que esquematicen la historia y evolución de la corteza terrestre y el manto. Además, los estudios geológicos y sismológicos se encuentran en la gran disyuntiva de que deben dar respuesta a partir de consecuencias al fenómeno sísmico.

El resultado de los estudios sismotectónicos debe y tiene que ser la confección de un mapa de escala pequeña, que generalice las informaciones neotectónica y sismológica de una región determinada. Existen diferentes criterios para la confección de dichos materiales, pero, en general, se coincide en que deben representarse las fallas activas en las etapas neotectónica y reciente, ya que son los elementos fundamentales para realizar los estimados de peligrosidad sísmica [9].

Tabla 2
Taxonomía del megabloque cubano

Macrobloque (1)	Mesobloque (2)	Bloque (3)
1. Guaniguanico (a)	Pizarras del Norte (a) Pizarras del Sur (a) Los Organos (a) Rosario (a)	—
2. Habana-Matanzas (a)	Cabañas-Anafe (a) Habana-Matanzas N (a) Bejucal-Madruga-Limonar (d) Almendares-San Juan (d)	—
3. —	Isla de la Juventud	Septentrional (a) Meridional (a) Lanier (d)
4. Villa Clara (a)	Corralillo (a) Bamburanao (a) Santa Clara (a)	—
5. Guamuhaya (a)	Cúpula Trinidad (a) Cúpula S. Spíritus Manatí (d)	Trinidad (a)
6. Camagüey (a)	Cubitas-Najasa (a) Tunas (a)	—
7. Maniabón (a)	—	—
8. Sierra Maestra (a)	Turquino (a) Gran Piedra (a)	S. de Cuba (d)
9. Guantánamo (a)	Magüey-Canasta	Joa (d)
10. Nipe-Cristal-Baracoa(a)	—	—
11. —	Guanahacabibes (d)	—
12. Costa Norte (d)	—	—
13. Los Palacios (d)	Cuenca Los Palacios (d) Cuenca Las Vegas (d)	—
14. Batabanó-Manacas-Cienfuegos (d)	Cuenca La Broa (d)	—

Tabla 2 (Continúa)

<i>Macrobloque (1)</i>	<i>Mesobloque (2)</i>	<i>Bloque (3)</i>
15. Morón-Redención (d)	Cuenca Redención (d)	Punta Alegre (a) Turiguanó (a) Cunagua (a)
16. La Trocha-Vertientes (d)	Cuenca Central (d) Ana María (d) Cuenca Navarro (d)	—
17. Cauto-Nipe (d)	Cuenca Cauto (d) Cuenca Nipe (d) Cuenca San Luis (d)	—

Nota: (a) ascenso
(d) descenso

En Cuba, con anterioridad a esta investigación se han realizado otros estudios de sismotectónica, ya sea para regiones pequeñas o para todo el territorio nacional [10, 55-58]. Sin embargo, en ellas se ha enfocado el problema o bien desde un punto de vista fundamentalmente sísmológico [14], o esencialmente geológico [10, 56, 58], lo que consideramos condujo a valoraciones limitadas. Nuestro criterio es que la problemática sismotectónica debe ser enfocada con equipos multidisciplinarios y sobre todo con un adecuado uso de las informaciones sísmológicas y de la evolución geólogo-tectónica del archipiélago cubano en el contexto del Caribe.

Materiales y métodos

Reiteramos que existen variados criterios para la confección de los mapas sismotectónicos, los cuales están recogidos en trabajos especializados [9, 10, 14, 58, 60] y que fueron analizados por los autores.

Para la confección del mapa sismotectónico de Cuba fue imprescindible recopilar información geológica, geofísica, sísmológica y neotectónica existente en el país y sobre esa base se trató de sintetizar toda a una misma escala, resultando la más apropiada la de 1:1,000,000.

Este mapa requirió de la delimitación de las zonas de fallas por grado de actividad y edad, la cual se tomó de la teledetección. También fue necesario confeccionar el mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000, presentado anteriormente, que permitió obtener un cuadro de la tectónica de bloques ascendentes y descendentes desde el Oligoceno, que considerara la influencia de las placas litosféricas vecinas sobre el territorio.

Tabla 3
Taxonomía del megabloque Fosa de Bartlett-Caimán entre los 74 grados y los 78 grados de longitud oeste
Megabloque Fosa de Bartlett

<i>Macrobloque (1)</i>	<i>Mesobloque (2)</i>	
1) Fosa Oriente (d)	—	—
2) Oriente (d)	II 1 (d) II 2 (d) II 3 (d) II 4 (d) II 5 (d)	II 6 (d) II 7 (d) II 8 (d) II 9 (d) II 10 (d) II 11 (d)
3) Cordillera (d)	III 1 (d) III 2 (d) III 3 (d)	III 4 (d) III 5 (a)
4) Complejo (d)	IV 1 (d) IV 2 (d) IV 3 (a)	IV 4 (a) IV 5 (a) IV 6 (a)
5) Paralelo (d)	V 1 (d) V 2 (a)	V 3 (a) V 4 (a)
6) Costero (d)	VI 1 (d) VI 2 (a)	VI 3 (a)

Nota: (a) ascenso
(d) descenso

Con referencia a la información sísmológica, se tuvo en cuenta que Cuba posee dos tipos de sismicidad: de interior de placas y de entreplacas litosféricas, y que el mayor nivel de actividad sísmica se localiza en la región suroriental [8]. Para la UN Occidental la información sísmológica utilizada es prácticamente la macrosísmica histórica [19-21, 24-27, 29, 31] y para la UN Oriental [19, 22-25, 28, 29-31] se suman los datos de terremotos débiles reportados por una red de estaciones en el periodo 1979-1988 [11, 12]. Para el megabloque Fosa de Bartlett-Caimán se utilizó la información instrumental, tanto por redes internacionales como por la red local, aunque la macrosísmica histórica es fundamental para la evaluación de los terremotos máximos reportados [28, 29]. Además, fue estimado el potencial sísmico de parte del arco de las Antillas Mayores [15], lo que permitió determinar que sólo al Norte de La Española, debido a su mecanismo focal de subducción complicado sobre el plano de corrimiento por el rumbo, un mayor espesor de la capa sismoactiva y

Tabla 4
Resumen del tipo de movimiento neotectónico de Cuba

a) Megabloque Cubano

	<i>Unidad Neotectónica</i>				<i>Total</i>
	<i>Occidental</i>		<i>Oriental</i>		
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	
Macrobloques	6	5	3	1	15
Mesobloques	15	15	3	1	34
Bloques	6	1	-	2	9
Total	27	21	6	4	58

b) Megabloque Fosa de Bartlett-Caimán (Parte Oriental)

	<i>Macrobloques</i>		<i>Mesobloques</i>		<i>Totales</i>
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	
Total	-	6	10	19	35
Totales	-	6	29	-	35

Nota: A— ascenso, D—descenso.

grandes contrastes neotectónicos son posibles terremotos con magnitud mayor o igual que 8.0.

Para la clasificación de las zonas sismogeneradoras se valoró lo siguiente: 1) Tipo, historia y actividad de la zona de falla; 2) Bloques que delimitan las zonas de fallas; 3) Amplitud de los movimientos neotectónicos; 4) Gradiente neotectónico; 5) Unidad neotectónica; 6) Existencia de nudos de alineamientos; 7) Zona de intensidad sísmica; 8) Intensidad sísmica máxima reportada.

Mapa Sismotectónico

En la Figura 2 se presenta un esquema simplificado del mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000.

La representación cartográfica es sencilla, ya que incluye:

- 1) Las zonas de ascensos y descensos relativos desde el Plioceno
- 2) Las zonas de fallas, sus tipos y categorías
- 3) Las isosistas de los sismos más importantes

Las isosistas fueron tomadas de trabajos publicados e inéditos de especialistas del I.G.A. [8, 24, 28, 31, 32] y representadas en los mapas aparecen a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5
Isosistas representadas en el mapa sismotectónico

<i>No.</i>	<i>Fecha</i>	<i>Imax (MSK)</i>	<i>Localidad de Imax</i>
1	23.01.1880	8	San Cristóbal
2	28.02.1914	7	Gibara
3	03.03.1932	8	Santiago de Cuba
4	15.08.1939	7	Remedios Caibarién
5	07.08.1947	7	Santiago de Cuba
6	20.09.1953	5	Velazco
7	11.11.1970	4	Sancti Spíritus
8	26.07.1971	4	Jatibónico
9	08.04.1974	6	Esmeralda
10	16.12.1982	6	Torriente-J. Grande
11	02.04.1984	5	Caña Brava
12	21.04.1984	4	Maisí
13	25.04.1984	3	Bayamo
14	25.04.1984	3	Bayamo
15	03.05.1984	5	Caimanera
16	27.10.1984	6	Aserradero
17	08.10.1986	4	Chambas

Como complemento al mapa se añadieron un total de nueve recuadros, los cuales facilitan la lectura y comprensión del mismo. Ellos son: 1) Esquema de la posición tectónica de Cuba en el sistema de placas litosféricas; 2) Mapa neotectónico de Cuba, 1:2,000,000; 3) Mapa de epicentros macrosísmicos máximos por localidades; 4) Mapa de alineamientos y nudos principales de Cuba, 1:2,000,000; 5) Mapa de intensidades sísmicas de Cuba por datos históricos (T=100 años); 6) Mapa de epicentros instrumentales de la red oriental, 1981-1986; 7) Mapa de epicentros por datos instrumentales (desde Ms <4.0 hasta Ms=8.0); 8) Mapa de epicentros para el cálculo de los potenciales sísmicos, Ms >7.0; 9) Mapa de epicentros instrumentales de la Unidad Neotectónica Occidental, escala 1:2,000,000.

Estimación de las magnitudes máximas

A las zonas sismogeneradoras delimitadas les fueron estimadas sus magnitudes máximas de acuerdo a: a) criterios geológicos de la sismicidad, b) dimensiones de

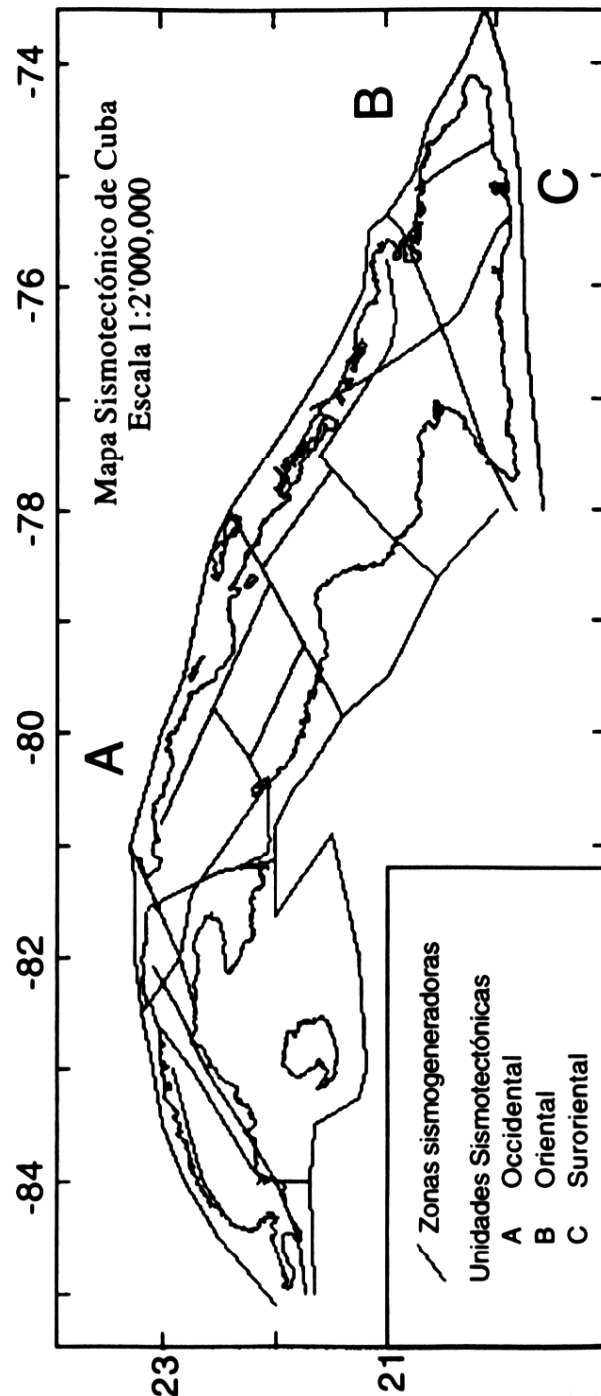


Figura 2. Esquema simplificado del mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000.

las zonas y c) método propuesto por los autores (Tabla 6). El método del desarrollo histórico-tectónico o criterios geológicos de la sismicidad aparece explicado en Belousov *et al.* [10].

Para el mismo, las zonas sismogeneradoras de CATEGORIAS I y II poseen valores de los gradientes máximos de las velocidades de los movimientos neotectónicos verticales superiores a 1×10^{-8} /año. Y para los casos de las zonas sismogeneradoras de CATEGORIAS III y IV, dicho parámetro es inferior a 1×10^{-8} /año y 1×10^{-9} /año, respectivamente. Por supuesto, los valores promedios del gradiente de la velocidad de los movimientos neotectónicos verticales en cada categoría es diferente aunque del mismo orden de los máximos.

El cálculo de las magnitudes máximas de los terremotos, sobre la base de los datos de longitud y profundidad de las fallas, aplicando las relaciones obtenidas por diferentes autores en distintas regiones del mundo, aparece en la Tabla 6. De estas cinco relaciones M1 (Rubio), M4 (Shebalin), M5 (Shebalin), M2 (Matsuda) y M3 (Achaya), M4 y M5 emplean la longitud total de la falla (L_s), mientras que las otras utilizan la longitud de ruptura de la falla (L_t), la cual se considera como $0.3-0.5 L_s$.

La aplicación de M4 y M5 confronta la dificultad de determinar cuál es la longitud total de una falla, mientras que con las otras, la dificultad radica en seleccionar qué parte de la falla será la correspondiente al foco futuro. Se tomó entonces la decisión de considerar para ambos casos como las longitudes que se señalan en la tabla como un compromiso ante la imposibilidad de darle respuesta a las interrogantes planteadas. De esta tabla se puede ver que: 1) Las fórmulas M1 y M3, aunque consideramos sobrestiman el valor de M_{max} , dan resultados similares; 2) La M2 da indudablemente una sobre estimación de la magnitud de los terremotos, físicamente imposible; 3) Los valores obtenidos por las fórmulas M4 y M5 (de Shebalin ambas) considerando sus límites inferior y superior respectivamente, son los más cercanos a los resultados de los potenciales sísmicos.

El método propuesto por los autores clasifica las zonas en cinco categorías sobre la base de un conjunto de requisitos. Para cada una de las cuatro primeras magnitudes (M) se dan dos niveles de magnitud máxima (M_{max}) en dependencia del cumplimiento parcial de los requisitos. En la Tabla 7 se presenta la clasificación propuesta.

Por otra parte, se realizó una comparación somera de los resultados obtenidos para Cuba por otros autores [50-52] con los aquí presentados, resultando que: 1) Delimitamos 24 zonas sismogeneradoras más; 2) Hay coincidencia total en tres zonas de fallas y parcial en cinco; 3) En dos zonas de fallas asumimos el valor medio de sus proposiciones; 4) En tres zonas de fallas consideramos el límite inferior de sus proposiciones; 5) En seis zonas de fallas obtuvimos valores superiores; 6) En cinco zonas de fallas obtuvimos valores menores.

Tabla 6
Resumen de las Mmax de las zonas sismogeneradoras por diferentes métodos

Zona Sismogeneradora		Valores de la M _{máx} por:						Método propuesto por los autores
No.	Nombre	M1	Dimensiones		M4	M5	Caracts. Sismotect.	
1	2		M2	M3			4	5
1	Guane	8.82	12.6	7.93	6.01	7.12	7.0	< 5.5
		7.46	11.74	7.43				
2	Pinar	7.50	11.88	7.47	5.72	6.88	7.0	6.5 - 7.0
		6.94	10.95	6.97				
3	—	—	—	—	—	—	—	?
4	—	—	—	—	—	—	—	?
5	Rfo Hondo	6.37	10.08	6.45	5.87	6.08	6.5	6.0
		5.81	9.23	5.95				
6	C. del Norte	6.60	10.43	6.66	5.21	6.23	6.5	6.0
		6.04	9.58	6.16				
7	Norte Cubana	9.41	14.71	9.18	6.88	8.08	8.0	6.0 - 7.0
		8.85	13.86	8.67				
8	Sur Cubana	9.41	14.71	9.18	6.88	8.08	8.0	? - 7.0
		8.85	13.86	8.67				
9	Majana-Habana	6.81	9.54	6.13	4.87	5.86	6.0	5.0
		5.46	8.69	5.63				
10	Hicacos	7.89	11.17	7.89	5.48	6.53	6.5	6.0
		6.53	10.32	6.59				
11	Habana-	6.84	10.80	6.88	5.34	6.38	7.0	5.5
12		6.28	9.95	6.38	—	—	—	
13	Cienfuegos	—	—	—	—	—	—	
14	—	—	—	—	—	—	—	?
15	—	—	—	—	—	—	—	?
16	Zapata-Corralillo	6.97	10.99	6.99	5.41	6.46	6.5	5.0
		6.41	10.14	6.49				
17	Cochinos	6.37	10.08	6.45	5.07	6.08	6.5	6.5
		5.81	9.23	5.95				
18	—	—	—	—	—	—	—	?
19	—	—	—	—	—	—	—	?
20	Cienfuegos-S.	6.81	9.54	6.13	4.87	5.86	6.0	6.0
	La Grande	5.46	8.69	5.63				
21	Las Villas	7.12	11.23	7.13	5.50	6.56	7.0	6.5 - 7.0
		6.56	10.37	6.63				
21a	Cubitas	6.68	10.50	6.70	5.31	6.34	6.5	< 5.0 - 6.5
		6.10	10.00	6.21				
22	Tuinicú	6.60	10.43	6.66	5.21	6.23	6.5	5.0 - 6.5
		6.04	9.58	6.16				

Tabla 6 (Continúa)

Zona Sismogeneradora		Valores de la Mmáx por:						Método propuesto por los autores
No.	Nombre	M1	Dimensiones		Caracts.		Sismotect.	
1	2		M2	M3	M4	M5	4	5
23	Cienf-Caibarién	6.78	10.72	6.83	5.36	6.39	6.5	?-5.5
		6.30	10.05	6.34	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	?
25	La Trocha	7.39	11.63	7.36	5.65	6.72	7.0	6.5
		6.83	10.70	6.96				
26	Jat. Sur- Yagua.	6.34	10.00	6.52	5.92	6.10	6.5	< 5.0
		5.92	9.25	6.03				
27	Esmeralda	6.31	9.98	6.40	5.84	6.04	6.5	6.5
		5.75	9.13	5.98				
28	Camagüey	7.16	11.28	7.16	5.52	6.58	7.0	6.0
		6.60	10.43	6.66				
29	Tunas	5.93	9.41	6.06	4.83	5.81	6.0	< 5.0
		5.37	8.56	5.56				
30	Baconao	7.68	12.08	7.63	5.82	6.91	7.0	6.0 - 7.0
		7.12	11.23	7.13				
31	Cauto - Sibanicú	6.24	9.88	6.34	5.88	6.88	—	?
		5.68	9.03	5.83				
32	Cauto Norte	7.09	11.17	7.09	5.48	6.53	7.0	6.5
		6.53	10.32	6.59				
33	Cauto - Bayamo	5.75	9.13	5.98	4.72	5.69	—	?
		5.19	8.28	5.39				
34	Gibara	5.93	9.41	6.06	4.83	5.81	6.0	5.0 - 6.0
		5.37	8.56	5.56				
a	Nipe-Cristal	7.85	11.11	7.86	5.46	6.51	7.0	6.5
	Baracoa	6.49	10.26	6.56				
35	Niq-Cacocúm	6.89	10.86	6.91	5.37	6.41	7.0	7.0
	Nipe (Orte)	6.33	10.01	6.41				
36	P. Turq- P. Cristal	7.85	11.11	7.86	5.46	6.51	7.0	6.5
		6.49	10.26	6.56				
37	P. Martí-Toa	6.93	10.93	6.95	5.39	6.43	6.5	6.5
		6.37	10.09	6.45				
38	Gran Piedra	4.98	7.95	5.20	4.28	5.28	5.0	7.0
		4.42	7.10	4.70				
39	Guant-Cacoc	6.30	10.21	6.53	5.60	6.01	6.5	6.5
		5.98	9.67	6.02				
40	Purial	6.09	9.66	6.21	4.92	5.91	6.0	6.5
		5.53	8.81	5.70				
41	Bartlett	10.2	15.94	9.90	7.26	8.51	8.3	8.0
		9.66	15.09	9.40				

Tabla 7
Clasificación por categorías de las zonas sismogeneradoras y
magnitudes máximas asociadas

1ra Categoría.-(A-M_{máx} ≤ 8.0; B-M_{máx} ≤ 7.6)

Gran densidad de epicentros (históricos e instrumentales); límite de placas litosféricas; gradiente neotectónico muy fuerte; amplitud de movimientos neotectónicos del orden de 10 km; potenciales sísmicos de Ms > 7.0; zonas de fallas transcorticales activas de longitudes > 1000 km; reporte de dos terremotos (MSK) con magnitudes máximas estimadas por datos macrosísmicos de 7.6 y 7.3; incluye zonas de rupturas nuevas transversales con longitudes > 100 km y anchos de 15 - 30 km; ancho de la zona de fallas de 100 km; potencia de la zona de fallas de 50 km.

2da Categoría.-(A-6.5 ≤ M_{máx} ≤ 7.0; B-6.0 ≤ M_{máx} < 6.5)

Límites de megabloque - macrobloque y macrobloques; gradiente neotectónico fuerte; zona de fallas activas o zona de alineamientos; zonas de intensidad sísmica de 6, 7, 8 grados (MSK) en mapa de intensidades sísmicas por datos históricos; nudos de alineamientos de 2da categoría en la Unidad Neotectónica Oriental; nudos de alineamientos de 1ra y 2da categorías en la Unidad Neotectónica Occidental; longitud de la zona de fallas < 1000 km; amplitud de los movimientos neotectónicos del orden de 2 km; potencialidad de la zona de fallas de 15 - 20 km; ancho de la zona de fallas de 10 - 20 km; gran número de epicentros macrosísmicos y algunos instrumentales.

3ra Categoría.-(A-5.5 ≤ M_{máx} ≤ 6.0; B- 5.0 ≤ M_{máx} < 5.5)

Unidad Neotectónica Occidental

Gradiente neotectónico moderadamente fuerte; límite de megabloque, macrobloque, mesobloque y excepcionalmente bloque; zona de fallas activas o zona de alineamientos; nudos de alineamientos de 1ra y 2da categorías, excepcionalmente de 3ra; zonas de intensidad sísmica de 5-6 grados (MSK) en mapa de intensidades sísmicas por datos históricos; longitud < 500 km; amplitud de los movimientos neotectónicos del orden de 500 m; epicentros macrosísmicos asociados.

4ta Categoría.-(A-M_{máx} ≤ 5.0; B- M_{máx} < 5)

Unidad Neotectónica Occidental

Límite de macrobloque y bloque; zona de fallas potencialmente activa; zona de alineamientos; zona de intensidades sísmicas de 5 y 6 grados (MSK), excepcionalmente de 4 grados; nudos de alineamientos de 2da categoría; epicentros asociados.

5ta Categoría.-(M_{máx} = ?)

Las restantes zonas de fallas a las que no se pudo asociar evento sísmico alguno, corresponden a lo que comúnmente se llama el "fondo" de sismicidad. La selección de este umbral está fundamentado en la escasez de información sobre la sismicidad de Cuba, y además, con mucha frecuencia es usado en la literatura internacional ante casos semejantes.

Conclusiones

De todo lo discutido anteriormente se puede resumir lo siguiente:

1. A partir de la concepción de la tectónica de placas y mediante la aplicación de métodos geomorfológicos, sumado a resultados geológicos y sismológicos fundamentalmente, fue posible confeccionar el mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000.
2. Se determinó la existencia de dos unidades neotectónicas independientes dentro del megabloque cubano.
3. Las informaciones obtenidas de la interpretación de las imágenes del Landsat permitieron delimitar la extensión de las estructuras neotectónicas, así como seleccionar las zonas de fallas que se consideraron para la representación cartográfica.
4. Los mayores valores de los movimientos neotectónicos del megabloque cubano son:

Sentido	Valor (m)	U. Neotectónica	Localización
Ascenso	1790	Oriental	Macrobloque S. Maestra
Ascenso	1010	Occidental	Macrobloque Guamuha
Descenso	> 1000	Oriental	Macrobloque Cauto-Nipe
Descenso	> 500	Occidental	Macrobloque Los Palacios

Y en el macrobloque Fosa Oriente del megabloque Bartlett, los máximos descensos neotectónicos son del orden de 8 km.

5. Se obtuvo un mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000, valorando las informaciones geológicas, geomorfológicas y sismológicas publicadas, así como los materiales obtenidos por los autores. Consideramos que da un peso fundamental a la información sismológica.
6. Para la región que se analiza, sostenemos que los terremotos con magnitudes mayores o iguales que 8.0, que sólo se han reportado hasta el presente en la parte norte de La Española, sólo pueden ocurrir en esa región, que posee mecanismo focal de subducción sobre un plano de corrimiento por el rumbo, un mayor espesor de la capa sismoactiva y grandes contrastes neotectónicos.
7. En coincidencia con otros autores planteamos que Cuba es una provincia sismotectónica, pero que posee tres unidades sismotectónicas (Suroriental, Orien-

tal y Occidental) con sus estructuras sismogeneradoras de magnitudes máximas desde < 5.0 hasta 8.0.

8. Para el territorio de Cuba no existen unidades sismogeneradoras homogéneas en toda su extensión y fueron determinadas un total de 59 zonas sismogeneradoras en las cinco categorías básicas propuestas.
9. La principal zona sismogeneradora del país es Bartlett - Caimán, (Unidad Sismotectónica Suroriental) lo cual coincide con otros autores, pero por primera vez en el país se considera al sector Pilón - Baconao, como el de mayor categoría.
10. La unidad sismotectónica Oriental pertenece a la zona límite de placas litosféricas de América del Norte y del Caribe y en ella aparecen estructuras sismogeneradoras de segunda categoría.
11. La unidad sismotectónica Occidental está menos influenciada que la Oriental por la estructura Bartlett-Caimán, y posee magnitudes de segunda a quinta categorías.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los Doctores Guillermo Millán y Karoly Breznsyanszki por las consultas y sugerencias brindadas durante la realización del presente trabajo, aunque resaltamos que no necesariamente coinciden nuestros criterios sobre algunos resultados aquí presentados.

Referencias

- [1] Academias de Ciencias de Cuba y Polonia. *Levantamiento geológico de Pinar del Río, escala 1:250,000*. Instituto de Geología y Paleontología, 1978.
- [2] Academia de Ciencias de Cuba. *Levantamiento geológico de La Habana, escala 1:250,000*. Instituto de Geología y Paleontología, 1981.
- [3] Academias de Ciencias de Cuba y Polonia. *Levantamiento geológico de Matanzas, escala 1:250,000*, Instituto de Geología y Paleontología, 1981.
- [4] Academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria. *Levantamiento geológico de Las Villas, escala 1:250,000*, Instituto de Geología y Paleontología, 1981.
- [5] Academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria. *Levantamiento geológico de las provincias Ciego de Avila, Camagüey y Las Tunas, escala 1:250,000*, Instituto de Geología y Paleontología, 1981.
- [6] Academias de Ciencias de Cuba y Hungría. *Levantamiento geológico de las provincias orientales, escala 1:250,000*, Instituto de Geología y Paleontología, 1981.
- [7] Alvarez R. y Kolesova V. "Resultados preliminares de la interpretación del levantamiento magnético de los mares que circundan a Cuba", *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, No. 6, pp. 3-8. A.C.C., 1983
- [8] Alvarez L., Rubio M., Chuy T. y Cotilla M. *Informe final del tema 31001 "Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba*. Archivo Dpto. Sismología, I.G.A., A.C.C., p. 567, 1985.
- [9] Alvarez L., Cotilla M. y Chuy T. "Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional", *Rev. Geofísica*, No. 35; jul.-dic., Inst. Pan. de Geografía e Historia, 1991.
- [10] Belousov T.P., Krestnikov V.N. y Shebalin N.V. "Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de la magnitud máxima", en: *Inv. de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica (Cuba Central)*. Moscú, Nauka, pp. 81-85 (en ruso), 1983.
- [11] *Catálogos de Terremotos Instrumentales de la Región Oriental de Cuba, 1979-1988*. Instituto de Geofísica y Astronomía, A.C.C.
- [12] *Catálogos y Mapas de Epicentros Instrumentales de Cuba*. Departamento de Sismología. Instituto de Geofísica y Astronomía. Academia de Ciencias de Cuba.
- [13] Cobiella J. *Sobre el origen del extremo oriental de la Fosa de Bartlett*. Editorial Oriente. S. de Cuba, 1984.
- [14] Cotilla M., Alvarez L., Chuy T. y Portuondo O. "Peligrosidad sísmica de Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba", *Com. Cient. sobre Geofísica y Astronomía*, No. 2, p. 19. A.C.C., 1988.
- [15] Cotilla M., Alvarez L., Grünthal G. y Rubio M. "Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores", *Resúmenes Jornada I.G.A.*, A.C.C., p. 72, 1989.
- [16] Cotilla M., González E., Díaz J.L. y Cañete C. "Estudio complejo geomorfológico-estructural de la zona marítima del sur de Cuba Oriental", *Rev. Geofísica*, No. 34, ene-jun, pp. 167-176. Inst. Pan. de Geografía e Historia, 1991a.
- [17] Cotilla M., Franzke H.J., Pilarski J., Portuondo O. y Alvarez L. "Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, escala 1:1,000,000", en: *Rev. Geofísica*, No. 35, jul.-dic., pp. 53 - 112. Inst. Pan. de Geografía e Historia, 1991b.
- [18] Cotilla M., Franzke H.J., González E., Comesañas J.L., Arteaga F. y Alvarez L. "Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000", *Comunicación sobre Geofísica y Astronomía*, No. 22, 1991c.

- [19] Chuy T. y Rodríguez M. "La actividad sísmica de Cuba por datos históricos", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 1, pp. 5-17, I.G.A., A.C.C., 1980.
- [20] Chuy T. y González B.E. "Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 1, pp. 18-32, I.G.A., A.C.C., 1980.
- [21] Chuy T., González B.E. y Escalona S. "Información macrosísmica de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 1, pp. 33-57, I.G.A., A.C.C., 1980.
- [22] Chuy T. "Actividad sísmica de la provincia de Holguín", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 2, pp. 20-45, I.G.A., A.C.C., 1982.
- [23] Chuy T. y Pino O. "Datos macrosísmicos de los terremotos en la provincia de Santiago de Cuba", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 2, pp. 47-136, I.G.A., A.C.C., 1982.
- [24] Chuy T., Vorobiova E.O., González B.E., Alvarez L., Pérez E.R., Cotilla M.O., y Portuondo O. "El sismo del 16 de Diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 3, p. 44, I.G.A., A.C.C., 1983.
- [25] Chuy T., González B.E. y Alvarez L. "Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 4, pp. 37-52, I.G.A., A.C.C., 1983.
- [26] Chuy T., González B. y Polo B. "Estimación preliminar de la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba", en: *Resúmenes IV Jornada Científica*, I.G.A., A.C.C., pp. 79-80, 1984.
- [27] Chuy T., González B.E. y Vorobiova E.O. "Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila", *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 5, pp. 61-94, I.G.A., A.C.C., 1984.
- [28] Chuy T., Dzhravaev R.U., Alvarez L., Alvarez H. y Mirzoev K.M. *Informe técnico de las investigaciones macrosísmicas en el territorio de Cuba oriental y en la región de emplazamiento de las variantes* Nos. 2 y 10 de la CEN Holguín, Archivo del Dpto. Sismología, I.G.A., A.C.C., 1988.
- [29] Chuy T. "Epicentros de terremotos por datos macrosísmicos 1551-1983", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Madrid, p. II.3.2., 1989.
- [30] Chuy T. y Alvarez L. "Sismicidad histórica de La Española", *Com. Cient. sobre Geofísica y Astronomía*, No. 16, I.G.A., A.C.C., 1989.
- [31] Chuy T., et al. "Isosistas de terremotos", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*, Madrid, p. II.3.2, 1989.
- [32] Chuy T. (inédito): *Atlas de isosistas*.
- [33] Díaz J.L. *Morfoestructura de Cuba Occidental y su dinámica*, Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas. Inst. de Geografía, A.C. de la URSS, 1985.
- [34] Egger D.H. "Ultrabasic rock from Cayman Trough, Caribbean Sea", *Geol. Soc. of Am. Bull.*, Vol. 84, pp. 2133-2138, 1973.
- [35] González C.E., Cañete C., Díaz J.L. y Melchor R. *Mapa Morfoestructural de Cuba. Escala 1:250,000*, Centro de Investigaciones Geológicas, M.I.N.B.A.S., 1983.
- [36] González E., Cañete C., Díaz J.L., Pérez L. y Cotilla M. *Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250,000*, Inst. de Geología y Paleontología, M.I.N.B.A.S., 1987.
- [37] Hernández J.R., Lilienberg D.A. y González R. "Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes", *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, No. 12, pp. 36-48, A.C.C., 1986.
- [38] Holcombe T.L., Vogt P.R., Mathews J.E. and Murchinsan R.R. "Evidence for sea-floor spreading in the Cayman Trough", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 20, pp. 357-371, 1973.
- [39] Ipatenko S., et al. "Mapa gravimétrico de la isla de Cuba y los mares adyacentes. Anomalías de la fuerza de gravedad en la corrección de Bouguer", *Informe*, Fondos del Ministerio de Minería y Geología, 1969.
- [40] Ipatenko S., et al. "Sobre las anomalías gravimétricas en Cuba y su interpretación geológica", *Rev. Tecnológica*, No. 2, pp. 40-46, Serie Geofísica, vol. 9, ACC, 1971.
- [41] Iturralde M.A. "Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platóformico de Cuba", *Informe científico-técnico No. 20*, I.G.P., A.C.C., 1977.
- [42] Iturralde M.A. "Aspectos geológicos de la Biogeografía de Cuba", *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, No. 5, pp. 85-100, A.C.C., 1982.
- [43] Jain V.E. *Geotectónica General. Partes I y II*, Editorial MIR, Moscú, 1980.
- [44] Kartashov I.P., et al. *El Antropógeno en Cuba*, Editorial Nauka, Moscú. vol. 356, p. 145 (en ruso), 1981.
- [45] Kuznetsov V.I., Snegrieva O.V., Paz S., Shein V.S., Kleschov K.A. y Bogdanov M.M. "Historia del desarrollo tectónico de Cuba y su plataforma marina", en: *Resúmenes de la Jornada Científica del Ministerio de Minería, Combustibles y Metalurgia*, Dic. 19-21, tomo I, Dirección General de Geología y Geofísica, 1974.
- [46] Lilienberg D.A., "Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago cubano", *Ser. Espeleol. Carsol.*, No. 48, pp. 1-55, 1973.
- [47] Lilienberg D.A., Díaz P., Díaz J.L., Hernández J.R. y Venereo A. (inédito): *Nuevos datos sobre las correlaciones entre los movimientos verticales recientes, la sismicidad y la diferenciación morfoestructural de Cuba Oriental*. I.G., A.C.C.
- [48] Lilienberg D.A., Díaz J.L. y Venereo A. "Contribución al estudio de los movimientos tectónicos recientes de Cuba", *Ser. Geográfica*, No. 16, pp. 1-12, 1976.
- [49] Mann P. and Burke K. "Neotectonics of the Caribbean region", *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 22, No. 4, pp. 309-392, November, 1984.

- [50] McCann W.R. "On the earthquake hazards of P. Rico and the Virgin Islands", *Bull. of the Seism. Soc. of Am.*, vol. 75, No. 1, pp. 251-262, 1985.
- [51] Meyerhoff A.A., *Bartlett fault system, Age and Offset*, Trans. III, Caribbean Geol. Conf., pp. 1-9, 1966.
- [52] Molnar P. and Sykes L.R. "Tectonics of the Caribbean and Middle American Regions from focal mechanism and seismicity", *Bull. Geol. Soc. of Am.*, vol. 80, No.9, pp. 1639-1684, 1969.
- [53] Mossakovsky A., Pusharovskiy Yu., et al. *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500,000*, I.G.P., A.C.C., 1987.
- [54] Oliva G., Gracia E. y Prol J.L., "Anomalías de Bouguer", en: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Madrid*, p. II.3.4, 1989.
- [55] Orbera L., Cabrera M., Krestnikov N.V., Belousov T.P., Strangue D., Arias A., López M.A. y Marquetti M.C., "Neotectónica de Cuba y plataforma marina", Resúmenes y Programa del Primer Congreso Cubano de Geología. Simposio sobre la Geología del Caribe Occidental, Reunión de los proyectos 165, 242 y 262 del PICG, Ciudad de La Habana, del 29-31, 1989.
- [56] Orbera L., "Informe sobre las condiciones sismotectónicas de las provincias orientales para la ubicación de la CEN Norte de Holguín", *Inf. Fondos de la Emp. Integral de Proyectos para la Ind. Básica*, M.I.N.B.A.S., p. 55, 1980.
- [57] Orbera L., "Estudio sismotectónico de la región occidental", *Inf. Fondos de la Emp. Integral de Proyectos para la Ind. Básica*, M.I.N.B.A.S., p. 62, 1983.
- [58] Orbera L., Ramírez R., López M., Arias A., Marquetti M. y Crespo R., "Las investigaciones sismotectónicas y la estabilidad de las construcciones energéticas en Cuba", en: *Primer Congreso Internacional sobre Desastres Naturales*, 27- 30 ene., Habana. Resúmenes, Comisión de Sismología, pp. 45- 46, 1987.
- [59] Pérez C., Oro J., Formell F., Pérez L., Trifonov V.G. y Makarov G.V. *Aplicación de la Teledetección en el estudio de la Geología de Cuba*, Tema 314.10, I.G.P., A.C.C., 1985.
- [60] Rubio M. *The assesment of seismic hazard for the Republic of Cuba*, Proceedings of the 3rd. International Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk, Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, pp. 424-431, 1985.
- [61] Sanz C. y López C. "Fuentes sísmicas en el ámbito bético-rifeño", *Rev. de Geofísica*, No. 44, pp. 175-198, España, 1988.
- [62] Shein V.S., Smirnov V.N., Kleschov K.A. y Orbera L. *Esquema de neotectónica de Cuba y su plataforma marina, escala 1:2,000,000*, Ministerio de Geología y Geofísica, 1975.
- [63] Shein V., et al. *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500,000*, Centro de Investigaciones Geológicas, M.I.N.B.A.S., 1985.
- [64] Soloviev O.N., Skidan S.A., Skidan I.K. y Pankratov A.P. "Mapa gravimétrico de la República de Cuba", *Rev. Tecnológica*, vol. II, No. 2, pp. 8-19, 1963.
- [65] Soloviev O.N., Skidan S.A. y Pankratov A.P., *Mapa magnetométrico de Cuba (comentarios sobre el mapa magnetométrico de Cuba)*, Inst. Cubano de Recursos Minerales, Dpto. Científico de Geología, vol. 2, No. 4, pp. 5-23, 1964.
- [66] Sykes L.R., McCann W.R. and Kafka A.L., "Motion of the Caribbean plate during the last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements", *JGR*, vol. 87, No. 813, pp. 10656-10676, 1982.