



Mapa de Zonas Sismogeneradoras en Cuba.

MARIO OCTAVIO COTILLA RODRIGUEZ

Departamento de Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense de Madrid.

JOSE LEONARDO ALVAREZ GOMEZ

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba

Cotilla Rodríguez, M.O. & Álvarez Gómez, J.L. (1998): Zonas Sismogeneradoras en Cuba. - GEOLOGIA COLOMBIANA, 23, pgs. 97-106, 3 Figs., 3 Tablas, Santafé de Bogotá.

Resumen: Se presenta en forma de mapa y se discute una nueva propuesta de distribución de 19 zonas sismogeneradoras en Cuba que toma en consideración, para la etapa contemporánea del desarrollo geológico, tres elementos principales: las características geólogo-tectónicas, las condiciones geodinámicas y la actividad sísmica del megabloque cubano y de su entorno inmediato. Una nueva versión del sistema de clasificación de zonas sismogeneradoras (de 4 categorías) es expuesta y aplicada.

Palabras clave: *Geodinámica, unidades neotectónicas, unidades sismotectónicas, zonas sismogeneradoras, Cuba.*

Abstract: A new distribution of seismogenetic zones in Cuba is presented and discussed. Three main conditions are taken into account: tectonic-geological characteristics, geodynamic conditions and seismic activity of the Cuban block and surrounding areas. A new version of the classification system of Cuban seismogenetic zones is shown.

Key words: *Geodynamic, neotectonic units, seismotectonic units, seismogenetic zones, Cuba.*

INTRODUCCION

Para la inmensa mayoría de los países en vías de desarrollo es común que un grupo de especialistas, nacionales y extranjeros, preparen para un objetivo económico-industrial de gran importancia, mapas o esquemas de zonas sismogeneradoras. La metodología que por lo general es aplicada resulta ser, en el mejor de los casos, una extrapolación comprobada de otro país al territorio en cuestión, mientras que el tiempo dedicado a los trabajos de campo es en la mayoría de los casos muy limitado e inclusive hasta insuficiente. Ese ha sido el caso de Cuba y las metodologías aplicadas, rusa y alemana.

En los finales de la década del 80 los autores, junto con otros colegas, modificando un patrón occidental adaptado por ellos a las condiciones cubanas y que se aparta diametralmente del ruso ya mencionado, confeccionaron el primer mapa sismotectónico del país a escala 1:1,000,000 (COTILLA *et al.* 1991a). En él están representados, entre otros elementos, los ejes principales de las zonas sismogeneradoras, obtenidos luego de un complejo

proceso de estudios neotectónicos, de percepción remota y de constatación con la información de sismicidad. Para ese material se desarrolló y aplicó por primera vez -dadas las condiciones de Cuba-, un sistema para la clasificación de las zonas sismogeneradoras.

Un material geocientífico de estas características resulta ser un documento básico para estudios de peligrosidad sísmica (o riesgo sísmico) y en raras ocasiones se alcanza un resultado definitivo; por ello es necesario perfeccionarlo sistemáticamente a partir de nuevos datos y métodos. *Ese es el objetivo del presente trabajo.*

MARCO GEODINAMICO DE CUBA

Cuba es un megabloque en ascenso diferencial entre sus partes, que se encuentra espacialmente localizado, desde al menos el Eoceno Superior, en el borde meridional de la placa litosférica de Norteamérica que interacciona con la placa Caribe (ITURRALDE 1992). Tal interacción se expresa a través del sistema de fallas de transformación Bartlett-Caimán, con epicentros de terremotos de diferen-

te magnitud, y que constituye el límite más activo de la parte norte del Caribe (MANN & BURKE 1984) (Fig. 1a).

Este límite litosférico se caracteriza por una variación lateral en sus mecanismos focales, desde transcurrente sinistral a inverso (Fig. 2). En particular para el borde de Cuba suroriental, aunque los mecanismos son heterogéneos, se evidencia la transcurrencia hacia la izquierda de la placa Norteamérica con relación a la placa del Caribe.

La estructura geológica contemporánea de Cuba está definida por un sistema de bloques de estilo horst y graben en una tendencia de movimientos verticales oscilatorios desde el Eoceno Superior (ITURRALDE 1977). (Fig. 1b). Con el surgimiento de esta estructura quedó redefinido el plano geológico compresivo anterior de arcos de islas volcánicas (substrato plegado) incluidas sus fallas, por lo que las nuevas rupturas poseen características (cinemáticas, dinámicas y morfológicas) propias, muy diferentes de las de etapas anteriores (ITURRALDE 1992). Otros autores (ALVAREZ 1990; ALVAREZ 1992; DÍAZ 1985; MILLÁN & SOMIN 1981; PARDO 1993; PROL *et al.* 1993; QUINTAS *et al.* 1994; SHERBAKOVA *et al.* 1975) han comprobado por diferentes vías la existencia del mecanismo oscilatorio de estos bloques.

Por su parte COTILLA *et al.* (1991b) propusieron en este neoplano la presencia en Cuba de dos unidades neotectónicas, Occidental y Oriental, las cuales poseen una marcada diferenciación en cuanto a características tectónicas, geomorfológicas, geofísicas y sismológicas (Fig. 3a). El límite entre ellas es un sistema de fallas de dirección NE denominado Cauto-Nipe, que se articula diferentemente al sur y al norte con los sistemas de fallas (límites externos del neoplano) Bartlett-Caimán y Surcubana, y Nortecubana, respectivamente (QUINTAS *et al.* 1994). La unidad occidental ocupa la mayor extensión superficial y su actividad neotectónica es significativamente menor que la de la oriental; también está más alejada del límite de placas antes mencionado de Bartlett-Caimán. En atención al conjunto de características neotectónicas y a la distribución espacio-temporal y energética de los sismos COTILLA *et al.* (1991a) delimitaron tres unidades sismotectónicas (Occidental, Oriental y Suroriental), que coinciden geográficamente con las unidades neotectónicas (homónimas) y el límite de placas, respectivamente. Los resultados geofísicos de PROL *et al.* (1993) sugieren la existencia de estas tres unidades en Cuba.

En el megabloque cubano son los sistemas de fallas submarinas (Bartlett-Caimán, Nortecubana y Surcubana) los principales por el nivel de actividad, las dimensiones y la función de límites externos; mientras que para la parte emergida hay otros sistemas menores que constituyen límites de bloques de distinta disposición, geometría y dimensiones (ALVAREZ 1992; CALAIS & MERCIER DE LÉPINAY 1991;

DÍAZ 1985; PROL *et al.* 1993). Estos elementos son de dos direcciones principales con relación a la estructura longitudinal de Cuba: NE (transversal) y ONO-NO (longitudinal) (MOSSAKOVSKY *et al.* 1989; SHEIN *et al.* 1985). Las de primer tipo, por lo general, no se expresan en el relieve (ej. Cauto - Nipe), sino que están cubiertas por importantes espesores de sedimentos y las del otro tipo, aunque expresadas por sectores, están limitadas por las primeras (desde el Eoceno Medio) (LINARES *et al.* 1986). Al respecto de los sistemas disyuntivos menores, no hay, hasta el momento, coincidencia entre los especialistas.

APUNTES DE LA SISMICIDAD DE CUBA

En los informes de ALVAREZ *et al.* (1985, 1990) se recogen en detalle los datos y características de la sismicidad de Cuba. De ellos es factible concluir que en el borde suroriental de la isla se han producido los eventos sísmicos más fuertes. En la Fig. 3a aparecen algunos de estos sismos.

La ciudad de Santiago de Cuba, ubicada en la región suroriental, está considerada como el área de mayor peligrosidad sísmica del país, ya que ha sido afectada, desde su fundación, por dos terremotos {11.06.1766 y 20.08.1852} de 9 grados de intensidad (MSK) y por muchos otros de menor intensidad. Esta situación se explica a partir de la presencia del límite de placas Caribe-Norteamérica y en consecuencia se define la sismicidad como del tipo de borde de placas (o entreplacas).

En general, las manifestaciones de la sismicidad no se limitan a la región suroriental sino que están en todo el territorio de Cuba, e históricamente son muchas las poblaciones que reportan haber sentido los efectos de los terremotos (Fig. 3a). Sin embargo, tanto la intensidad como la frecuencia de repetición son mucho menores hacia el norte y el oeste del borde suroriental. Esa parte, la de mayor extensión superficial, está definida como de sismicidad de interior de placas.

El evento sísmico más fuerte y reciente (perceptible en Cuba) fué el 25.05.1992 ($M_s=6,9$ y $h=23$ km), determinándose que el epicentro estaba en $19,613$ N y $-77,872$ W; esto es, la parte más occidental del borde suroriental, inmediaciones de Cabo Cruz, lugar donde se produce la intersección de los sistemas de fallas Bartlett-Caimán, Surcubana y Cauto-Nipe (Fig. 3b).

MAPA DE ZONAS SISMOGENERADORAS

A- Fundamentación

Para la proposición de las zonas sismogeneradoras (o sismogénicas) de la provincia sismotectónica Cuba, se consideró que ante las experiencias de los terremotos del

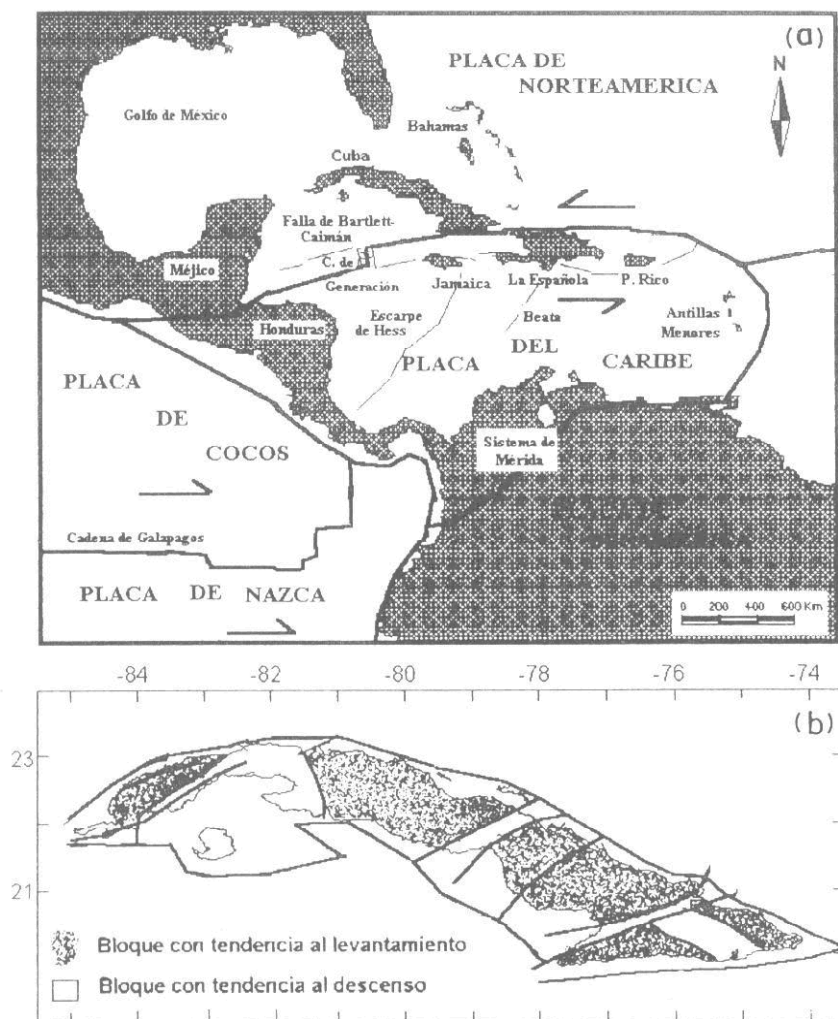


Figura 1.- (a) Esquema de la tectónica del Caribe y (b) de la estructura geológica contemporánea de Cuba.

16.12.1982 ($M_s=5,0$) de Torriente-Jagüey Grande (T-JG) y del 09.03.1995 ($M_s=2,5$) de San José de las Lajas (SJLL), los resultados geológicos y tectónicos (ACADEMIAS DE CIENCIAS DE CUBA Y POLONIA 1981; ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA 1981; LINARES *et al.* 1986; MOSSAKOVSKY *et al.* 1989; SHEIN *et al.* 1985) y los sismotectónicos con aplicación de la metodología rusa (ORBERA 1983; ORBERA *et al.* 1990; GONZÁLEZ *et al.* 1994) no resultan en modo alguno suficientes y mucho menos confiables (COTILLA 1993).

De otra parte, era conocido que la propuesta del mapa sismotectónico de Cuba por COTILLA *et al.* (1991a) inclu-

yó elementos sismogeneradores que sí explican el evento de 1982 en T-JG y contempló, anticipadamente, la posibilidad de ocurrencia del sismo de SJLL en 1995. Es necesario añadir que otros autores (ORBERA *et al.* 1990; GONZÁLEZ *et al.* 1994) no tomaron en consideración esos elementos en sus estudios de sismotectónica e incluso tampoco GONZÁLEZ *et al.* (1995) en las investigaciones especiales realizadas con posterioridad al terremoto de San José de las Lajas los refieren, por lo que queda este terremoto, para ellos, sin explicación.

Con tales antecedentes, se acometió un extenso trabajo de revisión

crítica, particular y conjunta, de todos los materiales publicados e inéditos de corte geológico, geomorfológico, geofísico, sismotectónico, neotectónico y sismológico para conformar un esquema de tipo neotectogénico que permitiese mejorar el mapa sismotectónico de 1991 y enfrentar por primera vez, en Cuba, el análisis de la fuente sísmica (COTILLA *et al.* 1994). La revisión reportó, entre otras cosas, lo siguiente: 1- existen no pocos errores en los estudios sismotectónicos desarrollados con la aplicación directa de la metodología rusa; 2- no hay suficientes investigaciones de tipos cinemático y dinámico para las fallas propuestas; 3- los sistemas de fallas delimitados en cada trabajo, incluidos los de tipo sismotectónico de un mismo autor tienen grandes diferencias entre sí, sin argumentación del por qué; 4- no es posible emplear las fallas delimitadas con métodos geofísicos debido a graves errores cartográficos y de procesamiento; 5- aunque los trabajos sismotectónicos consignan extensas investigaciones de campo, en ninguno se han realizado trincheras para evaluación de fallas; 6- los datos sismológicos han sido manejados indiscriminadamente en las investigaciones sismotectónicas; y 7- las isosistas de terremotos han sido modificadas significativamente sin argumentación y sin un tratamiento estadístico de la información de base (COTILLA *et al.*, 1994).

Las deficiencias observadas en todos los materiales sometidos a revisión crítica permitieron excluirlos aquí y considerar principalmente los elementos de geodinámica, mencionados en el epígrafe anterior.

En la base del trabajo se tiene que el empleo de imágenes de satélites, para la identificación de zonas de fallas y nudos activos capaces de generar terremotos, resultó ser efectivo en el caso de TJG (CHUY *et al.* 1983); así como que los terremotos de las partes emergidas, al menos hasta el momento, responden a un mecanis-

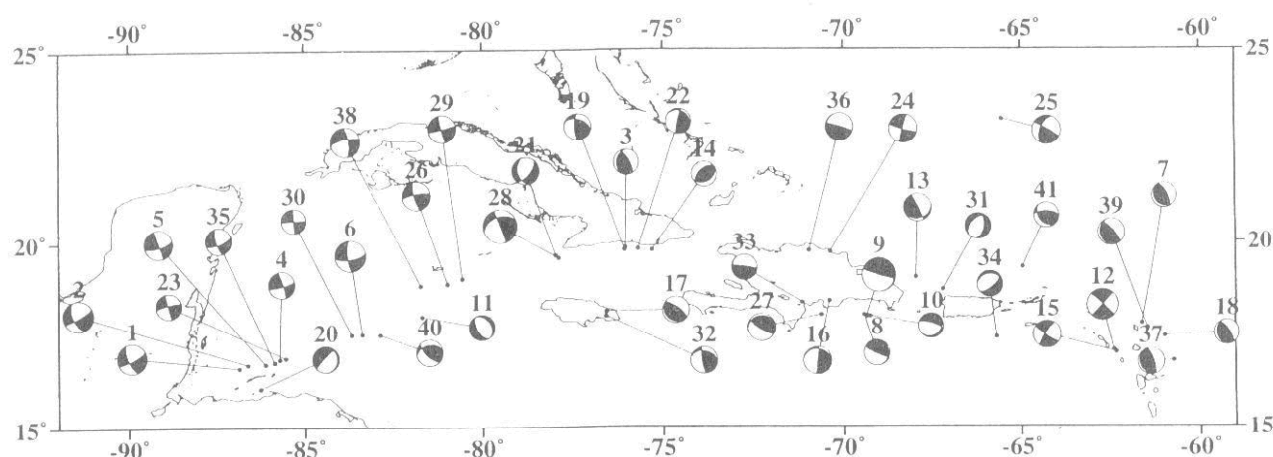


Fig. 2. Representación de las soluciones de mecanismos focales en Cuba Suroriental (tomados del NEIS).

mo de nudos sismoactivos (COTILLA *et al.* 1988), lo que fue comprobado más recientemente con el terremoto de SJLL. También DÍAZ *et al.* (1990) aseguran que la distribución de los lugares de surgimiento de los terremotos en Cuba Occidental indica una estrecha interrelación del plano morfoestructural con los movimientos verticales recientes en las zonas de fallas y nudos. Este mecanismo de nudos sismoactivos se evidencia también en la zona de Bartlett-Caimán, y en particular en el sector de Cuba Suroriental

(Cabo Cruz-Punta de Maisí), a partir de la solución de los mecanismos focales del NEIS y de los resultados de PERROT *et al.* (1997).

De esta forma, el mapa de zonas sismogeneradoras (Fig. 3b) se atiene, estrictamente, a: 1- la localización espacio-temporal-energética de la provincia sismotectónica cubana en el borde meridional de la placa litosférica de Norteamérica (ALVAREZ *et al.* 1985); 2- la neoestructura de Cuba (COTILLA *et al.* 1991b; ITURRALDE 1977); 3- la

TABLA 1

No	DENOMINACION (siglas)	CATEGORIA NEOTECTONICA	LIMITE DE	UBICADA EN LA PARTE
1	Bartlett-Caimán (BC)	1	placa litosférica	marina
2	Nortecubana (NC)	2	megabloque	marina
3	Surcubana (SC)	2	megabloque	marina
4	Cauto-Nipe (CN)	2 - 3	unidades sismotectónicas	tierra-mar
5	La Trocha (T)	3	macrobloque	tierra-mar
6	Pinar (P)	3	macrobloque	emergida
7	Las Villas (V)	3	macrobloque	emergida
8	Guane (G)	3	mesobloque	tierra-mar
9	Cochinos (CO)	4	mesobloque	tierra-mar
10	Hicacos (H)	4	mesobloque	tierra-mar
11	Camagüey (C)	4	mesobloque	tierra-mar
12	Cubitas (CU)	4	mesobloque	tierra-mar
13	Purial (PU)	4	mesobloque	tierra-mar
14	Cienfuegos-Santa Clara (STA)	4	mesobloque	emergida
15	Tuinicú (TU)	4	macrobloque	emergida
16	Consolación del Norte (C)	5	mesobloque	emergida
17	Guamá (G)	5	mesobloque	emergida
18	Baconao (B)	3 - 4	mesobloque	tierra-mar
19	Habana-Cienfuegos (HC)	5	mesobloque	emergida

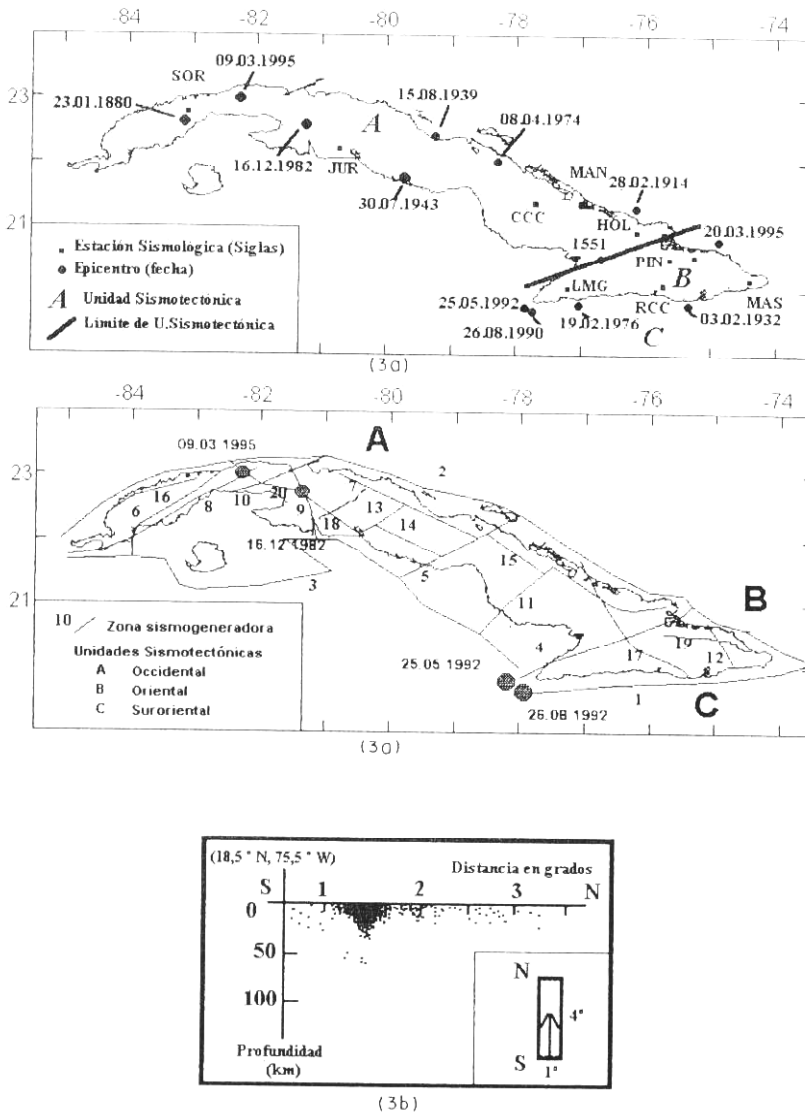


Fig. 3. (a) Unidades neotectónicas y sismotectónicas de Cuba con algunos epicentros importantes.
(b) Mapa de zonas sismogeneradoras (escala original 1:1.000.000) y perfil de eventos sísmicos.

regionalización sismotectónica de Cuba (COTILLA *et al.* 1991b); 4- la jerarquía de los sistemas de fallas delimitados en cuanto a: función, dinámica y dimensiones (COTILLA 1993).

B- Zonas sismogeneradoras (ZS)

Las ZS consideradas en el mapa son las que ofrecen un menor margen de duda, lo cual constituye una diferencia significativa con respecto a la versión anterior extraída del mapa

sismotectónico de 1991. En la Tabla 1 (tomada de COTILLA *et al.* 1994) se las relaciona de acuerdo con: la denominación de COTILLA *et al.* 1991a); la jerarquía neotectónica (orden de importancia decreciente del 1 al 5) (GONZÁLEZ *et al.* 1989); la función como límite de estructuras neotectónicas (GONZÁLEZ *et al.* 1989 y COTILLA *et al.* 1991b) y su ubicación geográfica general (COTILLA 1993).

Estas 19 zonas no coinciden necesariamente con las propuestas de

ORBERA (1983), ORBERA *et al.* (1990), COMISIÓN AD-HOC (1991) y GONZÁLEZ *et al.* (1994). Ellas se discuten extensamente en COTILLA (1993) y COTILLA *et al.* (1991a, 1994).

Atendiendo a la precisión de los datos sismológicos y las características obtenidas de los sistemas de fallas (COTILLA 1993) se considera que el ancho de las zonas sismogeneradoras, aunque irregular es de 10 km, excepto para Bartlett-Caimán, que dada su potencialidad alcanza 30 km. Esta posición es coherente con los resultados geofísicos de PROL *et al.* (1993), sismotectónicos de COTILLA & FRANZKE (1994), isostáticos de CUEVAS (1994) y geodinámicos de CALAIS & MERCIER DE LÉPINAY (1991). También por esas mismas razones y por la jerarquía de los sistemas disyuntivos activos, en las áreas de intersección siempre prevalece el de mayor categoría (COTILLA & FRANZKE 1994); además se sostiene, al igual que TRIFONOV *et al.* 1981), la heterogeneidad de las fallas, por lo que no pueden ser consideradas con idéntica categoría sismogénica en su extensión total. Esto en parte se comprueba a partir de los resultados obtenidos por HERNÁNDEZ *et al.* (1986) para Cuba Sudoriental, en los que identifican no sólo la diferenciación estructural en bloques, sino también las diversas zonas de articulación de fallas y morfoalineamientos activos.

La profundidad de las ZS cubanas ha sido tratada por ALVAREZ *et al.* (1991) al momento de proponer una regionalización sísmica. También GONZÁLEZ & VOROBIOVA (1989) evaluaron estadísticamente la distribución de las profundidades de los terremotos en relación con la magnitud; sin embargo, sobre la base de los resultados de COTILLA *et al.* (en prensa) se considera con más certidumbre que la profundidad de 20 km es muy adecuada para las zonas sismogeneradoras cubanas, con la excepción de la de Bartlett-Caimán que es de 50 km (BOWIN 1968; CALAIS & MERCIER DE

LÉPINAY 1991) como se muestra en la Fig. 3b.

SISTEMAS DE CLASIFICACION

A- Descripción

La preparación de un mapa de zonas sismogeneradoras cuando no se posee un mapa sismotectónico, con el propósito de utilizarlo en ulteriores estimaciones de la peligrosidad sísmica, obliga a la asignación de magnitudes máximas a cada una de ellas (BUNÉ

et al. 1971). Para el proceso de su diseño y confección se requiere fundamentalmente de datos concretos y confiables acerca de: 1- la sismicidad (histórica e instrumental); 2- las fallas (activas, potencialmente activas y cubiertas); y 3- los sistemas de bloques (COTILLA & ALVAREZ 1991). Para el caso que nos ocupa, estos elementos se obtuvieron de COTILLA *et al.* 1994).

Como antecedente está un sistema para la clasificación de zonas sismogeneradoras cubanas de COTILLA & ALVAREZ (1991) en cinco categorías, que coincide, grandemente, con la propuesta posterior de la COMISIÓN AD HOC

TABLA 2

CATEGORIA	CARACTERISTICAS
PRIMERA	<p>GEOLOGICAS: Estructuras disyuntivas con categoría neotectónica 1. Límite de placas litosféricas; zonas de fallas transcorticales activas de longitudes superiores a 1000 km; potencia y ancho de las zonas de fallas de 50 y 100 km, respectivamente; amplitud de los movimientos neotectónicos verticales del orden de 10 km; gradiente neotectónico muy fuerte; presencia de zonas de fallas nuevas transversales de 100 km y 15 - 30 km de largo y ancho, respectivamente, y de nudos de fallas de nivel regional.</p> <p>SISMOLOGICAS: Potencial sísmico $M_s > 7,0$; gran concentración de epicentros instrumentales; reportes de dos sismos de IX grados de intensidad (MSK) y de varios de VIII y VII.</p> <p>MAGNITUD: [Sector A: $7,5 < M_s \leq 8,0$] y [Sector B: $7,0 < M_s \leq 7,5$]</p>
SEGUNDA	<p>GEOLOGICAS: Límite de megabloque, de unidades neotectónicas y excepcionalmente de macrobloques; longitudes inferiores a 1000 km; potencialidad de la zona inferior o igual a 20 km; ancho de la zona 10-20 km; amplitud de movimientos neotectónicos verticales del orden de 2 km; gradiente neotectónico fuerte; presencia de nudos de fallas de primera y segunda categorías (relativas al neoplano cubano). Estructuras disyuntivas de categorías neotectónicas 2 y 3.</p> <p>SISMOLOGICAS: Número significativo de epicentros de terremotos instrumentales; epicentros macrosísmicos asociados.</p> <p>MAGNITUD: [Sector A: $6,5 < M_s \leq 7,0$] y [Sector B: $6,0 < M_s \leq 6,5$]</p>
TERCERA	<p>GEOLOGICAS: Límite de mesobloques y excepcionalmente de macrobloques; longitudes inferiores a 500 km; amplitud de los movimientos neotectónicos verticales del orden de 500 m; gradiente neotectónico moderado; presencia de nudos de fallas de segunda y tercera categorías (relativas al neoplano cubano). Estructuras neotectónicas disyuntivas de categorías 2 y 3.</p> <p>SISMOLOGICAS: Epicentros de terremotos (instrumentales y macrosísmicos) asociados.</p> <p>MAGNITUD: [Sector A: $5,5 < M_s \leq 6,0$] y [Sector B: $5,0 < M_s \leq 5,5$]</p>
CUARTA	<p>GEOLOGICAS: Límite de mesobloques y excepcionalmente de macrobloques; longitudes inferiores a 200 km; amplitud de los movimientos neotectónicos verticales menor de 200 m; presencia de nudos de fallas de tercera categoría (relativa al neoplano cubano).</p> <p>SISMOLOGICAS: Algunos epicentros de terremotos.</p> <p>MAGNITUD: $M_s \leq 5,0$</p>

(1991) constituida a efectos de realizar estudios sísmológicos para el emplazamiento de la Central Hidroeléctrica Toa-Duaba de Cuba oriental. Sin embargo, para el presente sistema se decidió considerar, únicamente, cuatro categorías, ya que la precisión de las determinaciones epicentrales es adecuada hasta $M_s = 5,0$ (ALVAREZ *et al.* 1990). Además, para esta clasificación es factible establecer una diferencia en las categorías 1, 2 y 3 en dos niveles (A y B) atendiendo fundamentalmente al gradiente neotectónico, definido en COTILLA *et al.* (1991b). La Tabla 2 distingue muy bien las estructuras sismogeneradoras cubanas considerando para cada una de las cuatro posibles

categorías, tres aspectos: dos identificativos (geología y sísmología) y uno de asignación (magnitud).

B- Aplicación

En la Tabla 3e se muestra sintéticamente la aplicabilidad del sistema de clasificación a las 19 ZS anteriormente relacionadas.

Insistimos en que una zona sismogeneradora, aunque clasificada como perteneciente a una categoría sismotectónica determinada, puede tener sectores o tramos de distinto nivel en la misma categoría y otros de ca-

TABLA 3

CATEGORIA SISMOTECTONICA	NOMBRE DE LA ZONA SISMOGENERADORA (NUMERO DE IDENTIFICACION)
1A	Bartlett-Caimán [sector Pílon-Baconao] (1)
1B	Bartlett-Caimán [sectores Pílon-Cabo Cruz y Baconao-Punta de Maisí] (1)
2A	Nortecubana [sectores Nipe-Punta de Maisí, oeste de Cárdenas-La Trocha, y Cabo de San Antonio-La Habana] (2) Surcubana [sector Cauto-Camagüey] (3) Cauto-Nipe (4) Pinar [sector central] (6) Las Villas [sector este] (7) Guane (8) Baconao [sector sureste] (18)
2B	Nortecubana [sectores La Habana-Cárdenas, y La Trocha-Nipe] (2) Surcubana [sector Cienfuegos-Camagüey] (3) Cubitas [sector este Camagüey-Nipe] (12)
3A	La Trocha (5) Pinar [sectores este y oeste] (6) Cochinos (9) Hicacos (10) Camagüey (11) Cubitas [sector oeste] (12) Purial (13) Cienfuegos-Santa Clara (14) Tuinicú (15) Baconao [sector noroeste] (18) Habana-Cienfuegos (19)
3B	Las Villas (7) [sector oeste] Consolación del Norte (16) Guamá (17)
4	Surcubana (Pinar-Cienfuegos) (3)

tegorías inferiores. Evidentemente, la probabilidad de ocurrencia de sismos no es la misma para cada una de las zonas sismogeneradoras, mientras que cualquier sector de ellas sí es equiprobable (ALVAREZ *et al.* 1990; COTILLA *et al.* 1994).

Este material fué utilizado como base en una investigación sobre peligrosidad sísmica por RODRÍGUEZ (1996), donde obtuvo un conjunto de mapas y gráficos que, en su opinión, mejora los estimados hasta ahora alcanzados.

CONCLUSIONES

1- *Los sistemas de fallas activas en Cuba son heterogéneos y por lo general tienen un nivel de estudio muy bajo para realizar evaluaciones sismotectónicas con un alto margen de confiabilidad.*

2- *Se obtuvo un nuevo mapa de zonas sismogeneradoras de Cuba que constituye una versión mejorada del obtenido por los autores en 1991, en el que predominan en cantidad las categorías 2 y 3.*

3- *Se simplificó el sistema para la clasificación de las zonas sismogeneradoras cubanas, propuesto en 1991. Esta nueva versión se corresponde mejor que la anterior con los sismos ocurridos y reportados sobre dichas zonas.*

AGRADECIMIENTOS

La financiación del trabajo fue en parte por la Dirección General de Enseñanza Superior, del Ministerio de Educación y Cultura de España (Ref. SAB 995 - 0302). Al Dr. Guillermo Millán Trujillo por sus observaciones. A los colegas del Departamento de Geofísica de la Universidad Complutense de Madrid por el apoyo material para la realización del trabajo y en particular a los Profesores Miguel Herraiz Sorchaga y Diego Córdoba Barba por la revisión del manuscrito y la discusión del contenido del trabajo.

REFERENCIAS

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA (1981): Levantamiento geológico de la provincia La Habana, escala 1:250,000.- Instituto de Geología y Paleontología.
- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA Y POLONIA (1981): Levantamiento geológico de la provincia Matanzas, escala 1:250,000.- Instituto de Geología y Paleontología.
- ALVAREZ, R. (1990): Investigaciones de la estimación espacio-temporal del campo geomagnético del archipiélago cubano.- Tesis de Candidato a Doctor, Universidad Estatal de Leningrado, Academia de Ciencias de la U.R.S.S., p. 200 (en ruso).
- ALVAREZ, H. (1992): Mecanismos tectónicos y desarrollo estructural de la Sierra de los Organos.- Revista Minería y Geología, 1, 1, 11-18.
- ALVAREZ, L.; CHUY, T. & COTILLA, M. (1991): Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional.- Revista Geofísica, Inst. Pan. de Geografía e Historia, 35:125-150.
- ALVAREZ, L.; COTILLA, M. & CHUY, T. (1990): Sismicidad de Cuba. Tema 430.03.- Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- ALVAREZ, L.; RUBIO, M.; CHUY, T. & COTILLA, M. (1985): Informe final del tema 31001: «Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba».- Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba. p. 500, 2 T.
- BOWIN, C. (1968): Geophysical study of the Cayman Trough.- Jour. Geoph. Res., 73, 16, 5159-5173.
- BOWIN, C. (1976): Caribbean gravity field and plate tectonics.- Geol. Soc. of Am. Spec. Paper, 169-179.
- BUNE, V.I.; VUDENSKAYA, N.A.; GZOVSKII, M.V. & GORBUNOVA, I.V. (1971): Sismicidad y regionalización sísmica del Asia Central. En: El terremoto de Tashkent del 26 de abril de 1966. II, 1, 347-369.- Instituto de Física del Tierra, Academia de Ciencias de la U.R.S.S. (en ruso).
- CALAIS, E. & MERCIER DE LEPINAY, B. (1991): From transtension to transpression along the Northern Caribbean Plate.- Tectonophysics, 186, 329-350.
- CHUY, T.; VOROBIOVA, E.; GONZALEZ, B.; ALVAREZ, L.; PEREZ, E.; COTILLA, M. & PORTUONDO, O. (1983): El sismo del 16 de diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande.- Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba, 3, p. 44. Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- COMISION AD HOC (1991): Dictamen de la comisión Ad-hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la región Oriental de Cuba y sus Zonas Adyacentes.- Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba, p. 6.
- COTILLA, M. (1993): Caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas.- Instituto de Geofísica y Astronomía, ACC.
- COTILLA, M. & ALVAREZ, L. (1991): Principios del mapa sismotectónico de Cuba.- Revista Geofísica, Inst. Pan. de Geografía e Historia, 35:113-124.
- COTILLA, M.; ALVAREZ, L.; CHUY, T. & PORTUONDO, O. (1988): Peligrosidad sísmica de Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba.- Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, 2, p. 19. Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA, M.; BANKWITZ, P.; ALVAREZ, L.; FRANZKE, J.; GONZALEZ, E.; GRÜNTAL, G.; PILARSKI, J.; DIAZ, J. & ARTEAGA, F. (1991a): Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1,000,000.- Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía, No. 23, p. 40. Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA, M.; GONZALEZ, E.; FRANZKE, J.; DIAZ, J.; ORO, J.; ARTEAGA, F. & ALVAREZ, L. (1991b): Mapa neotectónico de

- Cuba, escala 1:1,000,000.- Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía, 22, p. 50. Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- COTILLA, M. & FRANZKE, J. (1994): Some Comments on the Seismotectonic Activity of Cuba.- *Z. Geol. Wiss.*, 22, 3/4, 347-352. Berlin.
- COTILLA, M.; MILLAN, G.; ALVAREZ, L.; GONZALEZ, D.; PACHECO, M. & ARTEAGA, F. (1994): Preparación del esquema neotectogénico de Cuba.- Archivo del Dpto. Física del Interior, del Inst. de Geof. y Astr., Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba. p. 300.
- COTILLA, M.; RUBIO, M.; ALVAREZ, L. & GRÜNTAL, G. (en prensa): Potenciales sísmicos de parte del arco del norte del Caribe.- *Revista Geofísica del Inst. Pan. de Geografía e Historia*.
- CUEVAS, J.L. (1994): Caracterización de las anomalías gravimétricas de Cuba centro oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad. Tesis en Opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas.- Instituto de Geof. y Astr., Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba. p. 200
- DIAZ, J.L. (1985): Morfoestructura de Cuba occidental y su dinámica. Tesis de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas.- Inst. de Geografía, Academia de Ciencias de la U.R.S.S., p. 200 (en ruso).
- DIAZ, J.L.; LILIENBERG, D.A. & MARQUEZ, M.E. (1990): Movimientos recientes de Cuba occidental: nuevas investigaciones geodésicas y geomorfológicas.- *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 17:78-91.
- GONZALEZ, B.; ALVAREZ, L.; SERRANO, M.; GARCIA, J.; RODRIGUEZ, V.; PEREZ, L. & FERNANDEZ, E. (1995): Informe científico técnico del 9 de marzo de 1995. Ganuza, municipio San José de las Lajas.- Archivo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Filial Occidental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. p. 13.
- GONZALEZ, B.; CHUY, T.; ALVAREZ, L.; RUBIO, M. & otros (1994): Estudio sismológico regional complejo de Cuba centro oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares.- Informe Científico Técnico del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. p. 90.
- GONZALEZ, B. & VOROBIOVA, E. (1989): Distribución de las profundidades de los terremotos y su relación con la magnitud en la región de las Antillas Mayores.- *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 8, p. 12. Inst. de Geof. y Astr., Academia de Ciencias de Cuba.
- GONZALEZ, E.; CAÑETE, C.; DIAZ, J.; PEREZ, L. & COTILLA, M. (1989): Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250 000.- *Revista Serie Geológica*, 1:16-34. Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, Ministerio de la Industria Básica.
- HERNANDEZ, J.R.; LILIENBERG, D.A. & GONZALEZ, R. (1986): Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes.- *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 12:36-48.
- ITURRALDE, M. (1977): Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platatórmico de Cuba.- Informe Científico Técnico, 20, p. 17. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- ITURRALDE, M. (1992): Cuban geology: A new plate-tectonic synthesis.- *Jour. Petrol. Geol.* United Kingdom, 17, 1, 39-70.
- LINARES, E.; DOVBNI, A.V.; OSADCHIY, P.G.; JUDOLEY, C.M.; GIL, S.; GARCIA, D.; ZUAZO, A.; FURRAZOLA, G.; BRITO, A.; EVDOKIMOV, Y.B.; MARKOVSKIY, B.A.; TROFIMOV, V.A. & VTULOCHKIN, A.L. (1986): Mapa geológico de Cuba, escala 1:500,000.- Centro de Investigaciones Geológicas. Ministerio de la Industria Básica.
- MANN, P. & BURKE, K. (1984): Neotectonics of the Caribbean region.- *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 22, 4, 309-362.
- MILLAN, G. & SOMIN (1981): Litología, tectónica y metamorfismo del Escambray.- Editorial Academia de Ciencias de Cuba, p. 104. La Habana.
- MOSSAKOVSKY, A.; PUSHAROVSKI, Yu.; NEKRASOV, G.E.; SOKOLOV, S.P.; FORMELL, F.; CABRERA, R.; ITURRALDE, M.; & otros (1989): Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500,000.- Inst. de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- ORBERA, L. (1983): Estudio sismotectónico de la región occidental.- Archivo de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, Ministerio de la Industria Básica de Cuba, p. 62.
- ORBERA, L.; GONZALEZ, B.; CHUY, T. & ORO, J. (1990): Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares. 1, p. 344.- Sec. Ejecutiva Para Asuntos Nucleares de Cuba.
- PARDO, M. (1993): Zonación gravimétrico-magnética y modelo físico-geológico conceptual del cinturón orogénico de Cuba.- *Revista Minería y Geología*, 1, 3, 3-14.
- PERROT, J.; CALAIS, E. & MERCIER DE LEPINAY, B. (1997): Tectonic and kinematic regime along the northern Caribbean Plate Boundary: New insights from broadband modeling of the May 25, 1992, Ms = 6.9 Cabo Cruz, Cuba, earthquake.- University of Cambridge, Bullards Laboratories, BIRPS, Madingley Road. United Kingdom. p. 16, June.
- PROL, J.; ARIAZA, G. & OTERO, R. (1993): Sobre la confección de los mapas de profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio cubano.- Informe Científico-Técnico de la Emp. Nacional de Geofísica, Ministerio de la Industria Básica. p. 36.
- QUINTAS, F.; HERNANDEZ, M. & CAMPOS, M. (1994): Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico en Cuba oriental y La Española.- *Revista Minería y Geología*, 11, 3, 3-10.
- RODRIGUEZ, M. (1996): Probabilistic estimations about the seismic hazard in Cuba.- Ed., MAPFRE, 80 p. Spain.
- SHEIN, V.S.; KLISHOV, K.A.; JAIN, V.E.; DIKENSHTAIN, G.E.; YPARRAGUIRRE, J.L.; GARCIA, E. & RODRIGUEZ, R. (1985): Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500,000.- Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.

sica.

SHERBAKOVA, B.E.; BOVENKO, V.G.; LATZENKO, T.N. & MIROSHNISCHEENKO, I.P. (1975): Informe sobre los resultados de las observaciones con los aparatos "Tierra" en el territorio de Cuba Occidental llevadas a Cabo en 1972-1974.- Archivos del Consejo Nacional de Fondo Geológico. (en ruso).

TRIFONOV, V.G.; FORMELL, F.; ORO, J. & PEREZ, C. (1981): Mapa de elementos estructurales de la provincia de Oriente.- Archivo del Inst. de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba. p. 15.

Manuscrito recibido, Enero de 1998.