

## UNA REVISION DE LOS ESTUDIOS SISMOTECTONICOS EN CUBA

M. O. Cotilla Rodríguez \*

### RESUMEN

Se analizan críticamente las investigaciones sismotectónicas realizadas con metodologías rusa y alemana para Cuba hasta 1994. La aplicación de la segunda metodología ha demostrado ser eficiente en al menos el diagnóstico de dos sismos en Cabo Cruz (26.08.1990 Ms = 5,9 y 25.05.1992 Ms = 6,9) y otro en San José de las Lajas (09.03.1995 Ms = 2,5) y permite sustentar un mecanismo de nudos sismoactivos. Dada la insuficiente información de base no existe un único esquema o mapa de zonas sigmo-generadoras.

**Palabras clave:** Riesgo sísmico, sismicidad, zona sismogenética, sismotectónica, Cuba.

### ABSTRACT

Seismotectonic investigations in Cuba using russian and german methodologies are analysed until 1994. The result of the second methodology showed to be efficient enough to diagnose the earthquakes' occurrence in Cabo Cruz (26.08.1990 Ms = 5,9 and 25.05.1992 Ms = 6,9) and in San José de las Lajas (09.03.1995 Ms = 2,5) and permitted to propose a nodal seismoactive mechanism. Nevertheless, there are not an unique seismotectonic scheme or map.

**Key words:** Seismic hazard, seismicity, seismogenetic zone, seismotectonic, Cuba.

### Introducción

La sismotectónica es una especialidad científica de mucha significación para el planeamiento de obras industriales de gran magnitud y para la preservación de la vida humana. Puede asegurarse que los resultados de la correcta aplicación de sus métodos son decisivos para la mejor selección de las posibles áreas del emplazamiento de cualquier objetivo. Su utilidad fue reconocida por Gubin (1990) en un análisis histórico de las investigaciones sismológicas y geológicas con el fin de confeccionar mapas de regionalización sísmica. Ese autor en 1957 inició los debates, en el marco de la URSS, contra las «escuelas» geológicas y sismológicas establecidas, pero lamentablemente no fue hasta que con la ocurrencia de sismos catastróficos en áreas no consideradas en la regionalización sísmica de la URSS se dio paso, a fines de los 60, a la aplicación de la sismotectónica. De esta última, en el caso de la URSS, hay algunas variantes como la que se aplicó en Cuba (Krestnikov *et al.*, 1983).

Varias han sido las vías para enfrentar la tarea sismotectónica, así como diferentes han resultado las técnicas desarrolladas (Bureau de Recherche Geologique et Mineres, 1981; Instituto Geográfico Nacional, 1992; Krestnikov, 1987; Spiridonov y Grigorova, 1980; Zhidkov *et al.*, 1975). En este proceso surge la base teórico-metodológica general, la que se ha enmarcado en países de alto desarrollo por lógicas necesidades de preservación ambiental y economía; por lo que ha quedado establecido que el propósito central de estas investigaciones es la identificación, la delimitación y la caracterización de las posibles zonas sismogenéticas, que localizadas en una región pueden afectar fundamentalmente a un objetivo industrial e inclusive poblacional. Desafortunadamente no existe hasta la fecha una «receta» como algunas personas creen. Esto se explica por varias razones y de las cuales sólo señalaremos cuatro: 1) la necesidad de proponer soluciones/respuestas a partir de consecuencias de un proceso; 2) la gran diversidad de condiciones geodinámicas en que se producen los

---

\* Departamento de Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid. Ciudad Universitaria 28040 Madrid.

terremotos; 3) la insuficiente y heterogénea base sismológica instrumental e histórica; 4) el alto coste de las informaciones geológicas, tectónicas y geofísicas.

El estudio sismotectónico de una región no implica circunscribir las investigaciones al estrecho límite geográfico de un país, sino que es necesario extenderlas al marco de una provincia sismotectónica, hasta clarificar su ubicación en la estructura jerárquica (Rubio, 1985). Luego, la preparación de un mapa sismotectónico (MS) no se reduce a la aplicación de la misma metodología [incluidas las relaciones y fórmulas deducidas en otras regiones para establecer la magnitud máxima ( $M_{\text{máx.}}$ ) en función de las características geométricas de la falla] en zonas de diferente tipo de sismicidad (Algermissen, 1976). No quiere esto decir que se considere erróneo el uso de estos elementos, sino que deben ser evaluados sus resultados críticamente (Grünthal *et al.*, 1985).

Un aspecto de mucho interés para la preparación de los MS es el que señalaron Johnston y Kanter (1990) en cuanto a que las regiones continentales (escudos y plataforma) consideradas, tradicionalmente, asísmicas han sido afectadas por fuertes terremotos ocurridos en sus inmediaciones, que aparentemente no guardan relación con las estructuras sísmicamente activas de las Zonas Límites de Placas Litosféricas (ZLPL). El mecanismo de tales fenómenos sísmicos se explica por determinadas condiciones de reactivación de esfuerzos en profundidad, en antiguas zonas falladas actualmente cubiertas por muchos cientos y miles de metros de espesor de sedimentos. La magnitud de tales eventos sísmicos es más o menos del mismo orden que los terremotos más fuertes ocurridos en zonas activas, pero con frecuencia mucho menor. En dicha investigación de zonas «estables» se recomienda el uso de imágenes de satélites con el objetivo de localizar alineamientos y hallar una posible relación estructural en profundidad (Grünthal *et al.*, 1985; Makarov y Schukin, 1976; Spiridonov y Grigorova, 1986), así como la aplicación de la técnica de reconocimiento paleosismológico (Schwartz, 1984).

Este trabajo recapitulativo es de una parte un complemento, necesario y obligado, a los artículos de Serrano y Alvarez (1983) y de Cotilla (1995), en los que se intenta registrar los sucesos y resultados de la aplicación de la ciencia sismológica en Cuba y comentar las dificultades detectadas por el autor en las investigaciones sismotectónicas realizadas hasta 1994. Además, es un marco apropiado para exponer algunas recomendaciones científico-técnicas que permitan abordar más acertadamente los trabajos sismotectónicos en Cuba.

## Valoración de las aplicaciones sismotectónicas en Cuba

### *Aspectos generales*

Investigaciones acerca de la historia sismológica nacional de Cuba (Cotilla, 1995) señalan al jesuita Benito Viñes como el primer científico que aprecia (a finales del siglo pasado y principios del actual) el comportamiento diferencial de la sismicidad en el plano geológico cubano. Además, también resultó ser el primero que apuntó las imprecisiones de los catálogos de terremotos y sus nocivas consecuencias en las valoraciones del riesgo sísmico (al menos al caso cubano). Estas observaciones constituyen las primeras evaluaciones de tipo sismotectónico para Cuba.

En Cuba han sido aplicadas dos metodologías sismotectónicas diferentes, una rusa (Krestnikov, 1987) y otra de fundamento alemán (Bormann, 1989). La metodología rusa se centra en una evaluación de la historia neotectónica de la región a partir de la confección de diferentes mapas para el Neogeno-Cuaternario, Plioceno, Pleistoceno y Holoceno, donde representan las amplitudes de los desplazamientos verticales y los sistemas de fallas asociados, así como las velocidades respectivas. Este conjunto cartográfico está sustentado, muy sólidamente, en la teoría de Belousov (1971) que se contrapone con éxito a la teoría de tectónica de placas litosféricas (Scientific American Ed., 1976). Luego se prepara el mapa de zonas sismogeneradoras (o sismogénicas) (ZS) que integra las informaciones geológica, geomorfológica y geofísica, incluyendo la sismológica. Consideran los especialistas que en esas ZS (las que representan en un mapa como una franja de ancho variable) es donde pueden ocurrir los terremotos. El mapa obtenido es empleado para las estimaciones de la peligrosidad sísmica (Algermissen y Perkins, 1973; Algermissen *et al.*, 1976; Buné y Gorshkov, 1980; Buné y Katrick, 1977; Rizinshenko, 1979), que evidentemente están fuera del campo sismotectónico.

Las zonas sismogeneradoras en la metodología rusa son evaluadas de acuerdo a sus características morfológicas y morfométricas, atendiendo a una clasificación basada en analogías con otras regiones del mundo; asignándole una categoría (de cuatro posibilidades) y una  $M_{\text{máx.}}$  a cada una de las zonas (Buné *et al.*, 1971). También atendiendo a la longitud y la profundidad de las zonas se estima la  $M_{\text{máx.}}$  a partir de relaciones propuestas por otro especialista ruso (Shebalin, 1971). Finalmente, se realiza una conciliación de ambos estimados y propone la  $M_{\text{máx.}}$  (apreciación final). Este enfoque ha sido sometido a modificaciones en el transcurso del

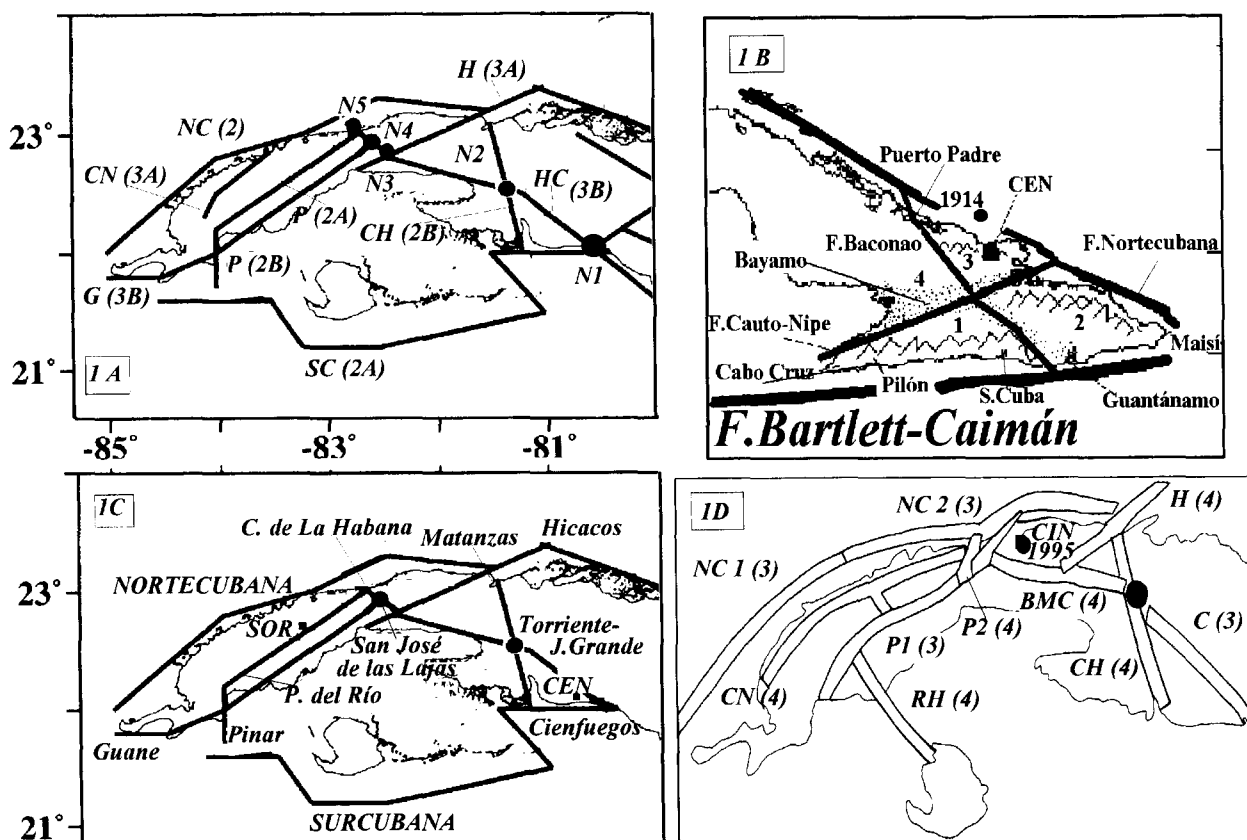


Fig. 1A.—Versión simplificada del sector occidental del mapa sismotectónico de Cuba, escala original 1:1.000.000. [Se indican: 1) con líneas gruesas las zonas sismogénicas: CH-Cochinos, CN-Consolación del Norte, G-Guane, H-Hicacos, HC-Habana-Cienfuegos, NC-Nortecubana, P-Pinar y SC-Surcubana; 2) el índice entre paréntesis que acompaña a las siglas anteriores corresponde a la categoría; 3) los círculos negros son nudos de interacción entre las zonas: N1-Cienfuegos, N2-Torriente-Jagüey Grande, N3-Güines, N4-San José de las Lajas y N5-Ciudad Habana]. Fig. 1B.—Esquema del área de estudios sismotectónicos de Holguín. [Se representan: a) en líneas de tres grosores diferentes los sistemas de fallas principales; b) con números los sistemas montañosos (1-Sierra Maestra, 2-Nipe-Cristal-Baracoa, 3-Maniabón) y de depresiones (4-Cauto-Nipe-Guánitamo); c) el posible lugar del emplazamiento de la Central Electronuclear, CEN; d) algunos poblados y accidentes geográficos; e) con círculo negro el terremoto del 28.02.1914 en Gibara]. Fig. 1C.—Esquema del área de estudios sismotectónicos de la región occidental. [Están indicadas: 1) las fallas principales; 2) algunos poblados y accidentes geográficos; 3) la estación sismológica de Soroa, SOR; 4) los epicentros de los terremotos del 23.01.1880 (San Cristóbal), 16.12.1982 (Torriente-Jagüey Grande) y 09.03.1995 (San José de las Lajas) con círculos negros]. Fig. 1D.—Versión del mapa de zonas sismogeneradoras de Orbera *et al.* (1990). [Se recoge en forma de bandas de ancho diferente a las zonas sismogeneradoras. Esas zonas se identifican con siglas: BMC-Bejucal-Madruga-Coliseo, C-Cienfuegos, CH-Cochinos, CN-Consolación del Norte, H-Hicacos, NC-Nortecubana, P-Pinar y RH-Río Hondo; y también se expresa la categoría entre paréntesis que se corresponde con la  $M_{\max}$ : BMC(4) = 5,0-5,2; C(3) = 5,5; CH(4) = 5,3; CN(4) = 5,5; H(4) = 5,5; NC1(3) = 5,3-5,5; NC(2) = 5,2; P1(3) = 6,25; P2(4) = 5,0; RH(4) = 5,0. Aparecen la localización del Centro Nacional de Investigaciones Nucleares, CIN, y los epicentros de los terremotos de Torriente-Jagüey Grande (16.12.1982) y San José de las Lajas (09.03.1995)].

tiempo; si bien las condiciones geólogo-tectónicas usadas en la clasificación en categorías han permanecido sin variaciones esenciales, las concepciones sobre  $M_{\max}$  y la homogeneidad de las zonas sí cambiaron substancialmente. La determinación de  $M_{\max}$  se hacía originalmente sólo por el desarrollo histórico-tectónico y en la actualidad se combina este método no sólo con el de dimensiones del foco o falla, sino también con otros criterios geofísicos; no obstante, es posible subdividir las zonas por criterios solamente sismológicos.

Los especialistas rusos (Belousov *et al.*, 1983), que ejecutaron las investigaciones sismotectónicas, decidieron evaluar una región de aproximadamente 27.000 km<sup>2</sup> que incluyó al oeste de la bahía de Cienfuegos (fig. 1c) (sin alcanzar la Cuenca de Cochinos), la Cuenca de La Trocha (o Central) por el este, la falla Surcubana por el sur y la falla Las Villas (Sutura Central) por el norte. De esta forma la región escogida no guarda una simetría (con relación al emplazamiento estudiado CEN) y por consiguiente no incluye a las zonas de fallas Nortecubana

en la parte norte, y Cochinos e Hicacos en la parte oeste. Todas, incluidas las no evaluadas, son fallas de importancia neotectónica (fig. 1a). A partir del mapa de zonas sismogeneradoras, obtenido por estos especialistas, se confeccionó un mapa de la peligrosidad sísmica de ese territorio.

Para Cuba Oriental (con centro de atención al norte de Holguín, en las cercanías de Gibara) (fig. 1b) se realizaron varios trabajos de sismotectónica para los que se adoptó en esencia la misma metodología que para la región Central. El primer trabajo sismotectónico netamente cubano, fue realizado en la región oriental por (Orbera, 1980), donde se obtuvieron los mismos tipos de mapas que para Cuba Central. Se procedió en general como hasta entonces; por ejemplo, la región de estudio no tiene simetría con relación al posible emplazamiento (es considerablemente más extensa al este que al oeste). Además, hay otras cuestiones que consideramos incorrectas como: 1) representar las ZS de las partes marinas sólo hasta la línea de costa; 2) conceptualizar al Macizo de Maniabón (Grupo Orográfico) con una ZS; 3) no considerar los desplazamientos laterales al menos de la ZLPL; 4) la escasa precisión del trazado de isolíneas del relieve (para los mapas/esquemas de tectónica vertical) en las áreas de cuencas; 5) la utilización de datos de perceptibilidad de terremotos como epicentros. Todo esto fue discutido por Cotilla (1993). Transformaciones sucesivas fueron realizadas (Orbera, 1985; Orbera *et al.*, 1987; 1989a, b), por sólo citar los más representativos, aunque las limitaciones señaladas persistieron en lo fundamental (Cotilla, 1993).

A finales de la década del ochenta, especialistas soviéticos y cubanos realizaron una nueva investigación en Cuba Oriental (para el mismo objetivo) que aportó un mapa de ZS y un mapa de zonas de origen de terremotos (Babaev *et al.*, 1989). Ese mapa de ZS es totalmente diferente de los anteriores en cuanto a sus trazos, clasificación y magnitud máxima; así se aprecia por primera vez la subdivisión de las ZS (para la escuela rusa aplicada en Cuba) en sectores atendiendo a elementos de sismicidad. Sin embargo, dos meses después Orbera *et al.* (1989b), también autor de ese trabajo, propuso otro mapa de ZS, diferente de éste, para la misma región que recuerda en cierta medida su trabajo de tesis doctoral. Esto evidencia que la falta de información se suple, para esta metodología, con criterios subjetivos.

El mapa de Babaev *et al.* (1989) fue el utilizado como documento oficial para los estimados de la peligrosidad del área de Holguín-Cuba Oriental (Mirzoev *et al.*, 1989).

En la región Occidental (provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana, La Habana, Matanzas e

Isla de la Juventud) (fig. 1c) se realizó un trabajo de sismotectónica por (Orbera, 1983). La metodología rusa fue aplicada nuevamente y los mapas obtenidos tienen la misma representación cartográfica; así se repiten las deficiencias de Cuba Oriental en cuanto a la utilización incorrecta de los datos de sismicidad y la falta de correspondencia entre los tipos de fallas sismogeneradoras y la categoría. Por ejemplo, la falla Nortecubana que es límite del megabloque Cuba, aparece con menor categoría que las fallas (del interior) Pinar, Consolación del Norte y Cienfuegos. Luego hubo otro trabajo (Orbera *et al.*, 1990) que contiene también un mapa de ZS, pero muy diferente del anterior, y en el cual las Mmáx. asignadas, en general, son menores (fig. 1d). Así, aunque en parte se resolvió el problema de la taxonomía y la categoría de las zonas sismogenéticas hay grandes y graves dificultades en los esquemas tectónicos (Cotilla, 1993).

A partir de la experiencia del sismo del 16 de diciembre de 1982 en Torriente-Jagüey Grande, provincia Matanzas (al que se hará referencia posteriormente) y de las inconsistencias de los resultados alcanzados con la aplicación de la metodología rusa, Cotilla *et al.* (1991a) reorientan las investigaciones sismotectónicas a las tendencias en boga, en aquellos momentos, en los Estados Unidos de Norteamérica y la ex RDA (Bormann, 1989). Esos autores, con un tratamiento diferente de la información geólogo-tectónica y una posición neomovilista de tectónica de placas litosféricas, obtuvieron para Cuba con el procesamiento (convencional y automático) de las imágenes del LANDSAT (canales 5, 6 y 7) una red de zonas de alineamientos y nudos activos (Cotilla *et al.*, 1988). Además, Cotilla y Alvarez (1991) prepararon una guía de clasificación de Mmáx. (la primera del país) en cinco categorías que se sustenta en los datos sismológicos y neotectónicos. Esto dio lugar al primer mapa sismotectónico de Cuba, que responde a una jerarquía taxonómica; no obstante, algunos especialistas cubanos señalan como limitante la comprobación de las zonas de fallas por áreas patrones, idea recomendada por Ranstman (1979) y Makarov y Schukin (1976). En el marco de esta metodología se aplicó por primera vez la técnica de cinemática neotectónica o delimitación del tensor de esfuerzos contemporáneos para un total de 66 estaciones en todo el país (Cotilla y Franzke, 1994). Este resultado es insuficiente para conclusiones definitivas, pero se corresponde bien con los datos de mecanismos focales determinados por el CMT en la parte suroriental de Cuba, zona de Bartlett-Caimán (Cotilla y Udías, 1998).

Intentando conciliar todos los resultados sismotectónicos de Cuba Oriental se reunió un grupo de

especialistas cubanos que propuso por consenso un nuevo mapa de ZS y un sistema de clasificación para la asignación de su Mmáx. (Comisión *Ad hoc*, 1991). Las zonas sismogeneradoras principales (Bartlett-Caimán, Nortecubana y Cauto-Nipe) (fig. 3) del mapa de ZS confeccionado coinciden con las propuestas de Babaev *et al.* (1989) y Cotilla *et al.* (1991a), mientras que las menos importantes resultan de una selección ecléptica de todos los trabajos anteriores. El sistema de clasificación de las ZS adoptado por esa Comisión *Ad hoc* concuerda grandemente con la proposición formulada previamente en (Cotilla *et al.*, 1991a); no obstante, debe señalarse que si bien las magnitudes máximas para las zonas de mayor categoría son por lo general coincidentes, para las zonas de baja categoría resultan, en general, muy elevadas. Del mapa de la Comisión *Ad hoc* (1991) se preparó un mapa de peligrosidad sísmica que resulta ser diferente del de Mirzoev *et al.* (1989).

Datos específicos de la sismicidad

La influencia de la subjetividad en los resultados de un trabajo de sismotectónica no se limita a la etapa interpretativa; ya que los propios datos iniciales llevan implícita una fuerte carga subjetiva (Gitis *et al.*, 1992). Tal es el caso de la información macrosísmica, utilizada tanto en el esclarecimiento de la sismicidad como en el estudio de la atenuación de los efectos de los terremotos con la distancia al epicentro (Alvarez, 1985). Ejemplo de ello lo constituye el caso de las investigaciones macrosísmicas de Chuy *et al.* (1988) que apenas unos meses después de concluidas fueron modificadas significativamente en al menos cuatro terremotos (tabla 1) por Orbera *et al.* (1990) en cuanto a: a) los puntos de perceptibilidad; b) la confiabilidad del trazado de las isosistas; c) la configuración (forma) de las isosistas. Estas cuestiones son una de las más frecuentes fuentes de error en el complejo proceso de la adquisición y el procesamiento de la información para confeccionar mapas de isosistas de terremotos ocurridos con fechas anteriores (Alvarez *et al.*,

1985). G. Grünthal opina que estas situaciones conllevan a la errónea identificación y pobre caracterización de la fuente sísmica (comunicación personal). En consecuencia, para este caso concreto se redujo manifiestamente la peligrosidad sísmica (Cotilla, 1993).

La inconsistencia de las modificaciones realizadas por Orbera *et al.* (1990) se evidencia, incuestionablemente, a partir de la ocurrencia reciente de un terremoto en la localidad de San José de las Lajas (La Habana) el 09-03-95 (Ms = 2,5; I = V grados MSK) (fig. 1d) aproximadamente, a una decena de kilómetros del área principal de sus estudios (CIN); ya que no señalan a ésa como área probable de ocurrencia y tampoco la existencia de alguna ZS en sus inmediaciones; cuestiones estas que sí fueron reconocidas por (Cotilla *et al.* (1991a) y que se recogen como el cruce o nudo N4 de dos zonas sismogénicas, Guane y Habana-Cienfuegos (fig. 1a).

Sismotectónica del Caribe

Consideraciones geodinámicas generales

En la actualidad es aceptado por la inmensa mayoría de los científicos que la corteza terrestre está formada por grandes placas tectónicas que se desplazan como una unidad. Estos movimientos provocan interacción entre ellas, ya como rozamientos (o deslizamientos laterales) y choques, con las consiguientes deformaciones internas. Tales deformaciones son el resultado de sistemas de esfuerzos, que al sobrepasar cierto límite (capacidad de resistencia del material, roca) producen la rotura y el deslizamiento, y en consecuencia se generan los eventos sísmicos o terremotos. Resulta entonces, que los terremotos ocurren principalmente en los bordes de las placas litosféricas y en las fallas internas (de menor dimensión); por lo que es factible pensar, y por qué no presuponer, que los sismos son una función directa de las dimensiones del elemento disyuntivo y de las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

El Caribe es una placa litosférica media que actúa como discontinuidad entre las superplacas de Norteamérica y Suramérica (Mann y Burke, 1984) (fig. 2). Ella experimenta un desplazamiento relativo al este, con valores de 2-4 cm/año y específicamente en el sector de Cuba de 2 cm/año y 1-2 cm/año para Jamaica (Jordan, 1976; Molnar y Sykes, 1969; Mann y Burke, 1984; DeMets *et al.*, 1990; Dengo y Sykes, 1995). En este complejo cuadro tensional se observa que en su límite oeste las placas Cocos y Nazca, pertenecientes al sistema litosférico Pacífico, subducen bajo ella; y en el lími-

Tabla 1.—Terremotos de la Unidad Sismotectónica Occidental

Fecha D M A	Localidad	Provincia	Intensidad Sísmica (MSK)
23.01.1880	San Cristóbal	Pinar del Río	VIII
28.02.1914	Gibara	Holguín	VII
15.08.1939	Remedios	Las Villas	VII
16.12.1982	Torriente-Jagüey Grande	Matanzas	VI



Geología General, la zona interior de la superplaca sufre la acción de fuertes terremotos. Ellos son de magnitudes similares a los de la costa Pacífica, aunque de mucho menor frecuencia, y están relacionados con reajustes o reactivación de fallas en la profundidad (Johnston y Kanter, 1990).

Esta superplaca continental de Norteamérica posee un mosaico de estructuras geológicas bien diferentes: una región de rocas muy antiguas (pre Cámbricas) que constituyen el basamento, y en consecuencia muy consolidadas, con un relieve no muy enérgico; otra región de rocas consolidadas más jóvenes que rodean a la anterior y donde se destacan los macizos montañosos del Pacífico y del Atlántico; una tercera región que se corresponde con un sistema de alturas, planicies y llanuras articuladas en la profundidad y diferenciadas en el plano superficial actual, en las que se destacan los más amplios espesores de sedimentos y que sucede espacialmente como zona de tránsito a los grandes contrastes morfológicos del sur (Golfo de México y Plataforma de Bahamas) (Johnston y Kanter, 1990). Es precisamente en este borde meridional donde hoy se encuentra insertado el megabloque cubano (o microplaca cubana).

Varias son las hipótesis para explicar (con distinto grado de éxito) el desarrollo geológico del archipiélago cubano, las cuales han sido reseñadas en diferentes trabajos, entre ellos: (Hernández, 1989;

Iturralde, 1992). Sin embargo, para Cotilla (1993), estas investigaciones tienen un conjunto de datos que no ofrecen margen a especulación, y como el objetivo de nuestra investigación es el neotectogénico, la historia pre Eoceno Superior resulta considerablemente menos importante que la post Eoceno Superior. Por tales razones, no haremos siquiera un resumen de la Geología Cubana, sino que sustentamos, al igual que Iturralde (1977), un desarrollo geológico de Cuba —a partir del Eoceno Superior hasta la actualidad— bien diferente de las etapas anteriores, y enmarcado en el tipo neoplatafórmico (estado intermedio entre plataforma y arco de islas volcánicas). Así, en todo el territorio se da una estructura de bloques con tendencias oscilatorias diferenciales en la vertical (*cualitativa y cuantitativamente determinadas*) en el marco de una dinámica de placas litosféricas (González *et al.*, 1989). Esta cuestión ha sido comprobada, exhaustivamente, con métodos geofísicos (Cuevas, 1994; Fundora, 1982; Pardo, 1993; Prol *et al.*, 1993; Sherbakova *et al.*, 1975), geológicos (Alvarez, 1992; Millán y Somin, 1981; Mossakovsky *et al.*, 1989; Quintas *et al.*, 1994) y geomorfológicos y geodésicos (Díaz, 1985; Hernández, 1989).

La corteza de Cuba se divide en dos grandes mosaicos geológicos superpuestos, los cuales se corresponden con diferentes etapas de su desarrollo: un cinturón plegado y un neoautóctono (Iturralde,

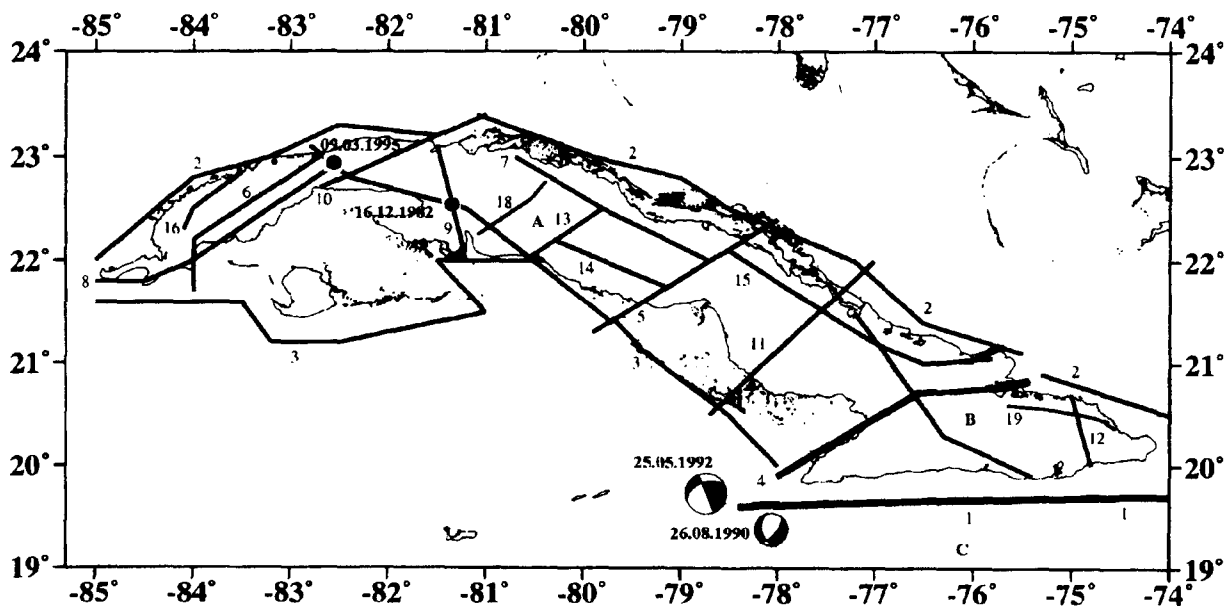


Fig. 3.—Unidades neotectónicas y sismotectónicas de Cuba con algunos epicentros. [Aparecen: a) con letras mayúsculas las unidades Neotectónicas (A y B) y las sismotectónicas (A, B y C); b) en trazos de líneas los sistemas de zonas sismogénicas: 1-Bartlett-Caimán; 2-Nortecubana, 3-Surcubana, 4-Cauto-Nipe, 5-La Trocha, 6-Pinar, 7-Las Villas, 8-Guane, 9-Cochinos, 10-Hicacos, 11-Camagüey, 12-Purial, 13-Cienfuegos-Santa Clara, 14-Tuinicú, 15-Cubitas, 16-Consolación del Norte, 17-Baconao, 18-Cochinos-Norte de Las Villas, 19-Nipe-Cristal-Baracoa y 20-Habana-Cienfuegos; c) los epicentros de los sismos de San José de las Lajas (1995), Torriente-Jagüey Grande (1982) y dos de Cabo Cruz (1990 y 1992) se indican con círculos negros].

1992). En particular, para ese autor, el neoaútóctono comprende la etapa desde el Eoceno Superior (parte alta) hasta el Reciente donde dominan los movimientos verticales oscilatorios, con fallamientos supeditados transcurrentes sinestrosos (en dirección NE-SO), probablemente relacionados con la transpresión a lo largo del margen norte de la placa Caribe; también se desarrollaron cuencas sobre el cinturón deformado con una deposición clástica y carbonatada, pero sin actividad magmática. A pesar de que se destacan tres etapas principales en la evolución de esas cuencas, cada una con un ciclo completo de transgresión-regresión, los levantamientos dominaron en la evolución tectónica general. La etapa neoaútóctona comenzó a partir de la activación de la fosa Bartlett-Caimán y su sistema de *pull-apart*, cuando los procesos de tectónica convergente en la placa del Caribe se trasladaron sucesiva y progresivamente hacia el este (Ross y Scotese, 1988).

De otra parte, para Cotilla *et al.* (1991b) Cuba está incorporada actualmente como un megabloque (o microplaca) en ascenso diferencial entre sus partes al borde meridional de la placa litosférica de Norteamérica y en consecuencia mantiene una estrecha relación espacial, temporal y energética con la placa Caribe a través de la Unidad Neotectónica Oriental (la de menor extensión superficial, pero la de mayor actividad de las dos que componen al megabloque) que muestra características neotectónicas muy diferentes con relación a sus áreas vecinas (fig. 3).

### Información sísmológica

La región del Caribe desde el punto de vista sísmológico está encerrada por bandas no regulares, y no como límites precisos y lineales, donde se concentra la actividad y manifiesta la interacción dinámica de las placas litosféricas (Mann y Burke, 1984) (fig. 4). El nivel de actividad sísmica (frecuencia de ocurrencia y magnitud) decrece sustancialmente desde esas zonas límites de placas hacia el interior marítimo. El espesor de la corteza en el Caribe, en general, no es grande (Bowin, 1968, 1976) lo que favorece la ocurrencia de terremotos corticales; no obstante, en las zonas de subducción Pacífica y Atlántica, y en La Española y Puerto Rico se generan eventos profundos (Alvarez *et al.*, 1985). Esto se debe a las distintas condiciones geodinámicas a que se encuentran sometidas las placas litosféricas, relacionadas con las características del Manto y en particular del Manto Superior. Además, se ha planteado por otros autores la existencia de un conjunto de estructuras transversales a los límites de placas (zonas más activas), en cuyas intersecciones es más fuerte y frecuente la liberación energética (Alvarez, *et al.*, 1990).

Del análisis conjunto de los mapas sísmológicos (Riznishenko, 1992) de las magnitudes máximas reportadas, de actividad sísmica y de liberación de deformaciones (Cotilla, 1993) se resume lo siguiente: 1) los terremotos fuertes se agrupan en sectores lo que permite considerar que las zonas de fallas activas sismogeneradoras de la región no son homo-

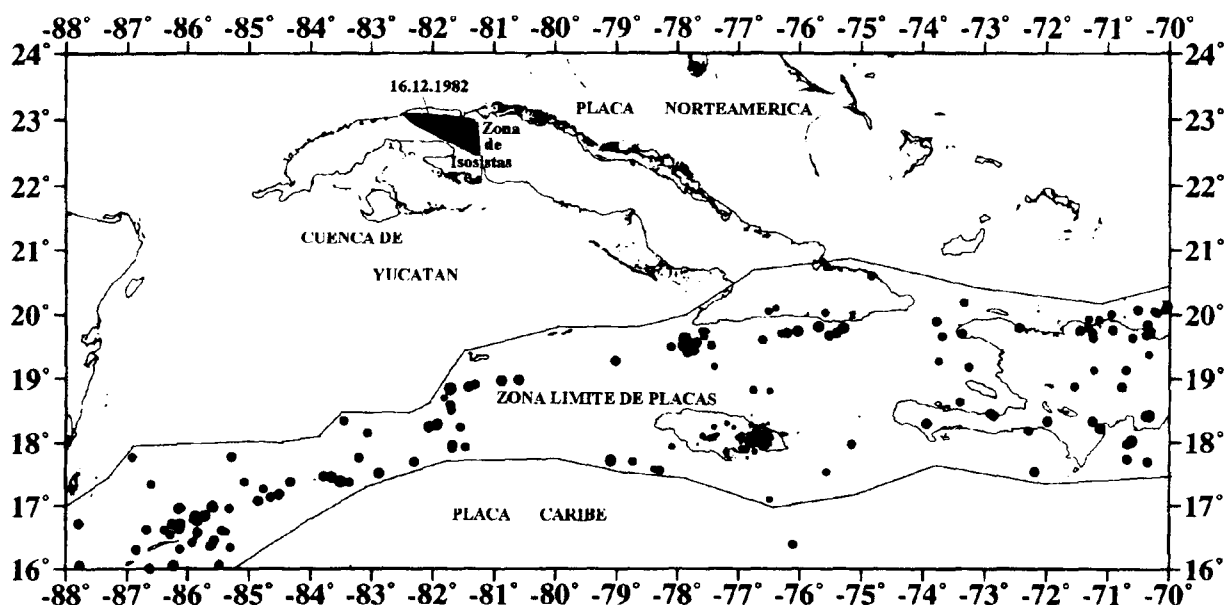


Fig. 4.—Sismicidad del sector norte-central del Caribe. [Incluye una versión de las isostas (en forma de zona) del sismo de 1982 (Torriente-Jagüey Grande, Matanzas)].



Tabla 2.—Características de las principales zonas del Caribe

Zona	Localización	Régimen tectónico	Sismicidad
1	Centro de generación de corteza oceánica en el límite norte de la placa Caribe.	Distensión en una zona de rift intraoceánico, limitado por fallas de transformación.	Superficial y débil. Puede existir vulcanismo.
2	Zonas límites de las placas litosféricas del norte y del sur del Caribe con relación a Norteamérica y Suramérica.	Predominio de fallas de transformación con sectores transpresivos (fallas inversas) y transtensivos (fallas normales y estructuras asociadas) que pueden producir terremotos y estructuras de los tipos pull - apart basin y pressure ridges.	Superficial e intermedia, pero importante ya que las magnitudes pueden ser de hasta 8,0. No se ha detectado vulcanismo.
3	Zonas Límites de Placas del Pacífico (Cocos - Nazca) con la Caribe (parte oeste) y de A. del Norte con la Caribe (parte este).	Zonas de subducción muy activas (límites convergentes).	Superficial, intermedia y profunda intensas. Hay vulcanismo. Las magnitudes de los terremotos pueden ser superiores a 8,0.
4	Cuenca del Caribe (excluyendo las áreas anteriores).	Condiciones predominantes de subsidencia. Poca actividad tectónica disyuntiva y ausencia de vulcanismo.	Muy escasa y predominantemente de terremotos débiles, no profundos.

géneas; 2) las fronteras donde está presente la subducción son las más activas, tanto en cantidad de eventos como en la magnitud y la deformación; 3) en el marco de subducción resulta ser la frontera de la placa del Caribe con la de Cocos la más activa; 4) la zona occidental de La Española (sector de Haití) aparece con un nivel de actividad, tanto en la cantidad de sismos como en la magnitud y la deformación, mucho más baja que la oriental (sector de República Dominicana), a diferencia de lo reportado en siglos anteriores; 5) la zona de Cuba suoriental-Jamaica (Bartlett-Caimán) presenta una situación similar en relación con la actividad de siglos anteriores; 6) la cuenca marítima del Caribe demuestra una actividad muy baja. Esta interpretación coincide con los resultados de Kelleher *et al.* (1973), McCann y Pennington (1990) y Panagiotopoulos (1995). Entonces, para la placa Caribe y sus inmediaciones es factible proponer, sobre la base de Reisner (1980), una regionalización de la sismicidad en cuatro zonas (tabla 2).

Los terremotos más fuertes ocurridos y reportados en Las Antillas Mayores (Zona 2 de la regionalización), por distintas fuentes, se relacionan en la tabla 3, mientras que para Cuba los sismos más fuertes desde 1528 por Unidades Neotectónicas están recogidos en la tabla 4 y representados en la figura 3, sin incluir 10 eventos de 8 grados (MSK) y otros tantos de 7 grados (MSK) en toda la UN Oriental (Alvarez *et al.*, 1985; Chuy *et al.*, 1988).

De otra parte, el mecanismo focal de los terremotos del 26-08-1990 ( $M_s = 5,9$  y  $h = 10$  km) y del 25-05-1992 ( $M_s = 6,9$  y  $h = 23$  km) en el SO de Cabo Cruz [en la zona marítima de Bartlett-Caimán,

donde se localiza el cruce (o nudo, según Cotilla, 1993) de las zonas sismoactivas de Bartlett-Caimán y Cauto-Nipe (fig. 3)] obtenidos por el CMT, confirma la heterogeneidad, en un marco de transpresión, de la principal ZS de Cuba y la validez de la caracterización y clasificación propuesta para ella por Cotilla *et al.* (1991a). Recientemente, Perrot *et al.* (1997) estudió el segundo terremoto y llegó a conclusiones similares.

La Unidad Sismotectónica Suroriental es la única parte del territorio cubano donde han sido determinados mecanismos focales, aproximadamente una docena. Ellos confirman, parcialmente, el desplazamiento transcurrente sinestroso de la placa Caribe con relación a la placa norteamericana, y el predominio desde Cabo Cruz y hacia el este de un mecanismo de tipo inverso sobre un plano transcurrente a la izquierda. Esto indica la heterogeneidad tectónica de este segmento litosférico que fue supuesta por Cotilla (1993) a partir de las magnitudes máximas reportadas, la diversidad de densidad, energía liberada y campo de las deformaciones de los terremotos. Las observaciones microtectónicas realizadas en el borde meridional de Cuba Oriental, desde Cabo Cruz hasta Punta de Maisí, también indican una variación lateral del tensor de esfuerzos con predominio comprensivo al NE (Cotilla, 1993; Cotilla y Franzke, 1994).

Los catálogos macrosísmicos cubanos poseen una calidad variable evento a evento. Si bien algunos terremotos han podido ser estudiados lo suficiente para lograr confeccionarles mapas de isosistas (con el consiguiente incremento de la confiabilidad del epicentro), la mayoría sólo tiene escasos datos que no

Tabla 3.—Terremotos más fuertes reportados en Las Antillas Mayores (tomados de diversas fuentes)

Fecha			Coordenadas		Magnitud (Ms)
D	M	A	Lat N	Lon O	
07	06	1692	(17,8)	(76,8)	(7,5)
04	06	1770	(18,6)	(72,6)	(7,9)
07	05	1842	(19,8)	72,2)	(8,2)
23	09	1887	(19,4)	(73,4)	(7,9)
29	12	1897	(20,1)	(71,2)	7,5
11	10	1918	18,5	67,5	7,5
29	07	1943	19,25	67,5	7,75
04	08	1946	19,5	69,5	8,1

Nota: Las cifras entre paréntesis indican determinaciones a partir de datos macrosísmicos.

permiten su asociación unívoca a una u otra zona sismogénica (Cotilla *et al.*, 1997). En suma hay un conocimiento no uniforme de la sismicidad, que resulta más detallado según nos movemos de occidente a oriente, y con un nivel de fiabilidad también variable, que va desde un número pequeño de eventos cuyos epicentros son conocidos con bastante precisión hasta un número grande que tiene gran incertidumbre (Cotilla, 1993). En este sentido, en el material histórico-macrosísmico nacional existe una carencia total de evaluaciones cuantitativas de la fiabilidad, tanto del dato inicial (intensidad sentida en una localidad) como de sus interpretaciones posteriores (epicentros, profundidad, magnitud, trazado de isosistas, etc.) (Cotilla *et al.*, 1988). Además, las fuentes de los datos iniciales son diversas (prensa, crónicas, recuerdos de antiguos testigos presenciales del terremoto, entrevistas inmediatas post-terremotos, etc.) y no todas son igualmente fiables (Alvarez *et al.*, 1990); sin embargo estos catálogos macrosísmicos no tienen un análisis de la misma (Cotilla, 1993).

El trazado de las isosistas en Cuba tradicionalmente se ha realizado a mano (lo que trae aparejado una elevada subjetividad) y en los últimos tiempos se ha preferido el ajuste de un modo teórico de isosistas elípticas propuesto por Alvarez (1985), mediante un programa interactivo confeccionado para PC (Pico y Chuy, 1989). No obstante, tanto en uno como en otro caso no se obtienen isosistas fiables (Cotilla, 1993). Algunos de los terremotos incluidos en los informes mencionados anteriormente han sido procesados, recientemente, acorde con técnicas geoestadísticas por García y Rodríguez (1994). Ellos han obtenido mapas de isosistas, bastante diferentes a los presentados en informes anteriores, que son acompañados con el correspondiente error del trazado. Esto parece ser una vía aceptable para la obtención de mapas de isosistas fiables y consecuentemente de estimación de los parámetros

Tabla 4.—Sismos más fuertes en Cuba por Unidad Neotectónica (a partir de distintas fuentes)

Fecha			Intensidad sísmica (MSK)	Localidad	Unidad Neotectónica
D	M	A			
23	01	1880	8	San Cristóbal	OCC
11	06	1981	5	Alonso de Rojas-La Coloma	OCC
16	12	1982	6	Torriente-Jagüey Grande	OCC
05	01	1824	6	Trinidad	OCC
11	08	1873	6	Remedios	OCC
24	01	1909	6	Trinidad	OCC
14	08	1939	7	Remedios-Caibarién	OCC
29	07	1943	6	Trinidad	OCC
07	04	1974	6	Esmeralda	OCC
23	10	1976	6	La Felicidad (Manicaragua)	OCC
11	06	1766	9	Santiago de Cuba	OR
20	08	1852	9	Santiago de Cuba	OR

fundamentales (coordenadas y magnitud) de los terremotos históricos (al menos para Cuba); sin embargo, el problema de la calidad del dato inicial continúa pendiente.

A partir de la instalación de una red de estaciones sismológicas en Cuba (Serrano y Alvarez, 1983) ha sido posible, con independencia de su heterogénea distribución e insuficiente cobertura y precisión en las determinaciones epicentrales ( $\pm 10$  km de error) (Alvarez *et al.*, 1985), caracterizar la sismicidad en Cuba como de dos tipos: entreplacas (localizada en la frontera de las placas litosféricas de Norteamérica y del Caribe) y de interior de placas (el resto del territorio nacional) (Chuy *et al.*, 1983a). En la primera zona con relación a la segunda los terremotos son más frecuentes y de magnitudes mayores (Cotilla *et al.*, 1997). Esto, evidentemente, se aviene perfectamente con el presupuesto del epígrafe Consideraciones Geodinámicas Generales.

#### *El sismo de Torriente-Jagüey Grande*

Para el caso de Cuba Occidental (sismicidad de interior de placas) han sido reportados varios terremotos importantes (hasta VIII grados de intensidad escala MSK) (tabla 4). Pero, en este trabajo sólo nos referiremos por su significación sismotectónica (señalado en el epígrafe de Valoración de las Aplicaciones Sismotectónicas en Cuba) a uno de ellos, el terremoto de Torriente-Jagüey Grande (T-JG) que según Chuy *et al.* (1983b) tuvo los parámetros que se reflejan en la tabla 5.

La provincia de Matanzas, donde se ubica el epicentro (área de la isosista de VI grados = 3,400 km<sup>2</sup>) (fig. 4), había sido profusamente estudiada con un levantamiento geológico, a escala 1:250.000 (Academias de Ciencias de Cuba y Polonia, 1981),

Tabla 5.—Datos del terremoto de Torriente-Jagüey Grande

Fecha			Magnitud (Ms)	Intensidad sísmica (MSK)	Area (km <sup>2</sup> )	Coordenadas		Profundidad (km)
A	M	D				Lat N	Lon O	
82	12	16	5,0	6	3.400	22°37'	81°14'	30

reportándose solamente una zona de débiles mínimos gravimétricos de dirección NNO entre las bahías de Cochinos (costa sur) y Matanzas (costa norte) y una falla (Matanzas o Hicacos) de dirección NE, a lo largo de la península de Hicacos hasta las inmediaciones de La Habana. En esa misma etapa, entre las localidades de Ciudad de La Habana y la matancera de T-JG, Albear *et al.* (1982) propusieron (sin pretensión sismotectónica alguna) un alineamiento (de dirección NO) delimitado por técnicas de teledetección. Algunos especialistas (cubanos y de los ex-países socialistas) consideraron insuficientes las evidencias obtenidas por este método para conceptualizar tal elemento como una falla o siquiera como una fractura. En consecuencia se describió a T-JG como una llanura geológicamente tranquila, de suave pendiente, que no posee fallas geológicas en sus inmediaciones (Academia de Ciencias de Cuba y Polonia, 1981). Por otra parte, de acuerdo a los datos sismológicos, no existía reporte alguno en toda la región sur y centro oriental matancera, por lo que en el mapa de intensidades sísmicas por datos históricos para períodos de recurrencia de 100 años de Chuy y Rodríguez (1980) aparecía un signo de interrogación (ausencia de información). Sin embargo, esta región estable enmarcada en un bloque semihórstico desde el Eoceno Superior (Iturralde, 1977) y colindante al área de estudios sismotectónicos de Cuba Central fue, inesperadamente, estremecida por un sismo el 16-12-1982 y más de siete réplicas perceptibles (entre los días 16 y 21). El lugar de ocurrencia es un cruce de dos zonas sismoactivas, Cochinos y Habana-Cienfuegos (fig. 1a) denominado nudo N2 (Cotilla *et al.*, 1991a).

#### *Aspectos del mapa sismotectónico de Cuba*

La determinación del lugar de ocurrencia y de la M<sub>máx.</sub> de los terremotos son tareas extremadamente complejas, y para ejecutarlas hay diferentes metodologías (Gitis *et al.*, 1992; Krestnikov, 1987; Reisner, 1980; Rizinshenko, 1965; Shebalin, 1971; Sirotingkaia *et al.*, 1986; Zhidkov *et al.*, 1975); sin embargo, hasta el presente no hay una guía totalmente satisfactoria, ni mucho menos definitiva (Alvarez *et al.*, 1985; Kisslinger, 1975). Una de las

vías para estimar los parámetros sismológicos antes mencionados es la de los potenciales sísmicos, que fue la seleccionada por Cotilla (1993). Esta posición obedece a que la determinación de las zonas sismogeneradoras con su M<sub>máx.</sub> asociada debe corresponderse con una jerarquía dinámica, espacial y energética en el contexto de la tectónica global (Bormann, 1989) y a que no hay en Cuba una suficiente fiabilidad en los catálogos macrosísmicos e isosistas confeccionados, ni existe una adecuada precisión en las determinaciones epicentrales con la red de estaciones sismológicas y tampoco han sido acometidas tareas paleosismológicas (Cotilla, 1993).

El concepto de potencial sísmico (McCann *et al.*, 1979) fue introducido en la Sismología como una medida de la posibilidad de generar terremotos fuertes a mediano plazo en sectores de las fronteras entre las placas tectónicas grandes. El origen de estos trabajos se remonta a la hipótesis del ciclo sísmico de Fedotov, pasando por los trabajos de Kelleher (1972); Kelleher *et al.* (1973) y Kelleher y McCann (1976) en los cuales se delimitan sectores de la frontera entre placas que son propensos a generar terremotos fuertes.

El estudio del potencial sísmico para la parte norte del Caribe de Cotilla *et al.* (1988) mantiene como McCann (1976) el presupuesto que este parámetro sismológico depende principalmente de: 1) las etapas del desarrollo geológico de la región; 2) las dimensiones (largo, ancho y profundidad) de las zonas de origen de terremotos que integran la región; 3) la interrelación con las regiones vecinas. Como datos iniciales emplearon un catálogo de terremotos preparado al efecto, los mapas de isosistas (con las modificaciones estadísticas antes señaladas) y los datos neotectónicos. Al final del procesamiento se obtuvo un mapa escala 1:1.000.000 que indica que es sólo al norte de La Española donde puede esperarse ocurran terremotos con Ms ≥ 8,0. Este resultado coincide con los datos aportados por Gitis *et al.* (1992; Pangiotopoulos, 1995); luego entonces, las zonas sismogénicas de Cuba deben tener un nivel de M<sub>máx.</sub> menor que el determinado por este método.

La adecuación de la metodología alemana permitió a Cotilla *et al.* (1991a) la preparación del MS de Cuba, escala 1:1.000.000, donde se distin-

guen las zonas de fallas por el grado de actividad y el mecanismo para la liberación de energía sísmica, fallas y nudos de fallas. Esto último permite descartar la aplicación exclusiva de relaciones del tipo magnitud-longitud para la estimación o asignación de la  $M_{\text{máx.}}$  a las ZS (consideradas homogéneas por sectores) y utilizar en su lugar una guía confeccionada a los efectos que tiene: 1) un tope máximo, para la magnitud, dado por el potencial sísmico; 2) la jerarquía de la regionalización sismotectónica del Caribe; y 3) la precisión de las dimensiones y características locales por las tres Unidades Sismotectónicas en la Provincia Sismotectónica Cubana (fig. 3 y tabla 6). No obstante satisfacer las insuficiencias de todos los modelos aquí analizados, sostenemos que este resultado es aún insuficiente y tiene que ser necesariamente mejorado.

En el mapa sismotectónico hay representadas 20 zonas sismogeneradoras, siendo Bartlett-Caimán la más activa (categoría 1,  $M_{\text{máx.}} < 8,0$ ). Los sistemas Nortecubano y Surcubano (como otros límites externos de la Provincia Sismotectónica) tienen categoría 2 como máximo ( $M_{\text{máx.}}: 7,0$ ), mientras que para las restantes zonas la categoría disminuye hasta el orden 4 ( $M_{\text{máx.}}: 5,0$ ) (fig. 3). Este material

fue utilizado por (Rodríguez, 1996) para la obtención de mapas y estimados de peligrosidad sísmica. Según su opinión los resultados alcanzados son los mejores hasta la fecha. Con anterioridad Alvarez *et al.* (1991) emplearon una versión del mapa de zonas sismogeneradoras y obtuvieron un conjunto similar para distintos períodos de recurrencia que se incluyeron en el Nuevo Atlas Nacional de Cuba editado en España (Alvarez *et al.*, 1988). En ambos trabajos están recogidos los parámetros de cada una de las zonas sismogenéticas.

La figura 1a representa, en forma muy simplificada, el sector de Cuba Occidental del mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000 (Cotilla *et al.*, 1991a) indicando la posición de los epicentros de San José de las Lajas y Torriente-Jagüey Grande.

Shenková *et al.* (1995) también emplearon con éxito el concepto de nudo y alineamientos para explicar la sismogénesis de Bratislava y determinaron la presencia de importantes movimientos verticales diferenciales en la etapa neotectónica para la región. Esta línea de trabajo fue desarrollada por Makarov y Schukin (1976), Rantsman (1979) y Spiridonov y Grigorova (1980) y está contemplada en la filosofía del mapa sismotectónico de Cuba (Cotilla *et al.*, 1991a).

Tabla 6.—Características principales de las Unidades Sismotectónicas de Cuba

Unidades Sismotectónicas	Localización	Sismicidad	Tectónica
Occidental	Se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta el sistema de fallas de Cauto-Nipe.	De tipo interior de placas. Densidad muy baja, con cierta tendencia a agrupamientos temporales.	El territorio experimenta desde al menos el Eoceno Superior una tendencia a los movimientos oscilatorios verticales. En general todo el territorio se comporta como un sistema de bloques, limitados por fallas y flexuras.
Oriental	El territorio está localizado al este del sistema de fallas de Cauto-Nipe y al norte de la zona de Bartlett-Caimán.	De tipo intermedia concentrada a profundidades menores de 40 km, con tendencia a formar agrupaciones espaciales.	La actividad neotectónica es también de tipo vertical como en la U. Occidental, aunque de mucha más intensidad, y con desplazamientos laterales. Prácticamente todo el territorio es de montañas. Hay una fuerte influencia de la zona de fallas Bartlett. Se destacan valores altos de anomalías isostáticas.
Suroriental	Zona suroriental que incluye al sistema de fallas Bartlett-Caimán.	De tipo entreplacas. Predominio de terremotos someros y mecanismo focal transcurrente sinistroso, pero en sectores hay fallamiento normal e inverso.	Predominio de fallas de transformación con un heterogéneo sistema de bloques (sumergido y emergidos) conectados por un fuerte gradiente neotectónico (el más importante del Caribe). Hay sistemas de fallas transversales (plumaje o flower structures) activas de mucha importancia.

### Propuesta para futuras investigaciones sismotectónicas

Todos los estudios de sismotectónica en Cuba, sin excepción, han finalizado en mapas de zonas sismogeneradoras con sus correspondientes estimados de  $M_{\text{máx}}$ . Esta es una diferencia significativa con relación a los mapas sismotectónicos confeccionados en Francia por el Bureau de Recherche Géologiques et Minères (1981) y España por el Instituto Geográfico Nacional (1992). Lamentablemente la información sismológica empleada es insuficiente para la toma de decisiones indiscutibles en la mayor parte del territorio, por lo que todos los estimados de riesgo sísmico obtenidos a partir de ellos tienen una importante carga subjetiva y la única manera de eliminarla es con la incorporación de nuevos datos sismológicos (Alvarez *et al.*, 1991). En este sentido, y bajo un prisma de colaboración internacional, hay sólo dos formas de obtener esa nueva información: *a)* densificando la red nacional de estaciones sismológicas. Esto permitiría: 1) disminuir el umbral de magnitud de los terremotos que se registran; 2) lograr un nivel aceptable de fiabilidad del proceso de determinación de coordenadas; 3) tener un incremento sustancial del número de terremotos registrados. Así se podría encontrar solución a muchas de las discrepancias actuales sobre la ubicación espacial de las zonas sismogeneradoras; *b)* realizando estudios paleosismológicos. Estos estudios, que van orientados a encontrar huellas de terremotos fuertes ocurridos en el pasado (hasta varios miles de años), han tenido en los últimos años una importancia decisiva en el desarrollo de las investigaciones de sismicidad. Cuando se realizan en toda su amplitud (determinación de las dimensiones focales y fechado) permiten precisar la magnitud del terremoto ocurrido, el sector de falla afectado y el tiempo de ocurrencia aproximado. El análisis complejo de la información obtenida para grandes zonas de falla permite resolver problemas muy importantes como: 1) la determinación de la segmentación de dichas zonas; 2) la estimación de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos fuertes en cada segmento (Petersen y Wesnovsky, 1994). Su aplicación en Cuba, para las zonas de mayor categoría ( $M_{\text{máx.}} > 6,5$ ), debe redundar en el esclarecimiento de la potencialidad (espacio-temporal) de las mismas. Esto ha sido abordado parcialmente por Cotilla *et al.* (1994).

Independientemente de que se puedan concretar, en un futuro inmediato, los aspectos mencionados en el párrafo anterior consideramos que no se han agotado las posibilidades para mejorar la calidad de los resultados sismotectónicos en Cuba a partir de los datos de que se dispone hasta el momento. Así,

sin siquiera pretender imponer una metodología particular ni tampoco limitar el número de especialistas que deben intervenir en una investigación sismotectónica, recomendamos para nuevos trabajos interpretar la experiencia científica y administrativa divulgada a raíz del terremoto de Spitak por Balassanian *et al.* (1994), adaptar y aplicar la guía para la confección de mapas sismotectónicos de Pavoni (1985), recoger las consideraciones y recomendaciones sobre prevención y mitigación de Roberts (1980), desarrollar los conceptos del código latinoamericano de riesgo sísmico de Estrada (1976) y seleccionar los procedimientos más idóneos y eficientes de las metodologías aplicadas en el país.

### Conclusiones

La exposición realizada permite conocer, sintética y cronológicamente, la historia y las experiencias de las diferentes investigaciones sismotectónicas desarrolladas con metodologías rusa y alemana en Cuba.

No existe hasta la fecha un único esquema o mapa de zonas sismogeneradoras para Cuba; ya que la subjetividad de las decisiones, dada la insuficiencia de la información de base, es elevada.

El resultado obtenido con la aplicación de la metodología alemana se ha comprobado con los sismos de San José de las Lajas (09-03-1995  $M_s = 2,5$ ) y de Cabo Cruz (26-08-1990  $M_s = 5,9$ ; 25-05-1992  $M_s = 6,9$ ) es la mejor, además de confirmar la existencia de la mecánica de nudos sismoactivos en el megabloque cubano.

Las zonas sismogeneradoras en el mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000, están sustentadas en: 1) la Tectónica de Placas Litosféricas; 2) los datos más actuales y fiables sobre sismicidad; 3) las regionalizaciones sismotectónicas del Caribe en cuatro zonas, y del megabloque cubano en tres Unidades.

Un salto cualitativo en la calidad de los estudios sismotectónicos de Cuba sólo se puede lograr mediante: *a)* la densificación de la red de estaciones sismológicas; *b)* la realización de estudios paleosismológicos; y *c)* una amplia colaboración internacional.

### AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado en parte por la Dirección General de Enseñanza Superior, del Ministerio de Educación y Cultura de España (Ref. SAB 995-0302). Colegas del Departamento de Geofísica y Meteorología de la Universidad Complutense de Madrid, Dr. Miguel Herraiz Solchaga y Dr. Diego Córdoba Barba, tuvieron la gentileza de sugerir algunas modificaciones.

Del Dr. José Leonardo Álvarez Gómez del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas en Cuba recibimos un importante apoyo. Al árbitro anónimo debemos la reestructuración del texto para la mejor exposición de las ideas.

## Referencias

- Academias de Ciencias de Cuba y Polonia (1981). *Levantamiento geológico de la provincia Matanzas, escala 1:250.000*. Inst. de Geol. y Paleont., ACC.
- Algermissen, S. T. (1976). Seismic hazards. *Rev. Geofísica*, 5, 31-39.
- Algermissen, S. T., y Perkins, D. M. (1973). A technique for seismic zoning: general considerations and parameters. En: *Contributions to seismic zoning*. (S. T. Hardin, edit.). NOAA. Technical report ERL 267-ESL30, Boulder, Colorado, 1-15.
- Algermissen, S. T., Perkins, D. M., Gordon, D., Reaga, G., y Howard, C. (1976). Seismic risk evaluation of the Balkan region. UNESCO, Survey of the Seismicity of the Balkan region. *Proc. Seismic Zoning Maps*, Skopje, II, 171-240. UNESCO.
- Álvarez, H. (1992). Mecanismos tectónicos y desarrollo estructural de la Sierra de Los Organos. *Rev. Miner. y Geol.*, 1, 11-18.
- Álvarez, L. (1985). *Sismicidad de Cuba Oriental*. Tesis Doctoral, Inst. de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso), 100 págs.
- Álvarez, L., Chuy, T., y Cotilla, M. (1991). Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. *Rev. Geofísica*, 35, 125-150.
- Álvarez, L., Cotilla, M., y Chuy, T. (1990). *Sismicidad de Cuba*. Tema 430.03. Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., ACC.
- Álvarez, L., Cotilla, M., y Chuy, T. (1988). Mapa de intensidades máximas de Cuba para períodos de recurrencia de 100 y 1.000 años por datos sismológicos, escala 1:2.000.000. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Sección Sismicidad II.3.3. Editado en España.
- Álvarez, L., Rubio, M., Chuy, T., y 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*. Archivo del Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., ACC.
- Álvarez, R. (1990). *Investigaciones de la estimación espacio-temporal del campo geomagnético del archipiélago cubano*. Tesis Doctoral, Univ. Estatal de Leningrado, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso), 200 págs.
- Babaev, A., Tokariyov, V., Lyskov, L., y Orbera, L. (1989). *Informe de las investigaciones geólogo-tectónicas del territorio de Cuba Oriental y de la región de emplazamiento de las áreas n.ºs 2 y 10 de la CEN Holguín*. Tomo I, Libro 3, Parte 1/1. Archivo de la UPI-CEN, Holguín, Ministerio de la Industria Básica.
- Balassanian, S. Yu., Karakhanian, A. S., Nazaretian, S. V., Arakelian, A. R., Melkumian, M. G., y Manukian, A. V. (1994). Retrospective analysis of the Spitak earthquake. *Proc. Intern. Conference at Yerevan-Sevan*, Armenia, 1-12.
- Belousov, T. P., Krestnikov, V. N., y Shebalin, N. V. (1983). Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima. En: *Investigación de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica (Cuba Central)*. Nauka, Moscú (en ruso), 81-85.
- Belousov, V. (1971). *Problemas básicos de Geotectónica*. Omega, S.A., Barcelona.
- Bormann, P. (1989). *Monitoring and analysis of the earthquake swarn 1985/86 in the region Vogtland/Western Bohemia*. Akademie der Wissenschaften der DDR, Veroff. Zentralinstitut für Physik der Erde, 2 T.
- Bowin, C. (1968). Geophysical study of the Cayman Trough. *J. Geophys. Res.*, 73, 5159-5173.
- Bowin, C. (1976). Caribbean gravity field and plate tectonics. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, 169-179.
- Bracey, D. P., y Vogt, P. R. (1971). Plate tectonics on the Hispaniola area. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 2855-2860.
- Buné, V. I., y Gorshkov, G. P. (1980). *Regionalización sísmica de la URSS. Cuestiones metodológicas y descripción del mapa de 1978*. Nauka, Moscú (en ruso), 308 págs.
- Buné, V. I., y Katrick, I. R. (1977). Data on probability of earthquakes in the map of seismic zoning. *Proc. 3rd Intern. Symposium Annual of Seismology and Seismic Risk*, 17-22 octubre. Prague, Academy. Liblice Castle, Czechoslovakia, 279-294.
- Buné, V. I., Vudenskaya, N. A., Gzovskii, M. V., y Gorbunova, I. V. (1971). Sismicidad y regionalización sísmica del Asia Central. En: *El terremoto de Tashkent del 26 de abril de 1966*, II, 1, Instituto de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso), 347-369.
- Bureau de Recherche Geologique et Minerale (1981). *Carte Seismotectonique de la France*. Memoire BRGM, 111, 36 págs.
- Burke, K., Cooper, C., Dewey, J. R., Mann, P., y Pendell, J. L. (1984). Caribbean tectonics and relative plate motions in the Caribbean - South America Plate. (Boundary and Reg. Tectonics) *Open File of the Geol. Soc. Amer. Mem.*
- Chuy, T., Dzshuraev, R. U., Álvarez, L., Álvarez, H., y Mirzoev, K. (1988). *Informe técnico de las investigaciones macrosísmicas en el territorio de Cuba oriental y en la región de emplazamiento de las variantes n.ºs 2 y 10 de la CEN Holguín*. Archivo del Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., ACC.
- Chuy, T., González, B., y Álvarez, L. (1983a). Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba. *Inv. Sismológicas en Cuba*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 4, 37-52.
- Chuy, T., González, B., y Polo, B. (1988a). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba. *Com. Científ. Geofísica y Astronomía*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 4, 21 págs.
- Chuy, T., y Rodríguez, M. (1980). La actividad sísmica de Cuba basada en datos históricos. *Inv. Sismológicas en Cuba*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 1, 5-17.
- Chuy, T., Vorobiova, E., González, B., Álvarez, L., Serrano, M., Cotilla, M., y Portuondo, O. (1983b). El sismo del 16 de diciembre de 1982 Torriente-Jagüey Grande, provincia Matanzas. *Inv. Sismológicas en Cuba*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 3, 44 págs.
- Comisión 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*. Archivo del Dpto. de Sismología, Inst. de Geof. y Astr., ACC.

- Cotilla, M. (1993). *Una caracterización sismotectónica de Cuba*. Tesis Doctoral. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 200 págs.
- Cotilla, M. (1995). José Martí, la sismología y los terremotos en zonas estables. *Rev. Historia de América*, 119, 35-47.
- Cotilla, M., y Alvarez, L. (1991). Principios del mapa sismotectónico de Cuba. *Rev. Geofísica*, 35, 113-124.
- Cotilla, M., Alvarez, L., Chuy, T., y Portuondo, O. (1988). Peligrosidad sísmica en Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba. *Com. Científ. Geofísica y Astronomía*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 12, 19 págs.
- Cotilla, M., Alvarez, L., y Rubio, M. (1977). Sismicidad de tipo intermedia en Cuba. *Rev. Geol. Colombiana*, 22, 35-40.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke, H. J., Alvarez, L., González, E., Díaz, J., Grünthal, G., Pilarski, J., y Arteaga, F. (1991a). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Com. Científ. Geofísica y Astronomía*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 23, 35 págs.
- Cotilla, M., y Franzke, H. J. (1994). Some comments on the seismotectonic activity of Cuba. *Z. Geol. Wiss.*, 22, 347-352.
- Cotilla, M., González, E., Franzke, J., Díaz, J., Oro, J., Arteaga, F., y Alvarez, L. (1991b). Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Com. Científ. Geofísica y Astronomía*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 23, 58 págs.
- Cotilla, M., Millán, G., Alvarez, L., González, D., Pacheco, M., y Arteaga, F. (1994). Preparación del esquema neotectogénico de Cuba. *Archivo del Inst. de Geof. y Astr.*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 300 págs.
- Cotilla, M., Rubio, M., Alvarez, L., y Grünthal, G. (1988). Potenciales sísmicos de parte del arco del norte del Caribe. *Rev. Geofísica*, 146.
- Cotilla, M., y Udías, A. (1998). Caracterización sismotectónica preliminar del límite Caribe-Norteamérica. *Resúmenes de la 1.ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, Aguadulce, Almería.
- Cuevas, J. L. (1994). *Caracterización de las anomalías gravimétricas en Cuba centro oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad*. Tesis Doctoral, Inst. de Geof. y Astr., Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 200 págs.
- DeMets, R., Gordon, R. G., Arges, D. F., y Stein, S. (1990). Current plate motions. *Geophysics. J. Intern.*, 101, 425-438.
- Dengo, J., y Sykes, L. R. (1995). Determination of Euler pole for contemporary relative motion of the Caribbean and North American plates using slip vectors of interplate earthquakes. *Tectonics*, 14, 39-53.
- Díaz, J. L. (1985). Morfoestructura de Cuba occidental y su dinámica. Tesis Doctoral, Inst. de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso), 200 págs.
- Estrada, G. (1976). Un código latinoamericano para la prevención del riesgo sísmico. *Rev. Geofísica*. Inst. Pan. de Geografía e Historia, 4, 9-13.
- Fundora, M. (1982). *Interpretación combinada de los materiales geofísicos a escala 1:100.000 en la región Habana-Matanzas*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Carolina, Checoslovaquia, 200 págs.
- García, J., y Rodríguez, M. (1994). Empleo de la geostatística para el trazado de las isosistas. *Archivos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Gitis, V. G., Alvarez, L., Chuy, T., y Cotilla, M. (1992). Magnitudes máximas de los terremotos en la regionalización del Caribe determinadas con el sistema de experto GEO. *Rev. Reconocimiento de Elementos de Estructuras Espaciales*. Inst. de Cibernética y Física e Inst. de Geof. y Astr., ACC, 6, 40-52.
- González, E., Cañete, C., Díaz, J., Pérez, L., y Cotilla, M. (1989). Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250.000. *Rev. Serie Geol.* Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, Ministerio de la Industria Básica, 1, 16-34.
- González, B., y Vorobiova, E. (1989). Distribución de las profundidades de los terremotos y su relación con la magnitud en la región de las Antillas Mayores. *Com. Científ. Geofísica y Astronomía*. Inst. de Geof. y Astr., ACC, 2, 15 págs.
- Grünthal, G., Bankwitz, P., Bankwitz, E., Bednark, J., Guterech, B., Schenk, V., Schenkova, Z., y Zeman, A. (1985). Seismic and geological features of the eastern part of the West European Platform. *Gerlands. Beitr., Geophys.*, 94, 4-16.
- Gubin, I. (1990). Sismotectónica en la URSS. *Ciencias de la URSS*, 4, 3-10.
- Hernández, J. R. (1989). *Geomorfología estructural y geodinámica reciente del relieve del sudeste de Cuba (en la zona de interacción de la microplaca cubana y la fosa profunda de Bartlett)*. Tesis Doctoral, Inst. de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso), 200 págs.
- Holcombe, T. L., Vogt, P. R., Mathews, J. E., y Murchinson, R. R. (1973). Evidence for sea-floor spreading in the Cayman trough. *Earth Planet. Sci. Letters*, 20, 357-371.
- Instituto Geográfico Nacional (1992). *Análisis Sismotectónico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias*. Publicación técnica, 26, 43 págs.
- Iturralde, M. (1977). *Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platáformico de Cuba*. Inf. Cient.-Téc., 20, Inst. de Geol., y Paleont., ACC.
- Iturralde, M. (1992). Cuban geology: a new plate-tectonic synthesis. *J. Petrol. Geol.*, 17, 39-70.
- Johnston, C., y Kanter, L. R. (1990). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific Amer.*, 42-49.
- Jordan, T. H. (1976). The present-day motions of the Caribbean plate. *J. Geophys. Res.*, 80, 32, 4433-4439.
- Kelleher, J. (1972). Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions. *J. Geophys. Res.*, 77, 2087-2103.
- Kelleher, J., y McCann, W. (1976). Buoyant zones great earthquakes and unstable boundaries of subduction. *J. Geophys. Res.*, 81, 4885-4896.
- Kelleher, J., Sykes, L., y Oliver, L. (1973). Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and the Caribbean. *J. Geophys. Res.*, 78: 2547-2585.
- Kisslinger, C. (1975). Predicción de terremotos. *Rev. Geofísica*, 3, 43-65.
- Krestnikov, V. N. (1987). Geological aspects of earthquakes hazard. En: *Proceedings of the UNDRO/USSR/UNESCO/UNDP*. Trining seminar on earthquake prediction and mitigation of earthquake losses, URSS, 6-28.

- Krestnikov, V. N., Frend, V. M., y Shebalin, V. (1983). Sobre la metodología de las investigaciones geológicas y sismológicas para la estimación de la peligrosidad sísmica. En: *Investigaciones de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica (Cuba Central)*. Nauka, Moscú (en ruso), 81-85.
- Linares, E., Dovbnia, A. V., Osadchiy, P. G., Judoley, C. M., Gil, S., García, D., Zuazo, A., Furrázola, G., Brito, A., Evdokimov, Y. B., Markovskiy, B. A., Trofimov, V. A., y Vtulochkin, A. L. (1986). *Mapa geológico de la República de Cuba, escala 1:500.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- Makarov, G. V., y Schukin, Y. K. (1976). Valoración de la actividad de las fallas ocultas. *Geotektonika* (en ruso), 1, 96-109.
- Mann, P., y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean region. *Rev. Geophys. and Space Physics*, 22, 309-362.
- McCann, W. R., Nishenko, S. P., Sykes, L., y Krame, J. (1979). Seismic gaps and plate tectonics, seismic potential for major boundaries. *Pure Applied Geophys.*, 177, 1082-1147.
- McCann, W. R., y Pennington, W. D. (1990). Seismicity large earthquakes and the margin of Caribbean Plate. The Geol. of North America, vol H: *The Caribbean Reg.* Geol. Soc. Amer.
- McCann, W. R., y Sykes, L. R. (1984). Subduction of aseismic ridges beneath the Caribbean plate: implications for tectonics and seismic potential of the Northeastern Caribbean. *J. Geoph. Res.*, 89, 4493-4519.
- Millán, G., y Somin, M. (1981). *Litología, tectónica y metamorfismo del Escambray*. Editorial Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, 104 págs.
- Mirzoev, K. M., Babaev, A., González, B., Alvarez, H., Chuy, T. et al. (1989). *Información de la peligrosidad sísmica de Cuba Oriental*, vol. 9. Central Electronuclear de Holguín, Tomo I, Investigaciones Sismológicas.
- Molnar, P., y Sykes, L. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 80, 1639-1684.
- Mossakovsky, A., Pusharovskiy, Yu., Nekrasov, G. E., Sokolov, S. P., Formell, F., Cabrera, R., Iturralde, M. et al. (1989). *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000*. Inst. de Geol. y Paleont., ACC.
- Orbera, L. (1980). *Informe sobre las condiciones sismotectónicas de las provincias orientales para la ubicación de la CEN norte de Holguín*. Archivo de la Emp. Integral de Proyectos para la Ind. Básica. MINBAS, 55 págs.
- Orbera, L. (1983). *Estudio sismotectónico de la región occidental*. Archivo de la Emp. Integral de Proyectos para la Ind. Básica. Ministerio de la Industria Básica, 62 págs.
- Orbera, L. (1985). *Neotectónica de Cuba oriental*. Tesis Doctoral, Inst. de Física de la Tierra, AC de la URSS (en ruso), 150 págs.
- Orbera, L., Cabrera, M., Krestnikov, N., Belousov, T. P., Strangue, D., Arias, A., López, M. A., y Marquetti, M. C. (1989a). Neotectónica de Cuba y plataforma marina. *Resúmenes y programa del 1.º Congr. Cubano de Geología*. Simposio sobre la Geología del Caribe Occidental. Reunión de los proyectos 165, 242 y 262 del PICG, La Habana.
- Orbera, L., González, G., Chuy, T., y Oro, J. (1990). *Investigación sísmica en la región de emplazamiento del centro de investigaciones nucleares*, vol. 1. Sec. Ej. para Astos. Nucleares, Cuba, 344 págs.
- Orbera, L., Ramírez, R., López, M., Arias, A., Marquetti, M., y Crespo, R. (1987). Las investigaciones sismotectónicas y la estabilidad de las construcciones energéticas en Cuba. *1.º Congr. Intern. Desastres Naturales*, La Habana, 45-46.
- Orbera, L., Rodríguez, J., Solá, B., Arias, A., Marquetti, M., Lombardero, T., y Gutiérrez, I. (1989b). *Estudio sismotectónico para el complejo hidroenergético Toa-Duaba*. Archivo. Emp. Integral de Proyectos de la Industria Básica, Ministerio de la Industria Básica.
- Panagiotopoulos, D. G. (1995). Long-term earthquake prediction in Central America and Caribbean Sea based in the time and magnitude predictable model. *BSSA*, 85, 1190-1201.
- Pardo, M. (1993). Zonación gravimétrico-magnética y modelo físico-geológico conceptual del cinturón orogénico cubano. Interpretación geólogo-tectónica. *Rev. Miner. Geol.*, 1, 3-14.
- Pavoni, N. (1985). Guidelines for the construction of seismotectonic maps. *Tectonophysics*, 117, 1-6.
- Perrot, J., Calais, E., y Mercier de Lépinay, B. (1997). Tectonic and kinematic regime along the northern Caribbean plate boundary. New insights from broadband modelling of the May 25, 1992 Ms = 6,9 Cabo Cruz earthquake. *Pure Applied Geophys.*, 149, 475-487.
- Petersen, M. D., y Wesnousky, S. G. (1994). Fault slip rates and earthquake histories for active faults in southern California. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 84, 5, 1608-1649.
- Pico, R., y Chuy, T. (1989). MACRO: Sistema para el procesamiento de datos macrosísmicos de Las Antillas Mayores. *Resúmenes de la V Jornada Científica del Inst. de Geof. y Astr.*, 68 págs.
- Prol, J., Ariaza, G., y 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 Empresa Nacional de Geofísica, Ministerio de la Industria Básica, 36 págs.
- Quintas, F., Hernández, M., y Campos, M. (1994). Asociaciones estructuro-formacionales del mesozoico en Cuba Oriental. *Rev. Miner. Geol.*, 11, 3-10.
- Rantsman, E. Yu. (1979). *Lugares de terremotos y morfoestructuras de países montañosos*, Nauka, Moscú (en ruso), 171 págs.
- Riznishenko, Yu. V. (1965). De la actividad de los focos de los terremotos a la sacudibilidad de la superficie terrestre. *Fizika Zemli*, 11, 1-12.
- Riznishenko, Yu. V. (1979). *Sacudibilidad sísmica del territorio de la URSS*, Nauka, Moscú, 192 págs.
- Riznishenko, Yu. V. (1992). *Problems of seismology*, Mir, Moscú, 445 págs.
- Reisner, G. I. (1980). *Métodos geológicos de estimación de la peligrosidad sísmica*, Nauka, Moscú (en ruso), 109 págs.
- Roberts, J. L. (1980). Political and administrative considerations in the establishment of an earthquake prediction and warning procedure. *Rev. Geofísica*, 12, 25-35.
- Rodríguez, M. (1996). *Estimados probabilísticos sobre la peligrosidad sísmica en Cuba*. Ed. MAPFRE, Madrid, 80 págs.



- Rosencrantz, E., y Mann, P. (1991). Sea MARC II mapping of transform faults in the Cayman Trough, Caribbean Sea. *Geology*, 19, 690-693.
- Ross, M. I., y Scotese, Ch. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155, 139-168.
- Rubio, M. (1985). *Seismicity of the Republic of Cuba and adjacent areas*. Institute of Geophysics, Academy of Sciences Chzechoslovakia, 160 págs.
- Scientific Amer. (1976). Deriva continental y tectónica de placas, Blume, Madrid, 271 págs.
- Schwartz, D. P. (1984). Fault behaviour and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault Zones. *J. Geophys. Res.*, 89, 5681-5698.
- Serrano, M., y Alvarez, L. (1983). Desarrollo de la sismología instrumental en Cuba. *Inv. Sismológicas en Cuba*, 4, Inst. de Geof. y Astr., ACC, 5-20.
- Shebalin, N. V. (1971). Sobre la magnitud máxima y la intensidad máxima de los terremotos. *Fizika Zemli*, 6 (en ruso), 12-20.
- Shein, V. S., Klishov, K. A., Jain, V. E., Dikenshtein, G. E., Yparraguirre, J. L., y Rodríguez, R. (1985). *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- Shenková, Z., Shenk, V., Pospisil, L., y Kottner, P. (1995). Seismological pattern of a transition area between the eastern Alps and the western Carpathians. *Tectonophysics*, 248, 235-245.
- Sherbakova, B. E., Bovenko, V. G., Latzenko, T. N., y Miroshnichenko, 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 del Fondo Geológico, Ministerio de la Industria Básica (en ruso).
- Sirotskaia, S. V. (1986). *Métodos lógicos combinatorios de análisis de información geológica*, Nedra, Moscú (en ruso), 159 págs.
- Spiridonov, H., y Grigorova, H. (1980). On the interrelation between seismicity and fault structures identified by space image interpretation. *Space Research in Bulgaria*, 3, 42-46.
- Sykes, L. R., McCann, W. R., y Kafka, A. L. (1982). Motion of the Caribbean plate during last 7 million years implications for earlier Cenozoic movements. *J. Geophys. Res.*, 87, 10656-10676.
- Westbrook, G. K., Boot, H. P., y Peacock, J. H. (1973). Lesser Antilles Subduction Zone in the vicinity of Barbados. *Nature Physical Sci.*, 244, 118-120.
- Wooters, B. (1986). Seismicity and tectonics of Southern Central America and adjacent regions with special attention in to the surrounding of Panama. *Tectonophysics*, 128, 21-46.
- Zhidkov, M. P., Rotvain, I. M., y Sadovskii, A. M. (1975). Pronóstico del lugar de ocurrencia de terremotos. Intersecciones múltiples de alineamientos de la meseta de Armenia, los Balcanes y la cuenca del Mar Egeo. *Vidrislitel'naya Seismologiya*, 8 (en ruso), 53-70.

Recibido el 9 de junio de 1997.  
Aceptado el 22 de junio de 1998.