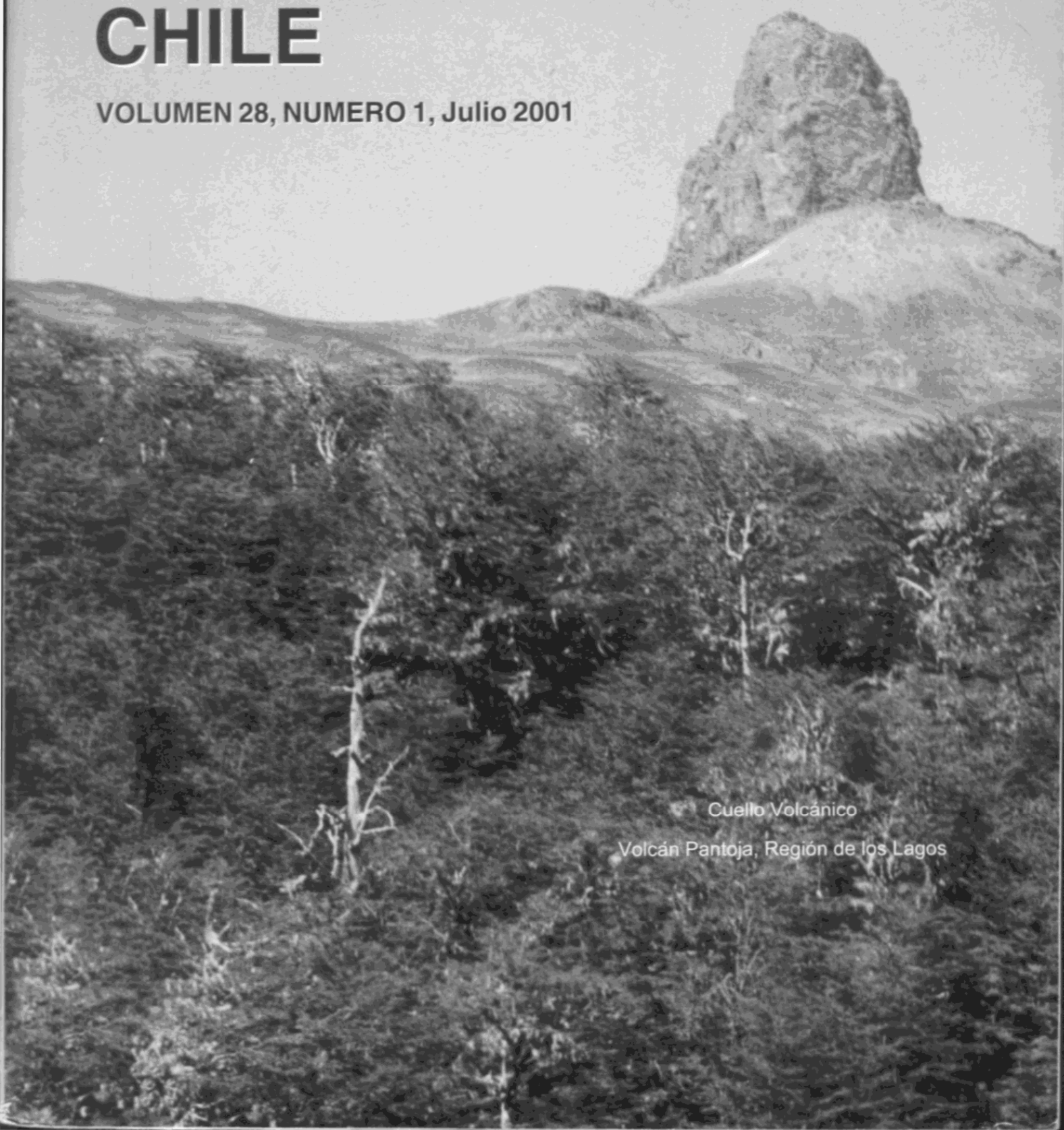


ISSN 0716-0208
ISSN 0717-618X

REVISTA GEOLOGICA DE CHILE

VOLUMEN 28, NUMERO 1, Julio 2001



Cuello Volcánico

Volcán Pantoja, Región de los Lagos

Regularidades sismogénicas de la Unidad Neotectónica Occidental de Cuba

Mario O. Cotilla

Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de
Geofísica y Meteorología,
Universidad Complutense de Madrid, España
macot@eucmos.sim.ucm.es

José L. Álvarez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, del Ministerio de
Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, La Habana, Cuba

RESUMEN

Se presentan y discuten brevemente elementos neotectónicos de Cuba y la sismicidad de su Unidad Neotectónica Occidental. Cuba es un bloque (o microplaca) localizada desde al menos el Eoceno Superior en la parte meridional de la placa Norteamérica. La Unidad Occidental está limitada por tres zonas de fallas activas (Nortecubana, Surcubana y Cauto-Nipe) y se caracteriza por el tipo de sismicidad de interior de placas. Los terremotos son de $M_s < 7,0$, se producen con largos periodos de repetición y se asocian con un mecanismo oscilatorio en la vertical de bloques. Se exponen algunas valoraciones acerca de la amenaza geológica por terremotos a que está sometido el territorio, destacando las intersecciones de fallas como las zonas más inestables.

Palabras claves: Neotectónica, Zonas sismogénicas, Cuba.

ABSTRACT

Seismogenetic regularities of the Cuban Western Neotectonic Unit. Neotectonic elements and seismicity of the Cuban Western Neotectonic Unit are presented and briefly discussed. Cuba is a block (or microplate) located in the southern part of North America plate at least since the Upper Eocene. The tectonic boundaries of the Western Neotectonic Unit are three fault zones (Nortecubana, Surcubana and Cauto-Nipe). This unit is characterized by intraplate seismicity with $M_s < 7,0$ and large recurrence periods. Some considerations about the seismic hazard with geological implications for the territory are also shown. The fault intersections are the most unstable areas.

Key words: Neotectonics, Seismogenetic zones, Cuba.

INTRODUCCION

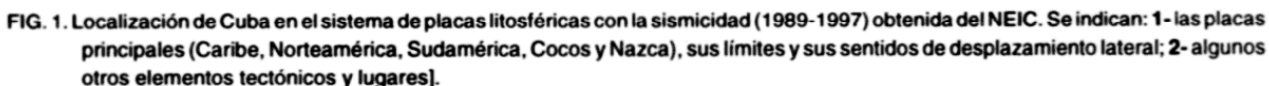
Las investigaciones sismogénicas en las zonas límites de placas litosféricas (ZLPL) resultan ser considerablemente más sencillas, que las correspondientes realizadas para zonas de interior de placas, en el sentido del grado de conocimientos

geológico y geofísico, así como por la calidad y la cantidad de datos neotectónicos, geofísicos y sísmicos disponibles. No obstante, debido a la ubicación de importantes centros poblacionales y económico-industriales en las zonas interiores de

de placas). Por supuesto, el segundo tipo está asociado al sistema de fallas Bartlett-Caimán (BC), que es donde se ha producido la mayor cantidad de terremotos y también los de mayor magnitud. Esto se justifica a partir del complejo proceso de interacción (predominio del desplazamiento lateral izquierdo) de las placas litosféricas, particularmente, de Norteamérica y del Caribe (Mann y Burke, 1984).

La atención en el trabajo se dirige al primer tipo de sismicidad (de interior de placas) y en consecuencia al territorio donde ella se localiza, la Unidad Neotectónica Occidental (UNOc) establecida sobre la base de estudios de neotectónica, como se verá más adelante (Fig. 2).

más adelante (Fig. 2).



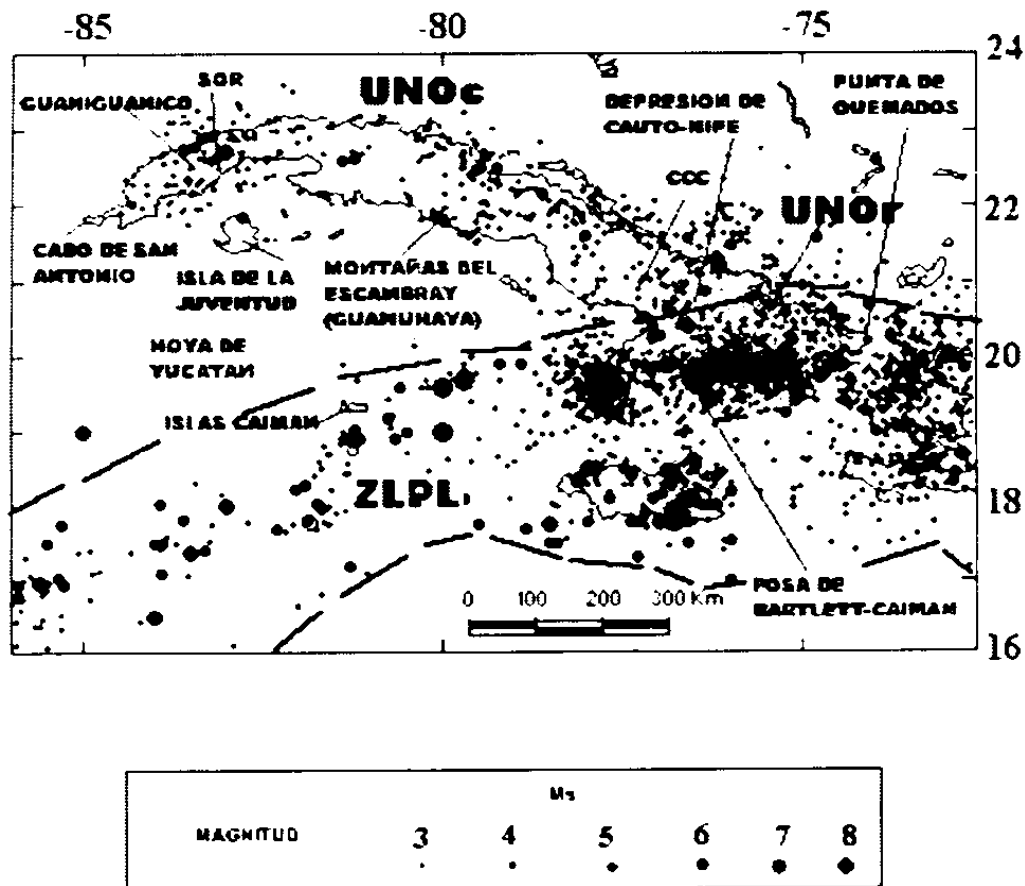


FIG. 2. Megabloque Cuba con las Unidades Neotectónicas (UNOc: Occidental y UNOr: Oriental). [Aparecen representadas: 1- la sismicidad ($M_s \geq 3$), determinada con: a- las estaciones sismológicas SOR: Soroa, CCC: Cascorro y la red oriental; b- los datos macrosísmicos; 2- la zona límite de placas litosféricas (ZLPL); 3- algunas localidades, zonas y elementos físico-geográficos].

MARCO GEODINAMICO

Las particularidades de la situación geodinámica y del desarrollo geoestructural de Cuba en el sistema del arco insular de las Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, La Española [Haití y República Dominicana] y Puerto Rico) están determinadas por su posición en la región Norteamérica-Caribe. Esta región se localiza entre dos continentes, América del Norte y del Sur, y entre dos cuencas oceánicas (océano Atlántico y océano Pacífico), estando constituida por dos sistemas de arcos insulares (Antillas Mayores y Antillas Menores), fosas marinas (Swan, Oriente y Puerto Rico) y cadenas de montañas submarinas (Jain, 1971; Hernández *et al.*, 1989) (Fig. 1).

La combinación complejidad e información insuficiente sobre la región ha conducido no sólo a la aplicación sino también a la elaboración de diversas

teorías geotectónicas como se recoge en Hernández *et al.* (1989). Desde la perspectiva de la tectónica de placas, consideramos que en el proceso de interacción dinámica entre las placas continentales de Norteamérica y Suramérica se produjo la fracturación de sus bordes y de la zona intercontinental Caribe, con la consecuente formación de bloques diversos en forma y estructura. Por ello, para comprender la sismicidad de Cuba es necesario examinar, brevemente, en primer lugar su entorno tectónico inmediato, el sistema litosférico Norteamérica-Caribe.

En la región Norteamérica-Caribe hay tres grandes elementos estructurales, la zona continental (desarrollada en el borde submarino de la periferia meridional de la placa Norteamérica), la zona de

transición (el bloque Cuba {compuesto por tres unidades regionales: el archipiélago de Cuba, la hoya de Yucatán y el bloque insular submarino Caimán} y la periferia septentrional de la placa Caribe) y la zona marina (la placa Caribe) (Hernández *et al.*, 1989). El bloque Cuba se localiza en la parte meridional de la placa norteamericana (M. Iturralde, 1977)¹. La zona de interacción entre las placas de Norteamérica y del Caribe está representada por la fosa de Bartlett-Caimán, con una corteza de 5-10 km de espesor. Esta fosa se extiende $1,6 \times 10^3$ km sublatitudinalmente desde el Golfo de Honduras hasta el noroeste de Haití (Bowin, 1968). Tiene profundidades cercanas a 8 km al sur de la Sierra Maestra en Cuba, donde existe el gradiente neotectónico más fuerte de la región (Cotilla *et al.*, 1991c). El ancho varía entre 100 y 160 km con un perfil asimétrico y el espesor de sedimentos disminuye de oeste a este desde 1,65 a 0,6 km. Tiene un pequeño centro de generación de corteza oceánica (110 km aproximadamente) en los $81^{\circ}40'W$ (Holcombe *et al.*, 1973; Rosencratz y Mann, 1991) que permite el desarrollo de un sistema de fallas transformantes (denominadas Swan y Oriente, según su posición oeste y este respectivamente, y que en conjunto se denominan Bartlett-Caimán) (Fig. 1). Este sistema disyuntivo se conoce en las inmediaciones de Honduras-Guatemala como fallas Polochic y Motagua, responsable del fuerte sismo del 04.02.1976 ($M_s=7,5$) (Kanamori y Stewart, 1976). MacDonald y Holcombe (1978) determinaron que el suelo oceánico se genera con velocidades diferentes para los últimos 24 millones de años,

20 ± 2 mm/año, y para los últimos $6,0 \times 10^3$ años, 40 ± 2 mm/año. De acuerdo con Erickson *et al.* (1972) este centro de generación tiene valores de flujo calorífico de hasta $2,3 \text{ kcal/cm}^2/\text{s}$ y las zonas inmediatamente aledañas a la fosa se caracterizan por tener de 1,3 a $1,6 \text{ kcal/cm}^2/\text{s}$.

La placa Caribe experimenta una velocidad de desplazamiento neto hacia el este 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; Sykes *et al.*, 1982; DeMets *et al.*, 1990; Deng y Sykes, 1995). La velocidad relativa del desplazamiento de la placa Caribe es diferente con relación a las placas de Norteamérica ($1,4\text{-}2,1 \text{ cm/año}$) y Suramérica ($1,1\text{-}2,2 \text{ cm/año}$). En el límite oeste las placas Cocos y Nazca subducen bajo la placa Caribe, y en el límite este la subducción no se presenta tan definida, pero si manifiesta desde las inmediaciones de la isla de Barbados (Westbrook *et al.*, 1973). En este sentido, la interacción dinámica de la placa Caribe es mayor en el borde occidental que en el oriental, ya que las velocidades estimadas alcanzan valores de 7-9 y $2,2 \text{ cm/año}$, respectivamente. Los estimados anteriores no incluyen la influencia de las deformaciones internas de las placas.

En la figura 1 está incluida la sismicidad ($M \geq 3,0$) de la región para el período 1989-1997, de acuerdo con los informes del NEIC. De ella se puede comprobar que el límite indicado por el sistema Bartlett-Caimán es muy activo y que la estructura Cuba, y en particular su parte occidental, está desprovista de eventos sísmicos.

EVOLUCION GEOLOGICA DE CUBA

En la literatura geológica de Cuba hay numerosos y muy variados trabajos dedicados a la generalización tectono-estratigráfica, en los cuales, y según diversos criterios y concepciones, se encuentran no pocas interpretaciones acerca de su origen y evolución (Lewis, 1932; Butterlin, 1956; Furrázola *et al.*, 1964; Khudoley, 1967; Knipper y Cabrera, 1974; Iturralde, 1981, 1992). Del análisis de esas y otras publicaciones e informes se concluye que no es posible proponer una exacta división de los

procesos geológicos acontecidos, sin tomar en consideración, la evidente y observada, zonalidad espacial de tales procesos. Tampoco hay una única división general en pisos estructurales de toda Cuba, pues está demostrada la migración de los procesos en el espacio y el tiempo. Es decir, que hay muchos acontecimientos tectónicos y sedimentarios que no afectaron de forma simultánea y con la misma intensidad a todo el territorio, de hecho hay muchas transiciones graduales laterales.

* Todos los trabajos inéditos citados en el texto están contenidos en el APENDICE, con la numeración correlativa del texto.

Varías son las hipótesis acerca del desarrollo geológico del archipiélago cubano, las cuales han sido reseñadas en diferentes trabajos. Entre ellos Lewis (1932); Furrázola *et al.* (1964); Khudoley (1967); Iturralde (1981, 1992); Díaz (1985); Hernández (1987); Mossakovsky *et al.* (1989) y Shein *et al.* (1978). Sin embargo, como se expresa en Cotilla, 1993, tales investigaciones poseen un conjunto de datos que no ofrecen margen a especulaciones, y como el objetivo nuestro es neotectogénico, la historia pre Eoceno Superior resulta considerablemente menos importante que la post Eoceno Superior. No obstante, los autores han escogido un modelo propuesto por Iturralde (1981) en el cual se asume la presencia de un territorio con corteza continental, aproximadamente, en la misma situación geográfica que la Cuba actual. Ahí se desarrolló entre el Triásico Tardío y el Eoceno Medio una nueva corteza, esta vez oceánica, debido a un complejo proceso de apertura intracontinental por la migración al sur del paleocontinente y con referencia a la Plataforma de Las Bahamas. En el espacio creado aparece una nueva estructura de cuenca que se consolidó (Cretácico Superior-Eoceno Superior Temprano), en un marco geodinámico de migraciones hacia el norte y al este del paleocontinente, con corteza de tipo sialica acrecionada a la Plataforma de las Bahamas. Este proceso se puede distinguir en cuatro etapas: 1- continental; 2- oceánica; 3- continentalización; 4- moderna o neoplatafórmica. Dado el carácter de nuestro trabajo sólo nos referiremos, brevemente, a la última de esas etapas.

En general, es aceptado por la mayoría de los especialistas en tectónica que hay dos enfoques diferentes para precisar la etapa inicial del desarrollo neotectónico de un territorio, el geológico y el geomorfológico. Para Cuba han sido aplicados ambos enfoques (Cotilla *et al.*, 1991c). Shein *et al.* (1975) consideran desde el punto de vista geológico que la etapa neoplatafórmica está definida en el final del Paleógeno. Aseguran esos autores que en esa etapa cesó toda la actividad magmática del arco insular y comenzó a producirse la transformación de las estructuras plegadas a estructuras de bloque. El enfoque geomorfológico se fundamenta, evidentemente, en el relieve y a partir de él Lillenbergh (1973) apreció la división en bloques de las morfoestructuras, con el predominio de movimientos verticales y la consecuente formación de un campo diferencial. Esta posición ha permitido distinguir dos subetapas: Oligoceno-Mioceno y Mioceno-

Pleistoceno (Hernández *et al.*, 1989). Al margen de un partidismo, queda claro que hay un punto común entre ambos enfoques, la división en bloques (con diferente tendencia en la vertical) de la corteza en un fondo de movimientos horizontales débiles. Esos bloques delimitados en las investigaciones no siempre coinciden (Cotilla *et al.*, 1991c).

En la actualidad (etapa moderna o neoplatafórmica) el territorio de Cuba se divide en dos grandes mosaicos geológicos superpuestos que se corresponden con diferentes etapas de su desarrollo: un substrato plegado y un neoaútctono. El substrato plegado está compuesto de rocas y estructuras de origen continental y oceánico, las cuales surgieron y evolucionaron (en un área mucho mayor) fuera de los límites del actual territorio con una tectónica muy compleja de mantos de corrimiento. Por su parte el neoaútctono también posee rocas y estructuras, pero todas ellas originadas en las inmediaciones del actual archipiélago, a partir del Eoceno Superior Tardío y luego de la consolidación del substrato plegado. En el neoaútctono predominan los movimientos verticales de tipo oscilatorio, que conforman al megabloque en ascenso con distintos valores de amplitud / velocidad. Así, Cuba ha sido caracterizada (M. Iturralde, 1977)¹ como una estructura en bloques (de los tipos 'horst y graben') en una tendencia de movimientos verticales oscilatorios desde el Eoceno Superior. 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 (Cuevas, 1994; Díaz, 1985; Hernández, 1987; González *et al.*, 1989; Cotilla *et al.*, 1991c; Alvarez, 1992; J.L. Prol *et al.*, 1993)² han comprobado por diferentes vías la existencia del mecanismo oscilatorio de estos bloques.

CARACTERÍSTICAS NEOTECTÓNICAS

Ushakov *et al.* (1979) definieron a la microplaca Cuba, para González *et al.* (1989) megabloque Cuba, como una neoestructura insertada en la placa de Norteamérica, donde sus límites son la sutura Nortecubana, el morfoalineamiento oriental de Yucatán y el sistema septentrional de Bartlett-Caimán. Esta propuesta se corresponde perfectamente con el mapa de anomalías de Bouguer de Oliva y Prol (1990). Sobre esa base, las investiga-

ciones neotectónicas llevadas a cabo por Cotilla *et al.* (1991c) permitieron proponer un modelo neotectónico y diferenciar dos Unidades Neotectónicas (UN) en el megabloque Cuba: Occidental (Oc) y Oriental (Or). Estas Unidades están conectadas por el sistema de fallas activas Cauto-Nipe (CN) de dirección noreste, que se articula diferentemente al sur y al norte con los sistemas de fallas (límites externos del neoplano) Bartlett-Caimán y Surcubana (SC), y Nortecubana (NC), respectivamente y que Quintas *et al.* (1994) también delimitan (Fig. 2). Las UN poseen una marcada diferenciación en cuanto a características tectónicas, geomorfológicas, geofísicas y sismológicas. Así, la UNOc se extiende desde el Cabo de San Antonio, en el oeste, hasta la depresión de Cauto-Nipe, al este y posee un área mucho mayor que la de la UNOr; aunque su actividad neotectónica es significativamente menor con relación a la oriental. También está más alejada del límite de placas, antes mencionado, de BC. Las llanuras, en sentido general cubren un área mayor que las alturas y las elevaciones máximas son mucho menores que en la otra Unidad. Es decir, el relieve es menos vigoroso. El parteaguas principal de primer orden (divisoria de aguas que se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta el este de Cuba, la Punta de Quemado) no presenta grandes irregularidades en su extensión. Los ríos principales son de órdenes menores que en la Unidad Oriental (donde alcanzan el orden 8). Los sectores de levantamientos neotectónicos (determinados por el método de diferencias de superficies básicas de Filosofov (1960)) son también menos numerosos e intensos que en la otra Unidad y existen amplias zonas donde no se manifiestan. La amplitud total de los movimientos neotectónicos verticales en el macizo montañoso del Escambray (Guamuhaya, al sur y centro de la isla) es ligeramente superior a 1.000 m y en el resto del territorio considerablemente inferior.

Una relativamente homogénea actividad neotectónica caracteriza a la UNOc desde el Eoceno Superior hasta la actualidad. En los bloques elevados, macizos de Guamuhaya e Isla de la Juventud, los movimientos ascendentes se iniciaron no más tarde del Maestrichtiano. Sin embargo, en la cordillera de Guaniguanico y en la región del Margen Continental Septentrional (Norte de Cuba Central) ocurrieron los primeros ascensos con posterioridad

al Eoceno Medio, quedando a partir de éstos ya establecidas las zonas o bloques de ascenso y descenso de forma relativamente estable. Las épocas más activas fueron el Mioceno Inferior (transgresión general) y el Plioceno (regresión moderada) con varias transgresiones y regresiones marcadas en el Pleistoceno. Estas fueron intensas pero de corta duración, manteniéndose las tendencias establecidas del Eoceno Superior, y para algunos bloques aún desde antes.

La Unidad Occidental se caracteriza también por la existencia de gran número de cuencas superpuestas, con tendencias claras al descenso en las zonas de Los Palacios, Las Vegas, La Broa, Santo Domingo, Central, Redención, Cochinos, Bela, Ana María y Navarro. En general, posee una amplia plataforma insular con cayerías en ambas costas y que Hernández *et al.* (1988) discuten. La mayoría de los pozos geológicos abiertos en su plataforma marina septentrional muestran que bajo las secuencias pleistocénicas, yacen areniscas, lutitas y margas arenosas de edad Eoceno Inferior, las cuales son correlacionables con la Formación Capdevila. Esto refleja un proceso de 'equilibrio', ya que mientras las zonas (bloques) actualmente emergidas, se comportan como cuencas sedimentarias durante prácticamente todo el Paleogeno Superior y el Neogeno, las zonas (bloques) hoy sumergidas en la plataforma marina, estaban sometidas a la erosión. Es decir, ocurrió una inversión del proceso durante el Pleistoceno.

Existe una definida tendencia a la continentalización en la UNOc, ya que las estructuras paleotectónicas han perdido su independencia y las cuencas superpuestas cubren las secuencias pertenecientes a zonas diferentes por igual. Es decir, que se atravesó por un período de uniformidad estructural y un cubrimiento por unidades nuevas, relativamente poco activas e indiferenciadas. Todo lo que confirma la existencia del tipo de desarrollo de plataforma moderna o neoplataforma de M. Iturralde (1977)¹. Durante el Paleogeno disminuyó o se extinguió el vulcanismo.

El archipiélago cubano está situado en la zona de desplazamientos activos entre las placas litosféricas del Caribe y Norteamérica (Alvarez *et al.*, 1985) y la intensidad de los movimientos recientes verticales (determinados a partir de nivelaciones geodésicas de alta precisión) en general posee un

carácter moderado y los cambios de las magnitudes, no supera la decena de mm/año (Hernández, 1987). Para el sector emergido desde el Cabo de San Antonio hasta la falla Cochinos de la UNOc, Díaz y Lilienberg (1989) comprobaron lo anterior y determinaron una estructura de bloques de distinta geometría y disposición, pero con una acusada interrelación geodinámica. Esos especialistas aseguran que existe una tendencia al incremento de la intensidad y el carácter contrastante de los movimientos recientes verticales de oeste a este y una inclinación general norte-sur del sector. Sin embargo, González *et al.* (1989) consideran que las evaluaciones de los datos geodésicos de Cuba no son definitivos para establecer los movimientos recientes verticales de las estructuras, debido a que los puntos geodésicos son insuficientes en cantidad y porque tienen una heterogénea distribución, sin contar que no hay control de red de mareógrafos. Añaden también que estos puntos se establecieron

con otros propósitos, tales como el apoyo para el trazado de la red vial. Ahora bien, consideran que si es factible emplearlos, pero con mucha precaución, para evaluar tendencias de movimiento.

Atendiendo al conjunto de características neotectónicas y a la distribución espacio-temporal y energética de los sismos Cotilla *et al.* (1991a) delimitaron tres unidades sismotectónicas (US) (Occidental, Oriental y Suroriental), que coinciden geográficamente con las dos unidades neotectónicas homónimas y el límite de placas (BC), respectivamente (Fig. 3). Los resultados gravimétricos de J.L. Prol *et al.* (1993)² sugieren la existencia de estas tres unidades (Fig. 3). La mayor actividad (cantidad y magnitud de terremotos) y peligro (afectaciones y daños producidos) se localiza en la US Suroriental (Fig. 3) (Cotilla, 1993). En ella se producen eventos sísmicos ($M_s \leq 7,0$) del tipo de entre placas litosféricas.

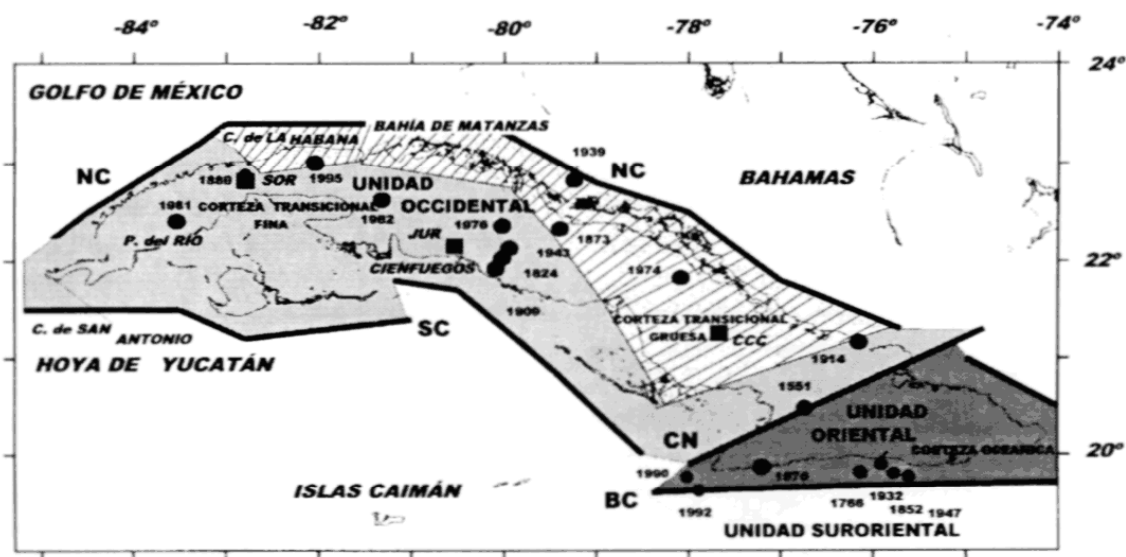


FIG. 3.-Esquema de localización de las tres Unidades Sismotectónicas [Occidental, Oriental y Suroriental] (Cotilla *et al.*, 1991a) y los tipos de corteza en Cuba y su entorno inmediato; 1- corteza transicional gruesa (en rayado); 2- corteza transicional fina (en gris claro); 3- corteza oceánica (en gris oscuro) según (Prol *et al.*, 1993). Aparecen las estaciones sismológicas (cuadrado negro y siglas CCC, JUR, SOR) y algunos eventos sísmicos importantes (círculo negro y año de ocurrencia). En líneas gruesas de color negro están los sistemas de fallas (BC, NC, SC y CN).

DATOS GEOFISICOS

GENERALIDADES

Las investigaciones geofísicas para el estudio de la estructura profunda de Cuba no son pocas en cantidad (Soloviev, 1962; Soloviev *et al.*, 1964a; Levchenko y Riabujin, 1971; Scherbakova *et al.*, 1975, 1977; Levchenko *et al.*, 1976; Shein *et al.*, 1978; Ushakov *et al.*, 1979; Oliva, 1976; Bovenko *et al.*, 1980; Fundora, 1982; Shein *et al.*, 1985; Bush y Sherbakova, 1986; Pushcharovsky *et al.*, 1987; J.A. Díaz Duque *et al.*, 1989³; Mirzoev *et al.* (1989); Alvarez, 1990; Oliva y Prol, 1990; J. Cuevas *et al.*, 1992⁴; J.L. Prol *et al.* (1993)⁵; Cuevas, 1994). Sin embargo, ellas tienen, en su mayoría, un carácter fragmentario y en consecuencia sólo es factible componer un cuadro general, no pocas veces contradictorio (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵. Esas investigaciones indican que la corteza de Cuba es heterogénea y que contiene elementos de diferente origen y edad. Además, distinguen un arreglo cortical en tres capas con importantes variaciones en las direcciones transversal y lateral al eje mayor de la isla.

Con este fundamento resultan ser los sistemas de fallas submarinas, ya mencionadas (BC, NC y SC) (Fig. 4) los principales por el nivel de actividad,

las dimensiones y la función de límites externos del megabloque Cuba; mientras que para la parte emergida hay otros sistemas menores que constituyen límites de bloques de distinta disposición, geometría, dimensiones y estructura. 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) (Fig. 4). Los de primer tipo, por lo general, no se expresan en el relieve (ej. Cauto-Nipe), sino que están cubiertos por importantes espesores de sedimentos y los del otro tipo, aunque expresados por sectores, están limitados por los primeros (desde el Eoceno Medio). Con respecto a los sistemas disyuntivos menores no hay, hasta el momento, coincidencia entre los especialistas (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵.

APLICACIONES

Es conocido que los campos gravimétrico y magnético regionales reflejan el estado de la corteza terrestre en la etapa actual. Luego, la distribución, el nivel y las características morfoestructurales de esos campos, obviamente interrelacionados,

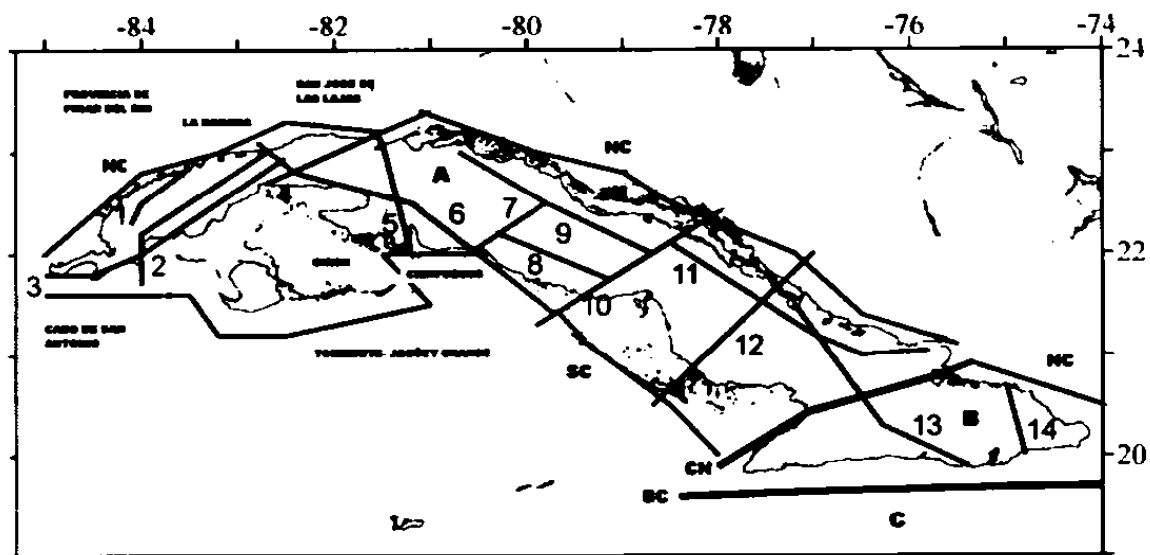


FIG. 4. Fallas activas de Cuba (según Cotilla *et al.*, 1991a). Se representan 1- las Unidades Sismotectónicas (A: Occidental, B: Oriental, C: Suroriental); 2- las fallas (1: Consolación del Norte, 2: Pinar, 3: Guane, 4: Hicacos, 5: Cochinos, 6: Habana-Cienfuegos, 7: Cienfuegos-Santa Clara, 8: Tuinicú, 9: Las Villas, 10: La Trocha, 11: Cubitas, 12: Camagüey, 13: Baconao, 14: Pural; BC: Bartlett-Caimán, CN: Cauto-Nipe, NC: Nortecubana, SC: Surcubana); 3) algunas localidades].

reflejan la posición espacial de los elementos geológicos y tectónicos principales (paleo y neotectónicos). De esta forma, Pardo (1993) delimitó seis bloques para Cuba, cinco de ellos están en la UNOc y el sexto bloque se corresponde por completo con la UNOr. La disposición de los cinco primeros bloques coincide, aceptablemente, con los bloques neotectónicos de más jerarquía (macrobloques) delimitados por Cotilla *et al.* (1991c).

Resultados gravimétricos obtenidos para Cuba (J.L. Prol *et al.*, 1993)² han permitido comprobar, también, la existencia de las Unidades Neotectónicas. En este sentido, los valores del campo gravimétrico, aunque predominantemente positivos en la UNOc, se presentan por zonas con valores negativos en las áreas marítimas aledañas y en las cuencas interiores. En los contrastes de signos detectan fallas. Esos valores siempre son de mucho menor nivel que los de la UNOr. También, las anomalías isostáticas (J. Cuevas *et al.*, 1992)⁴ para la región Habana-Tunas (la mayor parte de la UNOc) son positivas, aunque de área y valor menores que las de la otra unidad. Cuevas (1991) determinó diferencias significativas en los valores del gradiente horizontal del efecto gravimétrico calculado para tres partes de Cuba. Esos valores están en el intervalo $0,16-0,6 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}\text{km}^{-1}$, pero los más altos corresponden a la UNOr. Luego, es factible asegurar, en una primera aproximación, que hay una correspondencia directa entre los datos neotectónicos y gravimétricos.

La estructura profunda de la UNOc ha sido estudiada por medio de perfiles sísmicos (Sherbakova *et al.*, 1975, 1977), gravimétricos (J.A. Díaz Duque *et al.*, 1989)³, magnéticos (Alvarez y Kolesova, 1983) y eléctricos. J.L. Prol *et al.* (1993)² luego de una muy amplia revisión de los datos y resultados de tipo geológico y geofísico, propios y de otros autores, argumentan la existencia de tres tipos de corteza: oceánica, transicional gruesa y transicional fina (Fig. 3), correspondiendo espacialmente las dos últimas a las de la Unidad Neotectónica Occidental, y que Cotilla *et al.* (1991b) supusieron a partir del procesamiento (automático y analógico) de las imágenes de satélite y de su posterior interpretación. No obstante, los resulta-

dos de otros especialistas (Sherbakova *et al.*, 1975, 1977; Shein *et al.*, 1985; J. Cuevas *et al.*, 1992)⁴ no se corresponden con esta propuesta y sostienen la presencia en Cuba de una estructura de corteza regular o adelgazada. Los autores del presente trabajo mantenemos la primera posición, la transformación sucesiva de la corteza terrestre, ya que en los alrededores inmediatos del bloque cubano hay estructuras que tienen también estas características (e.g., la depresión submarina de Bartlett-Caimán) y ellas han tenido, como se ha visto antes, un desarrollo geodinámico similar.

El procesamiento (analógico y automático) de los datos geofísicos de Cuba por Shein *et al.* (1985), J. Cuevas *et al.* (1992)⁴ y J.L. Prol *et al.* (1993)² ha dado lugar a tres modelos diferentes, a escala 1:250,000-1:500,000 con un conjunto de fallas de distinta categoría. Los mapas y esquemas obtenidos por Shein *et al.* (1985) y J.L. Prol *et al.* (1993)² difieren muy poco entre sí, pero mucho con relación al de J. Cuevas *et al.* (1992)⁴, ya en resultados, objetivos y concepción (aunque la base estadística es en general la misma). Por ello mismo es en extremo difícil emplearlos al momento de evaluar una zona desde el punto de vista sismotectónico (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵. Según nuestra opinión esto es debido, principalmente, a la no contrastación (prueba de ajuste-error) de sus resultados en las mismas zonas patrones y sobre la base de una geología bien conocida.

Con independencia de que la precisión de los datos geomagnéticos es por lo general menor que la de los datos gravimétricos resulta significativo que los resultados de Pérez y Azcuy (1992), que obtuvieron entre otras cosas una red de alineamientos, se corresponda muy bien, según ellos, con las zonas propuestas por Cotilla *et al.* (1991a) y según M. Cotilla *et al.* (1993)⁵ no coincidan con el esquema de J. Cuevas *et al.* (1992)⁴. Tampoco el resultado de Pardo (1993) coincidió con el de J. Cuevas *et al.* (1992)⁴ y si se añade que la tectónica conocida, al menos, en la región Central (alrededores de la bahía de Cienfuegos) difiere absolutamente de él, entonces podemos descartarle con conocimiento de causas.

ELEMENTOS DISYUNTIVOS

A partir de Mossakovsky *et al.* (1989) es factible plantear que existe en Cuba una marcada diferenciación lateral de la estructura y la tectónica de las zonas estructuro-faciales del Mesozoico y el Paleógeno Temprano. En primera aproximación corresponde a tres secciones:

- Occidental, desde el oeste de la falla Pinar, donde se supone ocurrió la colisión del fragmento continental suramericano y el margen continental de Norteamérica, produciéndose una complicada estructura de sobrecojimientos;
- Oriental, donde se produjo también una colisión, pero en este caso del arco insular del Cretácico con el margen continental norteamericano, y lógicamente la respuesta fue diferente al caso anterior; ya que aquí se sobrecojía el primero sobre el segundo, produciéndose consecuentemente láminas tectónicas y escamas; y
- Central, donde se encuentra la mayor complicación y mejor representación lateral de las estructuras y su actividad tectónica, luego del proceso de colisión de los mismos elementos.

De considerar la propuesta de M. Iturralde (1977)¹ para la etapa neoplatafórmica se puede asegurar que existió y existe una diferenciación estructural en la Isla de Cuba, que sustenta la hipótesis de una 'fragmentación' de la actividad sísmica. Esto último se aviene muy bien a la hipótesis de un modelo combinado de barreras y asperezas como el propuesto en (Udías, 1992). La diferenciación estructural se aprecia, también, en el área Caribe (Mann *et al.*, 1995) e involucra incluso a las principales zonas sismogeneradoras, denotando que ellas están seccionadas (Cotilla, 1993).

El elemento disyuntivo de más importancia para Cuba es Bartlett-Caimán (Alvarez *et al.*, 1985). Él constituye el límite activo de las placas litosféricas de América del Norte y del Caribe (Mann y Burke, 1984), y en sus inmediaciones se reportan los sismos más fuertes (Alvarez *et al.*, 1985; McCann y Pennigton, 1990) (Fig. 2). Además, la actividad sísmica en este sistema de fallas es muy significativa, aunque de mucho menos nivel que en las zonas de subducción del Pacífico y del Atlántico (Alvarez *et al.*, 1985; Panagiotopoulos, 1995) (Fig. 1). También a los sistemas NC y SC (límites de megabloque) les han sido reconocidos su carácter

transcortical por distintos autores, ya mencionados, y han demostrado tener actividad sísmica asociada (Cotilla *et al.*, 1991a).

Ahora la atención se dirige a la UNOc, para la que no hay una relación directa con el sistema de fallas BC (Cotilla *et al.*, 1991a). No obstante, en ella se localizan varias fallas de diferente carácter y dimensiones (Cotilla, 1993). Estas fallas neotectónicas son los actuales límites de los bloques neotectónicos (de diferente categoría y tendencia) que permitieron la reconstrucción del antiguo plano estructural del archipiélago. Ellas pueden coincidir en superficie con otras de la etapa preEoceno Superior, pero en la profundidad sus planos son diferentes, como diferentes son también su dinámica y cinemática (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵. Esto último, se esbozó en el epígrafe Características Neotectónicas por lo cual es apropiado exponer que el desarrollo neotectónico de Cuba puede ser esquematizado en tres etapas fundamentales que definen la selección del patrón de fallamiento actual. Ellas son: 1- el régimen era ya de tipo neotectónico, pero aún los procesos operaban sobre una corteza de tipo paleotectónico (Eoceno Medio-Superior); 2- se produce la consolidación de la nueva corteza terrestre (postEoceno Superior-Mioceno Inferior); 3- los procesos sismotectónicos y de otro tipo actúan sobre una nueva corteza terrestre, ya consolidada y afín con el nuevo estilo tectónico [bloques] (Post Mioceno Inferior), y en sus bordes se localiza la actividad sísmica.

Entre las fallas presentes en la UNOc y la UNOr (Fig. 4) se destacan como más importantes las que aparecen en la tabla 1.

Estas fallas constituyen límites de diferentes unidades territoriales (placa, megabloque, unidad neotectónica, macrobloque y mesobloque). Así están los límites de: 1- placa (BC) y megabloque (NC y SC) que son las más extensas y de condición transcortical; 2- Unidades Neotectónicas (CN) y macrobloque-mesobloque (las restantes fallas). Además, en algunas de esas fallas hay nudos disyuntivos que favorecen la liberación energética como el de Torriente-Jagüey Grande (Fig. 4) (intersección de las fallas Cochinos y Habana-Cienfuegos [esta última presenta 5 intersecciones de mucha importancia por tener en sus inmediaciones centros pobla-

TABLA 1. FALLAS MAS IMPORTANTES DE CUBA (SEGUN COTILLA Y ALVAREZ, 1998).

No. *	Nombre	No. *	Nombre	Siglas	Nombre
1	Consolación del Norte	8	Tuinicú	BC	Bartlett-Caimán
2	Pinar	9	Las Villas	CN	Cauto-Nipe
3	Guane	10	La Trocha	NC	Nortecubana
4	Hicacos	11	Cubitas	SC	Surcubana
5	Cochinos	12	Camagüey		
6	Habana-Cienfuegos	13	Baconao		
7	Cienfuegos-Santa Clara	14	Purial		

* Corresponde a los números en figura 4.

ciones y económicos: Bahías de Cienfuegos y La Habana, Torriente-Jagüey Grande, Güines y San José de Las Lajas)) (Cotilla, 1993). Es decir, existe una relación plausible entre las neoestructuras que estas fallas limitan y la magnitud de los terremotos (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵. Ellas constituyen un neosistema donde hay peligro sísmico y por consiguiente, en sus inmediaciones es mayor la amenaza.

Es probable, dado el grado de conocimiento actual, la existencia de otras fallas activas, pero aquí sólo se exponen las que según datos del primer autor son más seguras. Ellas deben someterse al análisis de tipo paleosismológico de campo propuesto por Scharwitz y Coppersmith (1984). M. Rodríguez (1996)⁶ las utilizó en sus estimados de peligrosidad sísmica y aseguró que los resultados son, hasta ese momento, los más cercanos a la realidad observada. Más recientemente, Alvarez *et al.* (1999) también empleó este modelo de fallas con resultados satisfactorios.

Cotilla (1993) sostuvo para estas doce fallas de la UNOc (Nos. 1-12, siglas NC y SC, Fig. 4) la existencia de sectores de actividad diferencial (segmentación); lo cual es de indudable utilidad en la evaluación del peligro sísmico. Además, señala que algunas de ellas tienen un comportamiento neotectónico particular, como por ejemplo Pinar, que desde el año 1880 no reporta actividad sísmica alguna. En las inmediaciones de esta falla hay instalada (desde 1964) una estación sismológica; y localizados a lo largo de su escarpa un número importante de embalses de agua y canteras industriales (Cotilla, 1993). Esta falla, suponen los auto-

res, se vincula en escalón con una falla (cubierta) más al sur denominada Guane (Alvarez, 1992), que sí posee algunos eventos perceptibles a lo largo de su traza y que en su prolongación al este intercepta a la ya mencionada falla Habana-Cienfuegos para conformar un nudo sismoactivo en las inmediaciones del poblado de San José de Las Lajas (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵. No obstante, dada la estadística insuficiente no descartan la posibilidad que su comportamiento sea del tipo terremoto característico propuesto por (Scharwitz y Coppersmith, 1984). Otra explicación (Dr. Gabriel García Cardoso, Instituto Superior Politécnico 'J.A. Echeverría', comunicación oral, 1992) es que la falla Pinar constituye un sistema multiparalelo de transformación en el tiempo geológico y que no presenta actividad en la actualidad, debido a que no se detectan los desplazamientos laterales referidos en la literatura y las investigaciones indican existe una nueva etapa de fallamiento al sur, en la falla Guane.

Una reciente investigación sismotectónica de Orbera *et al.* (1990) para la región Pinar del Río-Cochinos (con muy amplios recorridos de campo y con particular énfasis en las inmediaciones del poblado habanero de Pedro Pi) excluye, explícitamente, entre otras la existencia de la falla Habana-Cienfuegos (No. 6, Fig. 4) y también la correspondiente intersección con la falla Guane en las inmediaciones del poblado de San José de Las Lajas. Sin embargo, en San José de las Lajas el 09.03.95, a sólo 10 km de Pedro Pi (lugar donde se construía entonces un Centro de Investigaciones Nucleares) se produjo un sismo de $M_s=2,5$ y V grados de intensidad (MSK) (B. González *et al.*, 1995)⁷.

EVENTOS SISMICOS

GENERALIDADES

En la región occidental de la Isla hasta 1992 había en funcionamiento sólo dos estaciones sismológicas (SOR: Soroa, en la provincia de Pinar del Río y CCC: Cascorro, en la provincia de Camagüey), distanciadas entre sí aproximadamente por 400 km, las cuales son, evidentemente, insuficientes para el estudio de la sismicidad (M. Serrano y M. Cotilla, 1993⁸ (Fig. 2). Los epicentros representados en esta figura (todos de muy baja energía y la inmensa mayoría no perceptible) se distribuyen en forma de círculo (nube) alrededor de las estaciones de marras. Destaca que entre ambas nubes de epicentros hay un evidente vacío de detección, no de sismicidad.

De otra parte no hay hasta la fecha un catálogo, fiable, de terremotos para la región de Cuba que estudiamos. Dos intentos de llenar este vacío fueron realizados en los últimos años. Primeramente, para la región desde Pinar del Río hasta Matanzas se confeccionó un catálogo de eventos registrados por la estación Soroa, con las limitantes propias de los datos obtenidos por una sola estación (grandes errores en las determinaciones epicentrales y mucho mayores en cuanto a la profundidad), a lo que se unió un catálogo macrosísmico completo con los mapas de isosistas existentes (Orbera *et al.*, 1990). Más recientemente B. González *et al.* (1994)⁹ realizaron un trabajo similar para el área comprendida entre Matanzas y Las Tunas. El catálogo instrumental en este caso es fundamentalmente el resultado del procesamiento individual o conjunto de los datos de las estaciones de Soroa y Cascorro, y en casos aislados de otras estaciones de Cuba Oriental. El nivel de precisión de los epicentros es mayor que en el anteriormente señalado, pero es insuficiente aún para poder usar sus datos con absoluta fiabilidad (M. Cotilla *et al.*, 1993)⁵.

Según Cotilla (1993) los catálogos macrosísmicos de Cuba poseen una calidad variable evento a evento. Si bien algunos han podido ser estudiados lo suficiente para lograr confeccionarles mapas de isosistas (con el consiguiente incremento de la fiabilidad del epicentro), la mayoría sólo tiene escasos datos que no permiten su asociación unívoca a una u otra zona sismogénica (M. Cotilla

et al., 1993)⁵. Tales materiales han sido utilizados para trabajos de zonación sísmica detallada de emplazamientos de objetivos nucleares, pero para ello ha sido necesario, dadas su insuficiencia y baja fiabilidad, el complementarlos con diversas hipótesis que dejan todavía abierto el campo de las investigaciones sobre sismogénesis en esta región (Cotilla, 1993). La situación es algo diferente para el extremo oriental de la región de estudio (provincias Las Tunas y parte de Holguín), que son cubiertas por la red de estaciones existentes en Cuba Oriental y cuya actividad macrosísmica histórica ha sido discutida por T. Chuy *et al.*, 1988¹⁰.

En suma existe un conocimiento no uniforme de la sismicidad de la región, 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 se conocen con bastante precisión hasta un número grande que tienen gran incertidumbre.

Actualmente hay en funcionamiento una estación de tres componentes en la localidad de Juraguá, Cienfuegos que registró muy bien al mencionado sismo de San José de las Lajas el 09.03.95 (Fig. 3) y que de continuar en funcionamiento consideramos debe permitir mejorar el conocimiento de la sismicidad de la UNOc.

Con relación al tipo o los tipos de mecanismo de foco de los terremotos ocurridos en la UNOc, lamentablemente, no ha existido hasta la fecha posibilidad alguna de determinar alguno. Y consideramos que, dado el número insuficiente de estaciones sismológicas y la baja energía de los eventos, estos mecanismos no se obtendrán en bastante tiempo. Tampoco es factible, dado el grado de conocimientos de la sismicidad y de la corteza, delimitar el espesor de la capa sismoactiva para siquiera alguna de las estructuras sismoactivas de esta UNOc (Cotilla, 1993). En este sentido se hacen estimados (con diferente grado de fiabilidad) para aplicaciones en trabajos de peligrosidad sísmica (Alvarez *et al.*, 1985). Una aproximación alternativa para explicar la sismicidad y los tipos de mecanismo de focos de terremotos fue esbozada en Cotilla y Franzke (1994). El resultado para la UNOc permite asumir la presencia de un tensor de esfuerzos regional de dirección noreste-suroeste que favorece la dinámi-

ca de fallamiento normal y de deslizamiento lateral sinistral, así como la configuración de pequeñas cuencas del tipo 'pull-apart'.

SISMICIDAD DE LA UNIDAD NEOTECTONICA OCCIDENTAL

La información sismológica de Cuba (Alvarez *et al.*, 1985; T. Chuy *et al.*, 1988)¹⁰ se remonta a 1528; y en particular para la UNOC los catálogos confeccionados muestran una relación directa en cuanto a perceptibilidad/poblamiento (fecha inicial 1693). No obstante, como nuestro propósito es sismogénico debemos, en tal sentido, exponer los datos de sismicidad y de tectónica (nueva) en un marco lógico de relación y con las menores especulaciones posibles.

En el área de la UNOC se han reportado varios eventos sísmicos a los que ha sido factible confeccionarles isosistas con un nivel aceptable de calidad (T. Chuy *et al.*, 1988)¹⁰. Estos sismos hasta donde se conoce fueron los más fuertes (pero con $M_s < 7,0$) y en consecuencia los de más importancia en este territorio. A partir de la configuración de sus isosistas es factible proponer que el elemento sismogenerador está localizado en unos casos en la parte emergida y para otros en la marina. Tal cuestión debe ser tratada con mucho cuidado, ya que los eventos son de baja energía y la red internacional de estaciones sismológicas no los detecta o los detecta con mucha imprecisión. Esto último se pudo comprobar, todavía para el presente, con el terremoto de Torriente-Jagüey Grande (16.12.1982) (Fig. 3), donde el epicentro determinado por las agencias internacionales se encuentra desplazado, grandemente, del determinado por datos macrosísmicos (Chuy *et al.*, 1983). Sin em-

bargo, aunque existe diferencia en las determinaciones ella es mucho menor para el caso del terremoto de Remedios-Caibarién (15.08.1939) (Fig. 3). La baja fiabilidad de los epicentros instrumentales, motivada por la escasez o la distribución, o ambas, de las estaciones (cubanas e internacionales), hace que para cuatro casos de los cinco de la tabla 2 los epicentros seleccionados sean los macrosísmicos (Fig. 3) lo que, evidentemente, plantea un significativo nivel de subjetividad. Todos tienen isosistas. Evidentemente, el sismo de 1880 es de la etapa pre-instrumental.

En general, los epicentros de los terremotos de la figura 3 se localizan espacialmente entre sí a una distancia aproximada de 200 km en la UNOC. Las figuras geométricas de las isosistas aunque son diferentes todas tienen directividad y sus áreas están en correspondencia directa con la intensidad máxima (e indirectamente con la magnitud) (Alvarez *et al.*, 1985). Con estos elementos se puede delimitar o proponer (con aproximación) la estructura sismogeneradora, que en unos casos es una falla (Tabla 2, Nos. 1, 2, 3 y 4) y en el otro un nudo (Tabla 2, No. 5). Algunos de estos 'elementos sismogeneradores' tienen asociados también a otros sismos de menor energía, a los que ha sido posible confeccionarles, en ocasiones, mapas de isosistas (Cotilla, 1993).

Se entiende por nudo al área circular definida por la intersección de elementos disyuntivos (McKenzie y Morgan, 1968). Esta zona es, evidentemente, de mayor dimensión que la de sus elementos lineales constituyentes. Ella se establece en principio a partir de la precisión de los epicentros determinados, que en el mejor de los casos en Cuba Oriental (donde está la mayor cantidad de estaciones sismológicas) es de 10 km. Mientras

Tabla 2. CARACTERISTICAS SISMICAS SELECCIONADAS EN LA UNIDAD NEOTECTONICA OCCIDENTAL.

No.	Fecha	Intensidad sísmica (MSK)	Magnitud		Localidad (Provincia)	Epicentro	
			macrosísmica	Richter		Instrumental	Macrosísmico
1	23.01.1880	8	5,9	5,6	San Cristóbal (Pinar del Río)		X
2	28.02.1914	7	6,2		Gibara (Holguín)	X	X
3	15.08.1939	7			Remedios-Caibarién (Las Villas)	X	X
4	08.04.1974	6	3,7		Esmeralda (Ciego de Avila)	X	X
5	16.12.1982	6	5,0		Torriente-Jagüey y Grande (Matanzas)	X	X

que en la UNOc donde es mucho menor la precisión de las determinaciones epicentrales las áreas pueden ser de 20-40 km (Cotilla, 1993). Los autores asumen un radio, conservador, de 25 km para los nudos sismoactivos. Esto se corresponde, perfectamente, con la propuesta de Riznichenko (1976) en cuanto a que el tamaño de una fuente de terremotos con $M=6,0$ es de aproximadamente 23 km de largo y 10 km de ancho. Posteriormente, el

área y los límites externos del nudo se valoran con trabajos de campo, previo empleo de materiales aero – espaciales (fotografías e imágenes) (Cotilla *et al.*, 1991b). Y por último, la definición exacta del nudo se ejecuta con la instalación y explotación de estaciones sismológicas en su entorno inmediato. Esta etapa nunca se ha ejecutado en Cuba (Cotilla, 1993).

RELACION FALLA-SISMICIDAD

PRESENTACION

Alcanzado este punto, procede concretar la relación entre las fallas tectónicas activas y la sismicidad de la UNOc. En este sentido, el primer trabajo realizado fue de Krestnikov *et al.* (1983), que estudiaron la región Central de Cuba (desde el oeste de la falla Cochinos hasta la falla La Trocha) (Fig. 4). Esos autores aplicaron la metodología sismotectónica de Krestnikov (1986) y obtuvieron un conjunto de zonas sismogeneradoras. Posteriormente, L. Orbera (1983)¹ utilizó el mismo procedimiento en la parte más occidental de Cuba (Cabo de San Antonio - falla de Cochinos) (Fig. 4) y obtuvo también un grupo de zonas sismogeneradoras. González y Chuy (1984) estudiaron, sobre la base de criterios occidentales (Cluff *et al.*, 1972), sólo la provincia Pinar del Río (Fig. 4) exponiendo un resultado diferente al obtenido por L. Orbera (1983)¹ en ese sector. Chuy *et al.* (1984) investigaron con la misma idea las provincias Camagüey y Ciego de Avila (región al este de la falla La Trocha y hasta la falla Cauto-Nipe) (Fig. 4) y propusieron un conjunto de zonas sismogeneradoras. Chuy *et al.* (1988a) elaboraron un mapa de zonas sismogeneradoras para la misma región que L. Orbera (1983)¹ y los resultados, en términos generales, difieren. No obstante, el factor común de estos trabajos fue la delimitación de zonas sismogeneradoras y la asignación de una magnitud máxima posible de los terremotos a producirse en ellas.

Concretamente, un elemento sismogenerador (falla o sistema de fallas) es una estructura que tiene capacidad para producir eventos sísmicos. La geometría y la actividad del elemento sismogénico es en general diferente y estará siempre vinculado a la geodinámica del territorio. Su definición y

caracterización no es tarea sencilla, y depende de muchos factores (Cotilla *et al.*, 1991a).

Por su parte, Díaz y Lilienberg (1989) confeccionaron un modelo para la zona occidental de Cuba (Cabo de San Antonio-falla Cochinos) (Fig. 4) que sustenta un mecanismo de nudos morfoestructurales (Toriente-Jagüey Grande, Güines y La Habana) y fallas activas capaces de generar terremotos. Antes, Chuy *et al.* (1983) expusieron un esquema donde se asumió la existencia de un nudo sismoactivo en Toriente-Jagüey Grande (Fig. 3) para explicar la ocurrencia del sismo del 16.12.1982.

Orbera *et al.* (1990) evaluaron el territorio del Cabo de San Antonio hasta la falla Cochinos (Fig. 4) y presentaron un mapa de zonas sismogeneradoras. A pesar de que este nuevo resultado difiere totalmente de todos los anteriores, y modifica significativamente la posición de sus autores, no se hace comentario al respecto. Cotilla *et al.* (1991a) aplicando una metodología alemana, con el uso preferente de la teledetección, la evaluación neotectónica y la sismicidad, obtuvieron una red de zonas y nudos sismogeneradores para toda Cuba. J. Cuevas *et al.* (1992)⁴ presentaron a partir del procesamiento automático de datos geofísicos un grupo de estructuras, que denominaron tectónicas, para investigaciones sismotectónicas en la región desde La Habana hasta Cauto-Nipe (Fig. 4). B. González *et al.* (1994)⁵ utilizaron esa propuesta y compusieron un mapa de zonas sismogeneradoras. Este material difiere, en las partes o áreas comunes, de los resultados de Krestnikov *et al.* (1983) y Chuy *et al.* (1984), por no decir del de Cotilla *et al.* (1991a).

Al respecto de la validez o no de cada uno de estos trabajos en Cotilla (1993) y M. Cotilla *et al.* (1993)⁵ se encuentran extensas y pormenorizadas discusiones. No obstante, baste señalar que la

ocurrencia de un sismo en la localidad de San José de las Lajas el 09.03.1995 (B. González *et al.*, 1995)⁷ estaba, únicamente, prevista en el mapa sismotectónico de Cotilla *et al.* (1991a) y excluida, explícitamente, en Orbera *et al.* (1990). En la figura 5 (fragmento simplificado del mapa sismotectónico de Cotilla *et al.*, 1991a) se indica que cada una de las ocho fallas representadas en el segmento Cabo de San Antonio – Cienfuegos (perteneciente a la UNOc) tiene asignada una categoría sismotectónica (2: segunda y 3: tercera). Es suficiente saber que esta clasificación con sus secciones (A y B) funciona en orden estrictamente decreciente de actividad. El resto de las estructuras sismogénicas (segmento Cienfuegos – Camagüey) tiene un margen de incertidumbre mayor (Cotilla y Alvarez, 1991), por lo que aquí no se analiza.

En la UNOc ha sido apreciado, al menos, un evento sísmico inducido. Esto fue en el período 8-11 de junio de 1981 en las localidades de San Juan y Martínez-Alonso de Rojas, provincia de Pinar del Río (Fig. 3). El suceso se debió a trabajos de exploración geofísica profunda en la parte norte de esa provincia. También otro hecho interesante ha sido la canalización de la energía sísmica en la falla Habana-Cienfuegos con los terremotos de Torriente-Jagüey Grande y de San José de las Lajas.

EVENTOS SÍSMICOS, FALLAS Y NUDOS EN PARTE DE LA UNIDAD NEOTECTÓNICA OCCIDENTAL

La figura 5 muestra la red de neoestructuras lineales (zonas sismogénicas) y circulares (nudos), así como los bloques que constituyen la zona de Cabo de San Antonio- Bahía de Cienfuegos. Pero, dado el grado de información que se posee, sólo se enfrenta el entorno de la zona sismogénica Habana-Cienfuegos. Así, para facilitar la exposición y la correlación de la información sísmológica sobre la falla Habana-Cienfuegos con los nudos (zonas más proclives a terremotos, según la hipótesis de los autores) se presenta la tabla 3 que recoge los elementos disyuntivos que conforman los nudos, la numeración de los nudos y los poblados que en ellos están (de oeste a este).

La tabla 4 contiene para tres fallas (Hicacos, Cochinos y Guane), relacionadas con la falla Habana-Cienfuegos, poblados (donde hay reportes de sismicidad) y los nudos que comprenden a lo largo de sus trazas (Fig. 5). Es decir, se puede asumir también para ellas la segmentación.

De considerar a las fallas Habana-Cienfuegos, Guane, Cochinos, Hicacos, Pinar, Nortecubana y Surcubana como zonas sismogeneradoras (Fig. 4), sin tener en cuenta sus nudos, es posible relacio-

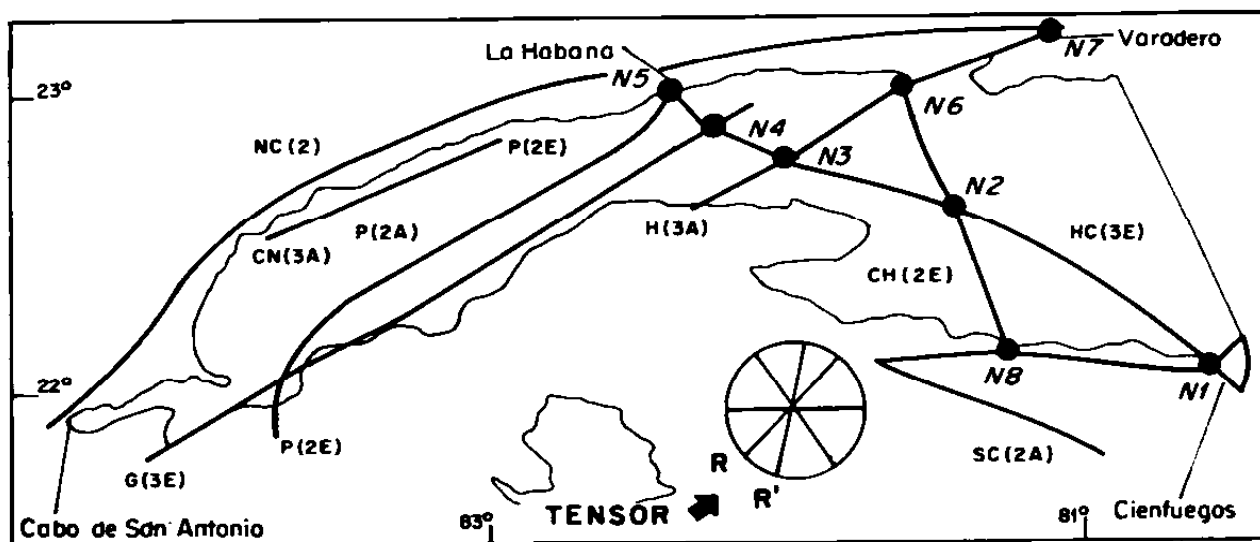


FIG. 5. Esquema de las zonas sismogénicas y los nudos sismoactivos de la región Cabo de San Antonio – Matanzas (parte de la Unidad Neotectónica Occidental de Cuba). [Aparecen: 1- los nudos: N1 (Bahía de Cienfuegos), N2 (Torriente-Jagüey Grande), N3 (Güines), N4 (San José de las Lajas), N5 (Ciudad de La Habana), N6 (Matanzas), N7 (Varadero) y N8 (Girón); 2- las zonas sismogénicas: CH (Cochinos), G (Guane), H (Hicacos), HC (Habana-Cienfuegos), NC (Nortecubana), P (Pinar) y SC (Surcubana); 3- el tensor de esfuerzos (flecha gruesa de color negro) estimado por Cotilla y Franzke (1994)].

TABLA 3. RELACION DE LOS CINCO NUDOS DETERMINADOS EN EL TRAZO DE LA FALLA HABANA-CIENFUEGOS.

Fallas (SIGLAS)	Nudo	Poblados
Habana-Cienfuegos (HC) y Nortecubana (NC)	N5	Ciudad de La Habana
Habana-Cienfuegos (HC) y Guane (G)	N4	San José de las Lajas, Pedro Pi, Tapeate, Jaruco
Habana-Cienfuegos (HC) e Hicacos (H)	N3	Güines, Ceiba del Agua
Habana-Cienfuegos (HC) y Cochinos (CH)	N2	Toriente-Jagüey Grande, Hato de Jicaritas
Habana-Cienfuegos (HC) y Surcubana (SC)	N1	Cienfuegos

TABLA 4. REPORTES DE SISMICIDAD EN LAS FALLAS GUANE, HICACOS Y COCHINOS.

No.	Falla (SIGLAS)	Nudo	Poblados
3	Guane (G)	N4	San José de las Lajas y Jaruco Santiago de las Vegas y Rincón Caimito del Guayabal Central "José Martí" Consolación del Sur Punta de Cartas Hermanos Barcón San Juan y Martínez Alonso de Rojas La Coloma Las Martinas
4	Hicacos (H)	N3 N6 N7 .	Güines Varadero-Matanzas Varadero Batabanó
5	Cochinos (CH)	N2 N6 N8	Toriente - Jagüey Grande Varadero - Matanzas Girón

neries también con los terremotos incluidos en los catálogos mencionados anteriormente. Las cifras para las cuatro primeras [las otras tres resultan indiscutibles en cuanto a categoría y actividad para todos los autores (Cotilla, 1993)] están en la tabla 5, y señalan que la falla Habana-Cienfuegos es la más activa de ellas.

El tiempo transcurrido (en años) desde la última ocurrencia de un terremoto en cualquiera de los

nudos con relación a la falla principal que lo contiene se refleja se indica en la tabla 6,

Sobre esa base es posible proponer un diagnóstico especial para el futuro evento sísmico de la falla Habana-Cienfuegos. Así, en esta zona hay cinco nudos o intersecciones de fallas con posibilidad de manifestar actividad sísmica, ya que todos ellos tienen asociados terremotos de acuerdo con los catálogos. Estos nudos son, de este a oeste:

TABLA 5. CANTIDAD DE TERREMOTOS CONSIDERADOS EN CUATRO FALLAS.

No.	Falla- Zona Sismogeneradora	Total de terremotos
6	Habana-Cienfuegos (HC)	31
5	Cochinos (CH)	21
3	Guane (G)	21
4	Hicacos (H)	14

TABLA 6. TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL ÚLTIMO TERREMOTO REGISTRADO EN FALLAS DE LA UNIDAD OCCIDENTAL.

No.	Sobre la falla (SIGLAS)	Nudos (SIGLAS)	Tiempo (años)
4	Hicacos (H)	Matanzas [N6]	18
5	Cochinos (CH)	Girón [N8]	32
6	Habana-Cienfuegos (HC)	San José de las Lajas [N4]	1
		Toriente-Jagüey Grande [N2]	14
		Ciudad de La Habana [N5]	54
		Cienfuegos [N1]	82
		Güines [N3]	219

1- Bahía de Cienfuegos; 2- Toriente-Jagüey Grande; 3- Güines; 4- San José de las Lajas; 5- Bahía de La Habana. Como ya han ocurrido los sismos de Toriente-Jagüey Grande (nudo 2) y San José de las Lajas (nudo 4) quedan, lógicamente, tres probables para un futuro mediano (nudos 1, 3 y 5). Si a esto se le añade la coincidencia de los resultados de Díaz (1985) y Cotilla *et al.* (1991a) para los nudos 2, 3 y 5 es posible asegurar la ocurrencia de terremotos en los nudos 3 y 5. Atendiendo también a: las dimensiones de las estructuras (resultan más

probables los nudos 1 y 5) y a la dirección de propagación de este a oeste en los últimos 13 años. Los autores consideran, como más probable la ocurrencia futura de un sismo en el nudo 5, Bahía de La Habana.

En atención a los reportes el evento de Ciudad de La Habana (nudo 5) puede ser de 5 grados de intensidad (MSK), pero al compararle a partir de los datos con el nudo 2 (de menor categoría y actividad) es posible insinuar, con cierto margen de certidumbre, un valor de 6.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las investigaciones neotectónicas de Cotilla *et al.* (1991c) han permitido determinar algunas regularidades sismogénicas de la Unidad Neotectónica Occidental, la de mayor área de las dos que componen al megabloque Cuba. Esta unidad, con sismicidad del tipo interior de placas litosféricas ($M_s < 7.0$), que se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta la depresión Cauto-Nipe, se caracteriza por un desarrollo geológico de tipo neoplatafórmico (M. Iturralde, 1977)¹ desde el Eoceno Superior, y por no poseer una relación directa con el elemento disyuntivo activo de primer orden Bartlett-Caimán. El límite de las placas litosféricas de Norteamérica y Caribe (Cotilla *et al.*, 1991a). Sin embargo, en sus inmediaciones han ocurrido 6 terremotos significativos (1880, 1914, 1939, 1974, 1982 y 1995) que se asocian, con gran certidumbre, a distintas fallas (Cubitas, Guane, Habana-Cienfuegos, y Pinar) o nudos de fallas (N2: Toriente-Jagüey Grande y N4: San José de las Lajas) (Cotilla *et al.*, 1991a). Tales estructuras sismogeneradoras

constituyen límites de megabloque (NC y SC) y macrobloques, por lo que su orden y su categoría son menores que las correspondientes a BC.

Hasta el presente no es posible presentar siquiera una solución de mecanismo focal, así como tampoco existe certeza del espesor y la configuración de la capa sismoactiva de las estructuras sismogénicas delimitadas para la UNOc. En este sentido, se ha recurrido a la propuesta del tensor de esfuerzos noreste-suroeste de Cotilla y Franzke (1994) para considerar plausible un mecanismo predominante de fallamiento tipo normal y componente sinistral de deslizamiento lateral. Así como explicar, aceptablemente, la sismicidad de bajo nivel energético y el espaciamiento regular de las estructuras sismogénicas con los lugares de ocurrencia de terremotos.

Sobre esta base, al momento de evaluar la mayor amenaza geológica (AG) del país por eventos sísmicos, evidentemente la mayor está localizada en el borde suroriental (zona de interacción de

las placas litostéricas). Los autores consideran igualmente que la UNOr presenta un nivel importante de amenaza geológica por la inmediata cercanía a la falla BC, y su influencia en la dinámica de las fallas que se encuentran en su territorio, aunque no es objeto de este trabajo su discusión.

Con relación al nivel de amenaza geológica por terremotos a que está sometida la UNOc consideramos, como se expresa en Cotilla y Alvarez (1998), que las quince fallas aquí relacionadas (Nos. 1 al 12; y siglas NC, SC y CN) (Fig. 4) son líneas de debilidad tectónica actual y constituyen los elementos sismogénicos fundamentales, aunque sus intersecciones resultan ser las zonas de mayor nivel de peligro y probabilidad de ocurrencia. En la UNOc no debe esperarse una actividad inducida significativa por sismos de la otra Unidad y mucho menos de estructuras más alejadas, aunque sí de ella.

Finalmente, debemos aclarar que se ha planteado el término Amenaza y no Riesgo, ya que en el segundo hay que valorar dos aspectos de mucha significación: economía / costo y vulnerabilidad. Es decir, que una localidad puede estar enmarcada en una región de alta amenaza geológica y desde el punto de vista de la vulnerabilidad poseer todas las medidas parasísmicas y en consecuencia su relación economía / costo no ser afectada seriamente. Tal cuestión debe ser tratada luego de abordar un conjunto de tópicos tales como la: 1- Regionalización de la amenaza geológica; 2- Reevaluación de la información sismológica histórica con métodos estadísticos; 3- Evaluación del fallamiento a partir de la metodología de Schwartz y Coppersmith (1984), etc., que hasta el presente no se ha enfrentado en el país.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, por el financiamiento del tema de investigación científica 430:03 'Sismicidad de Cuba'. A los profesores D. Córdoba y M. Herraiz (Departamento de Geofísica y Meteorología, Uni-

versidad Complutense de Madrid) por los comentarios al manuscrito. Al Dr. G. Yáñez (Geodatos, Chile) por las significativas sugerencias y los acertados comentarios que permitieron mejorar la exposición del trabajo.

REFERENCIAS

- Alvarez, H. 1992. Mecanismos tectónicos y desarrollo estructural de la Sierra de los Organos. *Ministerio de Educación Superior de Cuba, Revista Minería y Geología*, No. 1, p. 11-18.
- Alvarez, L.; Vaccari, F.; Panza, G.F. 1999. Deterministic seismic zoning of eastern Cuba. *Pure Applied Geophysics*, No. 156, p. 469-486.
- Alvarez, L.; Rubio, M.; Chuy, T.; Cotilla, M. 1985. Informe final del tema de investigación 31001: Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba. *Archivo del Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba*, 2 Vols., 500 p.
- Alvarez, R. 1990. Investigaciones de la estimación espacio-temporal del campo geomagnético del archipiélago cubano. Tesis para optar al grado de candidato a doctor en Ciencias Físico-Matemáticas (Inédito), *Universidad Estatal de Leningrado*, 100 p. U.R.S.S.
- Alvarez, R.; Kolesova, V. 1983. Resultados preliminares del levantamiento magnético de los mares que circundan a Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, No. 6, p. 3-8.
- Bovenko, V.G.; Schervakova, B.E.; Hernández, G. 1980. Nuevos datos sobre la estructura profunda de Cuba oriental. (en ruso). *Geología Soviética*, No. 9, p. 101-109.
- Bowin, C. 1968. Geophysical study of the Cayman Trough. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73 p. 5159-5173.
- Butterlin, J.A. 1956. La constitution géologique et la structure des Antilles. *Centre National de la Recherche Scientifique*, Vol. 12, 453 p. Paris.
- Bush, V.; Shervakova, B.E. 1986. Nuevos datos sobre la tectónica profunda de Cuba (en ruso). *Revista Geotectónica, Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, No. 3, p. 25-41.
- Chuy, T.; González, B.; Vorobiova, E. 1984. Sismicidad del territorio de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. *Instituto de Geofísica y Astronomía, Revista In-*

- investigaciones Sismológicas en Cuba, No. 5, p. 61-94.
- Chuy, T.; González, B.; Polo, B. 1988a. Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, No. 4, 19 p.
- Chuy, T.; Vorobiova, E.; González, B.; Alvarez, L.; Pérez, E.; Cotilla, M.; Portuondo, O. 1983. El sismo del 16 de diciembre de 1982, Torriente-Jagüey Grande. *Instituto de Geofísica y Astronomía, Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, No. 3, 44 p.
- Cluff, L.S.; Hansen, M.R.; Taylor, C.C.; Charles, L.; et al. 1972. Site evaluation in seismically active region, an interdisciplinary team approach. In *Microzonation Conference*, Vol. 2, p. 957-987. Seattle.
- Cotilla, M. 1993. Una caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis para optar al grado de doctor en Ciencias Geográficas (Inédito), *Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba*, 200 p.
- Cotilla, M.; Alvarez, L. 1991. Principios del mapa sismotectónico de Cuba. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Revista Geofísica*, Vol. 35, p. 113-124.
- Cotilla, M.; Alvarez, L. 1998. Esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica en Cuba. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Revista Geofísica*, No. 9, p. 47-86.
- Cotilla, M.; Bankwitz, P.; Alvarez, L.; Franzke, J.; González, E.; Grunthal, G.; Pilarski, J.; Díaz, J.; Arteaga, F. 1991a. Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, No. 3, 40 p. Cuba.
- Cotilla, M.O.; Franzke, H.J.; Pilarski, J.; Pilarski, M.; Alvarez, L. 1991b. Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Revista Geofísica*, No. 35, p. 53-112.
- Cotilla, M.; Franzke, H.-J. 1994. Some comments on the sismotectonic activity of Cuba. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, Vol. 22, No. 3-4, p. 347-352. Berlin.
- Cotilla, M.O.; González, E.; Franzke, H.J.; Comesañas, J.; Oro, J.; Arteaga, F.; Alvarez, L. 1991c. Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, No. 22, 37 p. Cuba.
- Cuevas, J.L. 1991. Efecto gravitacional de la discontinuidad de Mohorovicic en Cuba y territorios adyacentes. *Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Revista Geofísica*, No. 35, p. 165-180.
- Cuevas, J.L. 1994. Caracterización de anomalías de la gravedad en Cuba Centro Oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad. Tesis para optar al grado de doctor en Ciencias Geofísicas (Inédito), *Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, Instituto de Geofísica y Astronomía*, 200 p.
- DeMets, C.; Gordon, R.G.; Argus, D.F.; Stein, S. 1990. Current plate motions. *Geophysical Journal of Astronomical Society*, Vol. 101, p. 425-478.
- Deng, J.; 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*, No. 14, p. 39-53.
- Díaz, J.L. 1985. Morfoestructura de Cuba Occidental y su dinámica (en ruso). Tesis para optar al grado de doctor en Ciencias Geográficas (Inédito), *Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, 200 p.
- Díaz, J.L.; Lilienberg, D.A. 1989. Nuevos datos sobre los movimientos tectónicos recientes en Cuba Occidental. Informe Científico-Técnico. *Instituto de Geografía*, No. 4, 11 p.
- Erickson, A.Y.; Helsley, C.E.; Simmons, C. 1972. Heat flow and continuous seismic profiles in the Cayman Trough and Yucatan Basin. *American Geological Society, Bulletin*, Vol. 83, p. 1241-1259.
- Filosofov, V. 1960. Manual para la búsqueda de estructuras tectónicas por el método morfométrico (en ruso). *Editorial Nedra*, 90 p. Moscú.
- Fundora, M. 1982. Interpretación combinada de los métodos geofísicos a escala 1:1.000.000 en la región Habana-Matanzas. Tesis para optar al grado de candidato a doctor en Ciencias Geólogo-Mineras (Inédito), *Universidad Carolina*, 90 p. Praga.
- Furrazola, G.; Judoley, C.M.; Mojailovskaya, M.S.; Mirilubov, Y.S.; Novajatsky, I.P.; Núñez, A.; Solsona, J.B. 1964. Geología de Cuba. *Editorial Universidad*, 239 p. La Habana.
- González, B.; Chuy, T. 1984. Actividad sísmica de la provincia Pinar del Río. *Instituto de Geofísica y Astronomía, Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, Vol. 4, p. 53-68.
- González, E.; Cañete, C.; Díaz, J.L.; Pérez, L.; Cotilla, M. 1989. Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250.000. *Centro Nacional de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, Revista Serie Geológica*, No. 1, p. 16-34. Cuba.
- Hernández, J.R. 1987. Geomorfología estructural y geodinámica reciente de Cuba Sudoriental en la zona de interacción de la microplaca cubana y la fosa profunda Bartlett (en ruso). Tesis para optar a doctor en Ciencias Geográficas (Inédito), *Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, 200 p.
- Hernández, J.R.; Blanco, P.; Díaz, J.L. 1988. Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. *Editorial Academia*, 14 p. La Habana.
- Hernández, J.R.; González, R.; Arteaga, F. 1989. Diferenciación estructuro-geomorfológica de la zona de sutura de la microplaca cubana con la placa Caribe. *Editorial Academia*, 48 p. La Habana.
- Holcombe, T.L.; Vogt, P.R.; Mathews, J.E. 1973. Evidence for sea-floor spreading in the Cayman trough. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 20, No. 3, p. 357-371.
- Iturralde, M. 1981. Nuevo modelo interpretativo de la evo-

- lución geológica de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba, Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, No. 3, p. 51-90.
- Iturralde, M. 1992. Cuban geology: A new plate-tectonic synthesis. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 17, No. 1, p. 39-70. U.K.
- Jain, V.E. 1971. Geotectónica regional: América del Norte y América del Sur, Antártida y África (en ruso). Editorial Nedra, 548 p.
- Johnston, C.; Kanter, L.R. 1990. Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, No. 10, p. 42-49.
- Jordan, T.M. 1976. The present-day motions of the Caribbean plate. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 32, p. 4433-4439.
- Kanamori, H.; Stewart, G.S. 1976. Seismological aspects of the Guatemala earthquake of february 4, 1976. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, p. 3427-3434.
- Khudoley, K.M. 1967. Principal features of cuban geology. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, Vol. 5, p. 668-677.
- Knipper, A.; Cabrera, R. 1974. Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el miogeosinclinal y el eugeosinclinal y del cinturón de hiperbasitas. *Academia de Ciencias de Cuba, Contribución a la Geología de Cuba*, p. 15-77.
- Krestnikov, V.N. 1986. Geological aspects of earthquakes hazard. *Proceedings of the UNDRO/URSS/UNESCO/UNDP. Training Seminar*, 40 p.
- Krestnikov, V.N.; Frend, V.M.; Shebalin, V. 1983. Sobre la metodología de las investigaciones geológicas y sismológicas para el estudio de la peligrosidad sísmica. (en ruso). *Investigaciones Sismológicas de las Zonas de Baja Actividad Sísmica*, Editorial Nauka, p. 81-85. Moscú.
- Levchenko, V.A.; Riabujin, A.G. 1971. Sobre la estructura de bloques del shelf septentrional de Cuba (en ruso). *Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Geotectónica*, No. 5, p. 5-12.
- Levchenko, V.A.; Gurevich, G.S.; Zabichina, V.V.; Kitias, N.A.; Pafinova, S.I. 1976. Caracterización comparativa de la constitución geológica de Cuba y otros países de la cuenca del mar Caribe y el Golfo de México con el objeto de evaluar las perspectivas petrolíferas y gasíferas de Cuba y las acuatonas adyacentes. Informe Científico-Técnico del Ministerio de la Industria Básica. *Archivo del Consejo Nacional del Fondo Geológico de Cuba*, 150 p.
- Lewis, J. 1932. Geology of Cuba. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, Vol. 16, p. 533-553.
- Lilienberg, D.A. 1973. Algunos problemas de la formación del relieve del archipiélago cubano. *Academia de Ciencias de Cuba, Revista Serie Espeleología y Carsología*, No. 48, 12 p.
- MacDonald, K.C.; Holcombe, T.L. 1978. Inversion of the magnetic anomalies and sea floor spreading in the Cayman trough. *Earth and Planetary Science Letters*, No. 40, p. 407-414.
- Mann, P.; Burke, K. 1984. Neotectonics of the Caribbean region. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, Vol. 22, No. 4, p. 309-362.
- Mann, P.; Taylor, F.W.; Lawrence, E.; Ku, T.L. 1995. Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion strike-slip faults: An example from northeastern Caribbean plate margin. *Tectonophysics*, Vol. 246, p. 1-69.
- McCann, W.; Pennington, W. 1990. Seismicity large earthquakes and the margin of the Caribbean plate. The Geology of North America Region, Vol. H. In The Caribbean (Dengo, G.; Case, J.; editors). *The Geological Society of America*, p. 291-306.
- McKenzie, D.P.; Morgan, W.J. 1968. Evolution of triple junction. *Nature*, No. 224, p. 125-133.
- Mirzoev, K.; Fijieva, L.M.; Konovaleov, Yu.F.; Sahtsikov, V.I. Kogan, M.; Dzhuraev, R.U.; Teneyro, R.; Alvarez, H. 1989. Nuevos datos sobre la estructura profunda de Cuba oriental (perfiles geofísicos complejos Puerto Padre-Bayamo-Guisa). In *Congreso Cubano de Geología*, No. 1, Resúmenes, p. 120-121. La Habana.
- Molnar, P. Sykes, L.R. 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and seismicity. *Geological Society of America, Bulletin*, Vol. 9, p. 1639-1684.
- Mossakovsky, Y.; Pushcharovki, Yu.Y.; Nekrasov, G.E.; Sokolov, S.P.; Formell, F.; Cabrera, R.; Iturralde, M.; Flores, R.; Oro, J.; Morales, A.; Pantaleón, G.; Pérez, L.; Pszczolkowski, A.; Boyanov, I.; Haydutov, I.; Kantchev, I.; Kostanidov, V.; Breznsyanski, K.; Chunev, D. 1989. Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. *Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba*.
- Oliva, G. 1976. Criterios tectónico-estructurales de un área de la región occidental de Cuba en base a transformaciones lineales de los campos gravimétricos y magnéticos. Tesis para optar al grado de doctor en Ciencias Geólogo-Mineras (Inédito), *Universidad Carolina*, 90 p. Praga.
- Oliva, G.; Prol, J.L. 1990. Mapa de las anomalías de Bouguer de Cuba. In *Nuevo Atlas de Cuba, Características Geofísicas. Gravimetría. Instituto Geográfico Nacional, Sección II.3.4. Madrid*.
- Orbera, L.; González, B.; Chuy, T. Oro, J. 1990. Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del centro de investigaciones nucleares. *Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares*, Vol. 1, 344 p. Cuba.
- Panagiotopoulos, D.G. 1995. Long-term earthquake prediction in Central America and Caribbean Sea based on the time- and magnitude- predictable model. *Sismological Society of America, Bulletin*, Vol. 85, p. 1190-1201.
- Pardo, M. 1993. Zonación gravi-magnética y modelo físico-geológico conceptual del cinturón orogénico cubano. Interpretación geológico-tectónica. *Ministerio de Educación Superior de Cuba, Revista Minería y Geología*, No. 3, p. 3-14.

- Pérez, E.; Azcui, E. 1992. Aplicación de nuevas metodologías para la interpretación geomagnética regional. Trabajo de Diploma del Departamento de Geofísica, Instituto Superior Politécnico 'Echeverría', 85 p. Cuba.
- Pushcharovskiy, Yu.; Vitulochkin, M.A.; Mossakovsky, A. 1987. Estructuras y tipos de corteza terrestre en Cuba (en ruso). *Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, No. 294, p. 178-182.
- Quintas, F.; Hernández, M.; Campos, M. 1994. Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico en Cuba Occidental y La Española. *Ministerio de Educación Superior de Cuba, Revista Minería y Geología*, No. 3, p. 3-10.
- Riznichenko, Yu. V. 1976. Source dimensions of shallow earthquake and seismic dimensions (en ruso). In *Research of the Physics of Earthquakes*. Editorial Nauka, p. 9-27. Moscow.
- Rosencratz, E.; Mann, P. 1991. Sea MARC II mapping of transform faults in the Cayman Trough, Caribbean Sea. *Geology*, Vol. 19, p. 690-693.
- Schwartz, D.P.; Coppersmith, K.J. 1984. Fault behaviour and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. In *Special section; fault behaviour and the earthquake generation process*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. 7, p. 5681-5698.
- Sherbakova, B.E.; Bovenko, V.G.; Lutzenko, T.N.; Miroshnichenko, I.P. 1975. Informe sobre las observaciones con los aparatos Tierra en el territorio de Cuba Occidental llevadas a cabo en 1972-1974. *Ministerio de Geología y Geofísica de Cuba, Archivo del Consejo Nacional del Fondo Geológico de Cuba*, 130 p.
- Sherbakova, B.E.; Bovenko, V.G.; Lutzenko, T.N.; Miroshnichenko, I.P. 1977. Informe sobre los métodos de observación con los aparatos Tierra en el territorio de Cuba Occidental, llevadas a cabo en 1974-1975. *Academia de Ciencias de la U.R.S.S.*, Vol. 1, 153 p. Moscú.
- Shein, V.S.; Smirnov, V.N.; Kleshev, K.A.; Orbera, L. 1975. Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:2.000.000. *Ministerio de Geología y Geofísica de Cuba*.
- Shein, V.S.; Ivanov, S.S.; Kleshev, S. 1978. Tectónica de Cuba y su shelf (en ruso). *Geología Soviética*, No. 2, p. 104-199.
- Shein, V.S.; Tenreiro, R.; García, E. 1985. Modelo de la constitución geológica profunda de Cuba. *Ministerio de la Industria Básica, Serie Geológica*, No. 1, p. 78-88.
- Soloviev, K.S. 1962. Mapa aeromagnético de la República de Cuba. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología del Petróleo. *Archivo del Consejo Nacional del Fondo Geológico de Cuba*, 10 p.
- Soloviev, O.N.; Skidan, S.A.; Pankratov, A.P. 1964. Comentarios sobre el mapa magnetométrico de Cuba. *Instituto Cubano de Recursos Minerales, Departamento Científico de Geología*, Vol. 2, No. 2, p. 5-23.
- Soloviev, O.N.; Skidan, S.A.; Pankratov, A.P.; Khudoley, C.M. 1964a. Comentarios sobre el mapa gravimétrico de la isla de Cuba. *Instituto Cubano de Recursos Minerales, Departamento Científico de Geología*, Vol. 2, No. 2, p. 8-19.
- Sykes, L.R.; McCann, W.R.; Kafka, A.L. 1982. Motion of Caribbean plate during last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 81, p. 10658-10676.
- Udías, A. 1992. Modelos de fractura y ocurrencia de terremotos. *Universidad Complutense de Madrid, Revista Física de la Tierra*, No. 48, p. 77-86.
- Ushakov, S.A.; Avgaev, A.I.; Galushkin, Yu.I.; Dubikin, E.P. 1979. Ruptura de la isostasia de la litósfera de la región del Caribe y análisis geodinámico de su naturaleza (en ruso). *Tectónica y Geodinámica de la Región del Caribe*. Editorial Nauka, p. 63-77. Moscú.
- Westbrook, G.K.; Boot, H.P.; Peacock, J.H. 1973. Lesser Antilles subduction zone in the vicinity of Barbados. *Nature, Physical Science*, No. 244, p. 118-120.