

## EL CONTROVERTIDO ALINEAMIENTO HABANA-CIENFUEGOS, CUBA

M. O. Cotilla Rodríguez \*

### RESUMEN

Se exponen algunas características neotectónicas de la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos de dirección aproximada NO a E-O y sus cinco nudos de intersección. Se explican a partir del mecanismo de nudo sismoactivo dos epicentros de terremotos recientes (16-12-1982 en Torriente-Jagüey Grande y 9-3-1995 en San José de las Lajas). Reflexiones acerca de la actividad de la zona de alineamientos y sus nudos, y criterios de algunos especialistas respecto de su delimitación aparecen en el trabajo.

**Palabras clave:** *Alineamiento, falla activa, sismotectónica y zona sismogeneradora.*

### ABSTRACT

Some neotectonic characteristics of the Habana-Cienfuegos lineament zone of NW to E-W direction and its five knots are presented, on its spatial relation with two epicenters of recent earthquakes (16-12-1982 in Torriente-Jagüey Grande and 9-3-1995 in San José de las Lajas). Reflections about activity of the lineament zone and its knots as well as specialist criteria over its delineation appear in the work.

**Key words:** *Lineament, active fault, seismotectonics and seismogenetic zone.*

### Introducción

En el año 1982, a raíz de un terremoto perceptible, el autor junto con otros colegas delimitó a partir de unas imágenes y fotos de satélites una zona de alineamientos (transverso-diagonal) de dirección E-O y NO que asociaron al área epicentral (fig. 2 de Chuy *et al.*, 1983a). El epicentro se situó por macrosísmica en un cruce de la zona de alineamientos mencionada con una zona de valores mínimos de la gravedad (NNO) que se distingue entre las Bahías de Cochinos y Matanzas.

Poco después, los especialistas, vinculados a la peligrosidad sísmica, asumieron dos posiciones diferentes con relación a la sismotectónica de Cuba. Un grupo, el más numeroso, se orientó hacia la escuela rusa (Krestnikov, 1987), que ya se había aplicado en la región Central del país (Krestnikov *et al.*, 1983). Este colectivo aplicó para distintas áreas de objetivos nucleares esa metodología (Orbera, 1980, 1983; Orbera *et al.*, 1990; González *et al.*, 1994). El otro grupo, encabezado por el autor, consideró más oportuno la vía alemana (Cotilla *et al.*,

1991a), recogida en Borman (1989). Cotilla (1993, 1998) discute extensamente este tema.

La ocurrencia de otro terremoto perceptible en esta ocasión en San José de las Lajas, provincia de La Habana, el día 9 de marzo de 1995, avivó la polémica científica. Esta situación se comprende al comparar la figura 1 (Orbera *et al.*, 1990) y la figura 2 (Cotilla *et al.*, 1991a). Resulta evidente que este evento sólo tiene explicación con la figura 2. El terremoto está en la vecindad del Centro de Investigaciones Nucleares, para el que Orbera *et al.* (1990) investigaron las condiciones sismotectónicas.

En este orden de ideas hay en esta disciplina una hipótesis que en muchas ocasiones se asume como un principio y que, también, en otras oportunidades se olvida, desestima u obvia. Esto se refiere a que una región o zona que ha demostrado actividad en el pasado debe, en el futuro, ser protagonista de otro acontecimiento similar y ése es el caso del alineamiento mencionado y de su entorno inmediato. Tal hipótesis, el autor la prueba a partir de la ocurrencia de terremotos y estaciones sismológicas.

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

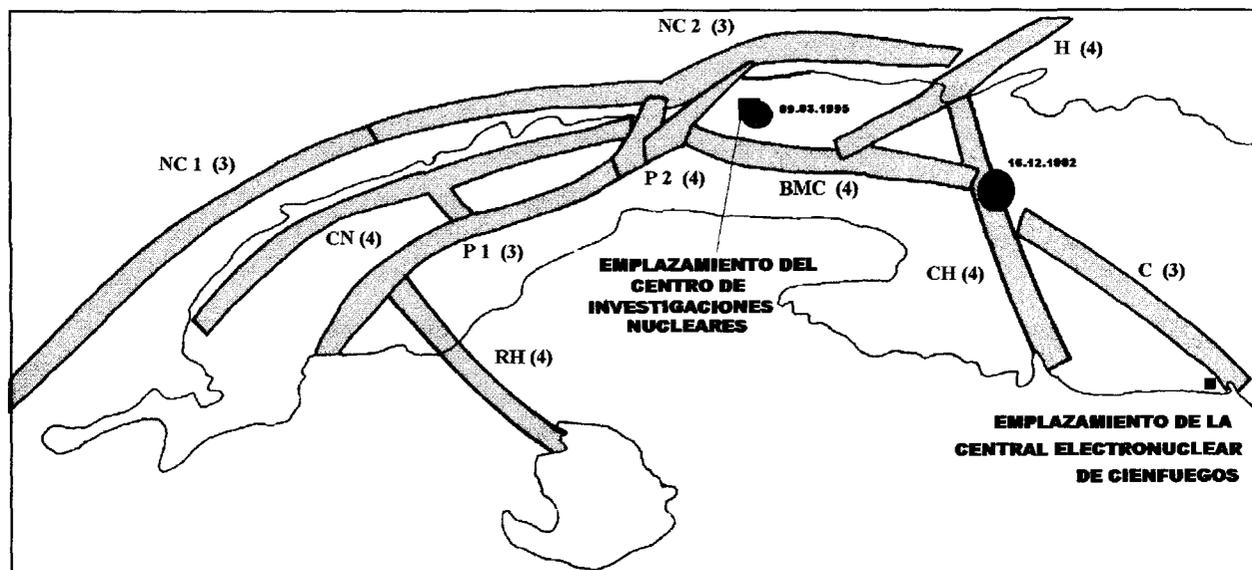


Fig. 1.—Esquema de las zonas sismogeneradoras (se corresponde con la tabla 18) de Cuba Occidental según Orbera *et al.* (1990). Incluye los eventos sísmicos de Torriente-Jagüey y Grande (16 de diciembre de 1982) y San José de las Lajas (9 de marzo de 1995).

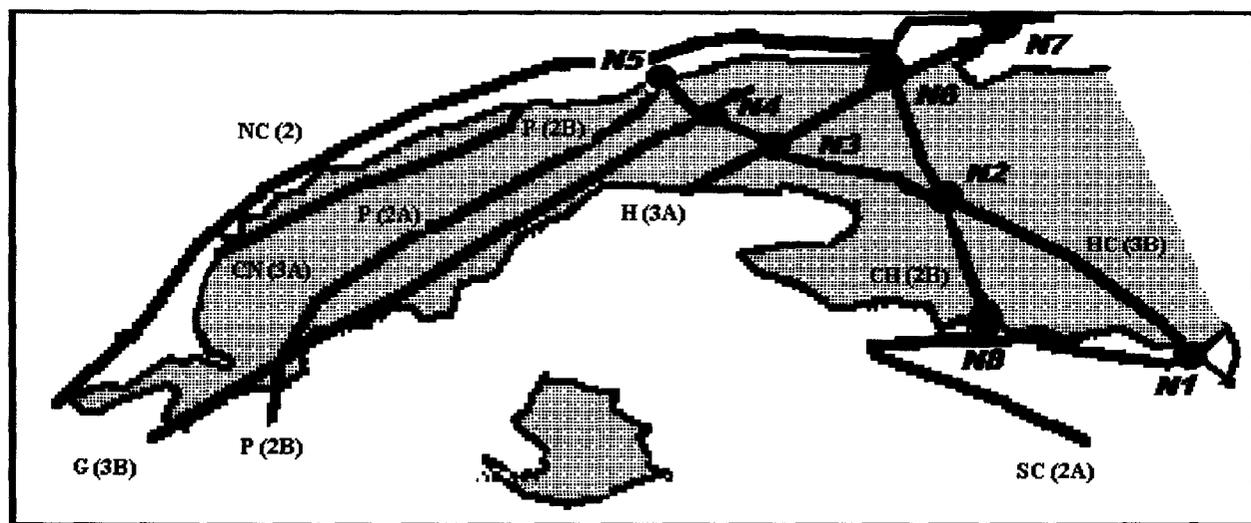


Fig. 2.—Ejes principales de las zonas sismogeneradoras (se corresponde con la tabla 17) para un sector de la Unidad Sismotectónica Occidental de acuerdo con Cotilla *et al.* (1991a).

Se destaca que éste es sólo un trabajo científico de tipo recopilativo y crítico que muestra, de forma directa, el punto de vista del autor sobre un tema de actualidad, la actividad sismogénica en una zona de interior de placas litosféricas, para un territorio del que hay poca divulgación científica internacional: Cuba.

### Condiciones tectogénicas del Caribe y Cuba

La placa Caribe (fig. 3) es una discontinuidad física entre las grandes placas de Norteamérica y Suramérica (Burke *et al.*, 1978; Mann y Burke, 1984) y experimenta un desplazamiento relativo al E, con velocidad de 2-4 cm/año, siendo en el entorno de

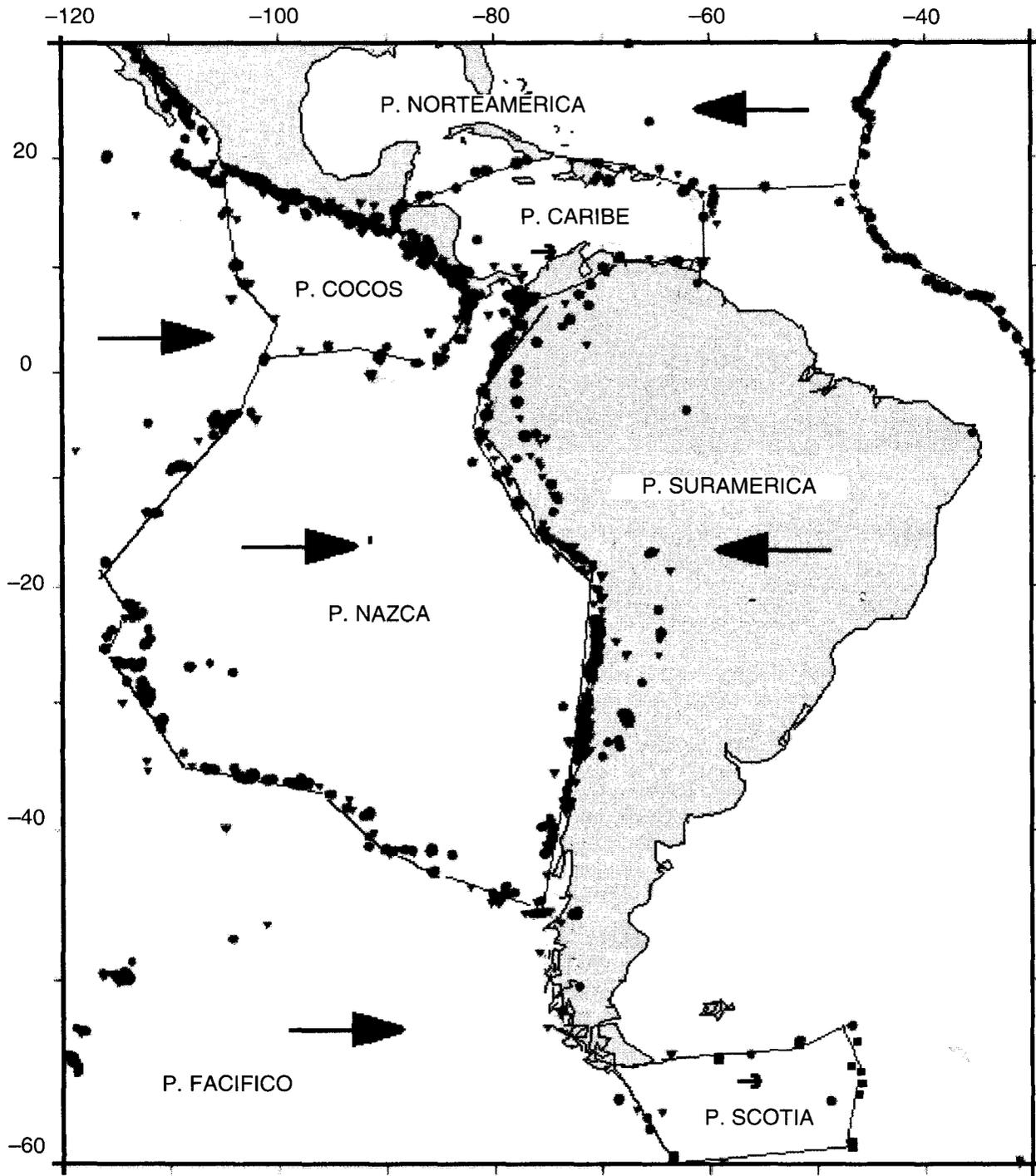


Fig. 3.—Esquema tectónico de la región inmediata a la placa del Caribe con los epicentros determinados por el NEIC (1990-1996,  $h < 300$  km).

Cuba 2 cm/año y de 1-2 cm/año en Jamaica (Jordan, 1976; Mann y Burke, 1984; Molnar y Sykes, 1969). En el límite O están las placas Cocos y Nazca, pertenecientes al sistema litosférico Pacífico. La primera

de ellas subduce bajo la Caribe. Y en el límite E, la subducción de la placa Norteamérica se manifiesta desde las inmediaciones de la isla de Barbados (Westbrook *et al.*, 1973). El límite N tiene una com-

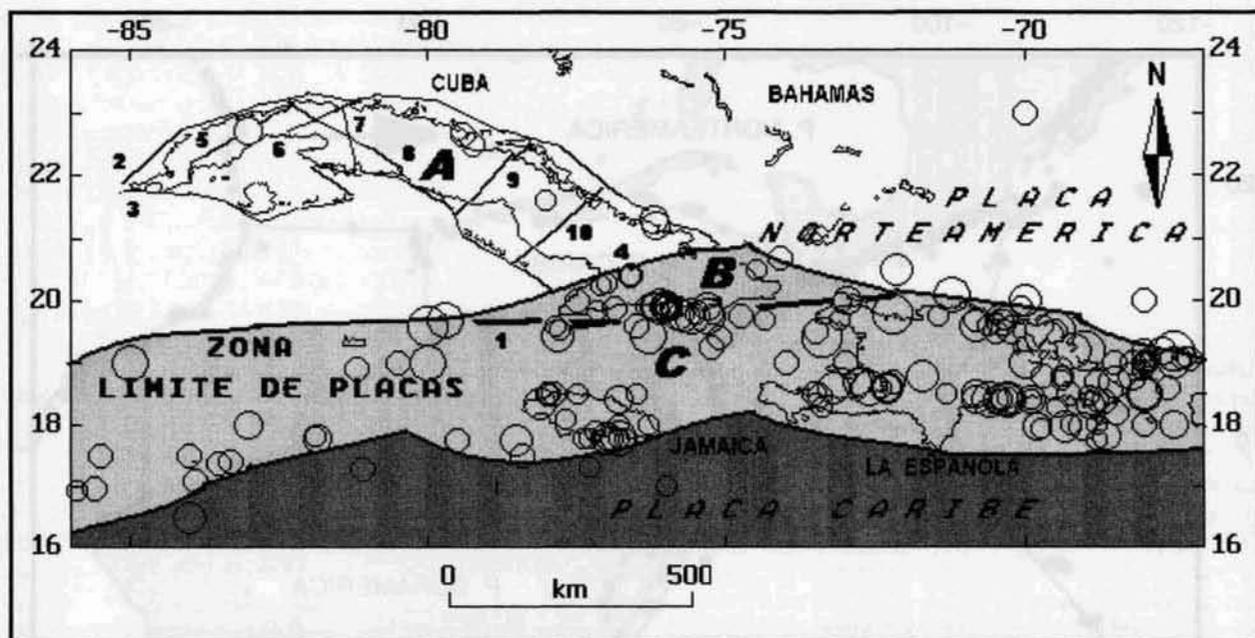


Fig. 4.—Localización del megabloque Cuba en el sistema de placas litosféricas (Caribe-Norteamérica). Aparecen las Unidades Neotectónicas (A y B) y Sismotectónicas (A, B y C), y las fallas: 1) Bartlett-Caimán, 2) Nortecubana, 3) Surocubana, 4) Cauto-Nipe, 5) Pinar, 6) Hicacos, 7) Cochinos, 8) Habana-Cienfuegos, 9) La Trocha y 10) Camagüey.

binación de desplazamiento lateral izquierdo, con unas pequeñas componentes de subducción en el N de La Española (Bracey y Vogt, 1971; Molnar y Sykes, 1971) y Puerto Rico-Islas Vírgenes (McCann y Sykes, 1984); mientras que el límite S es tectónicamente más complejo por el mayor número de sectores articulados en tierra y mar con dos tipos de fallas de desplazamiento lateral y subducción de las placas suramericana y de Nazca bajo la Caribe (Burke *et al.*, 1984; Mann y Burke, 1984; Molnar y Sykes, 1969; Wolters, 1986).

En el Caribe hay un grupo de estructuras, oceánicas y de arcos de islas, interrelacionadas; entre las primeras hay varias fosas profundas. Un pequeño centro de generación de corteza oceánica en la parte N, delimitado por Holcombe *et al.* (1973), coincide aproximadamente en longitud geográfica con la zona de cambio de dirección de las estructuras pre Eoceno Superior de Cuba, con la zona de inflexión territorial de América Central, con los extremos de las Hoyas de Guatemala y Colombia y con la zona límite de las placas Cocos y Nazca, y que Cotilla *et al.* (1991b) interpretan como relicto de una zona de debilidad regional. Otra zona de debilidad tectónica es Bartlett-Caimán. Ella tiene una disposición latitudinal e incluye a las dos fosas más profundas del área, Bartlett (Caimán-Oriente) y Puerto Rico, y una cadena de islas (Jamaica, La Española y Puerto Rico).

Cuba es un megabloque en ascenso incorporado tectónicamente a la parte meridional de la placa Norteamérica (fig. 4). Las particularidades estructurales fueron adquiridas en las dos principales etapas de su desarrollo geológico: orogenia cubana (Eoceno Medio) y neotectónica (post Eoceno Superior), caracterizadas respectivamente por movimientos compresivos, y movimientos verticales oscilatorios; responsables estos últimos de la diferenciación, la división en bloques del archipiélago y el desarrollo de una cobertura sedimentaria poco deformada que cubre en parte a las estructuras pre neotectónicas, y que se reflejan en el relieve del megabloque (Iturralde, 1977). La división en bloque se produjo a partir de los límites tectónicos longitudinales y transversales de la etapa pre Eoceno Superior, como zonas de debilidad aprovechadas por las rupturas nuevas, aunque con otro estilo y tendencia, fundamentalmente vertical (Díaz, 1985).

Alvarez *et al.* (1985) determinan una gradación para la sismicidad en Cuba, desde la zona de contacto de las placas Caribe-Norteamérica en la parte suroccidental hacia el interior del territorio (parte occidental), en dos tipos: entreplacas (o de borde de placas) e interior de placas; mientras que Cotilla *et al.* (1997a) señalan que para Cuba Oriental existe un tipo intermedio de sismicidad. Esto se corresponde aceptablemente con la situación neotectónica y permite suponer la existencia de dos unidades independientes: Oriental y Occidental (Cotilla *et al.*, 1991b) (fig. 4).

Tabla 1.—Eventos sísmicos recientes y perceptibles en el área de estudio

Fecha			Ms	I (MSK)	Localidad (Provincia)
dd	mm	aa			
16	12	82	5,0	VI	Torriente-Jagüey Grande (Matanzas)
09	03	95	2,5	V	San José de las Lajas (La Habana)

La Unidad Neotectónica Occidental de Cuba se extiende desde las inmediaciones del Cabo de San Antonio (extremo más occidental de Cuba) hasta la depresión de Cauto-Nipe (fig. 4) y se caracteriza por el tipo de sismicidad de interior de placas. En ellas las llanuras cubren un área mayor que las alturas y las elevaciones máximas son mucho menores que en la otra Unidad. El relieve es menos vigoroso. El Parteaguas Principal de Primer Orden no presenta grandes irregularidades. Los ríos más importantes son de órdenes menores que en la Unidad Neotectónica Oriental. Los sectores de levantamientos neotectónicos son considerablemente menos numerosos que en la Oriental, y existen amplias zonas donde ni siquiera se manifiestan. La amplitud total de estos movimientos en el Grupo montañoso Guamuhaya (localizado en la parte S y central de Cuba) supera ligeramente los 1.000 m, mientras que en el resto del territorio resulta considerablemente inferior.

Una actividad neotectónica, relativamente homogénea, se produce desde el Eoceno Superior hasta la actualidad, aunque los movimientos ascendentes se iniciaron no más tarde del Maestrichtiense en los bloques elevados, Guamuhaya e Isla de la Juventud, y con posterioridad al Eoceno Medio en Guaniguanico (Grupo montañoso más occidental) y en el N de Cuba Central. Se establece un sistema de bloques y se modifica, radicalmente, el sistema de fallas; destacándose en la parte marítima dos extensos y heterogéneos sistemas disyuntivos (Nortecubana y Surcubana), que constituyen los límites al N y S, respectivamente, del megabloque cubano.

### Unidad Sismotectónica Occidental (USOC)

#### *Elementos iniciales*

En las inmediaciones de las provincias Ciudad de La Habana, La Habana y Matanzas, pese a haber sido planteada por geólogos su tranquilidad (neotectónica y sísmica) y por especialistas en sismología una muy baja actividad, han acusado recientemente terremotos importantes (tabla 1). Estos eventos contradicen tales afirmaciones.

La detección de estructuras capaces de producir

terremotos en regiones como por ejemplo la Unidad Sismotectónica Occidental no resulta fácil no sólo por las condiciones geológicas, tectónicas y geofísicas (Bankwitz *et al.*, 1979), sino también por la influencia de elementos subjetivos (Cotilla, 1993). En este sentido, el autor considera que: 1) no se han realizado verdaderos estudios sismotectónicos aunque ellos se mencionen; 2) no existe una adecuada red de estaciones sismológicas, y 3) no se consideraron a completitud los métodos de teledetección a pesar de que su aplicación ha demostrado ser eficiente, al menos con los terremotos ocurridos en la falla Habana-Cienfuegos.

Argumentar una zona de alineamientos, como por ejemplo Habana-Cienfuegos (fig. 2), que no se expresa nítidamente en toda su extensión pero a la que pueden asociar terremotos en ciertos sectores de cruce o intersección (nudos) con otros elementos disyuntivos transversales (Nortecubana, Guane, Hicacos, Cochinos y Surcubana) (fig. 2) y que no ha sido reconocida con métodos tradicionales de geología y tampoco de geofísica, no resulta sencilla. Esto es aún más complicado porque algunas de las fallas transversales tampoco han sido aceptadas por los geólogos cubanos. Algo similar sucedió en la región alemana de Vogtland/O de Bohemia (Bankwitz *et al.*, 1979). Por ello para alcanzar su esclarecimiento es imprescindible realizar investigaciones sismotectónicas; pero inclusive a partir de un mapa topográfico de escala 1:50.000 es factible comprobar que en las inmediaciones de San José de las Lajas la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos converge con el final de la falla Guane, y que ambas se combinan de forma compleja en una amplia extensión. En esta área se delimita una bruca inflexión del Parteaguas Principal de Primer Orden de Cuba y conforman dos cuencas fluviales, la del Almendares y la del Mayabeque (las más importantes de esta zona) (Cotilla *et al.*, 1991a). Estas corrientes drenan en sentido contrario pero en parte sobre el mismo trazo del alineamiento mencionado, y en particular el río Mayabeque 18 km después de su nacimiento tuerce, abruptamente, al S su recorrido hacia el poblado de Güines. En la vecindad de San José de las Lajas-Jaruco hay grandes contrastes del relieve, presencia de carso (o karst) superficial y subterráneo, que permiten identificar al nudo por familias de alineamientos locales. También el trazo central de la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos puede ser comprobado en el contacto de la zona N de la Ciénaga de Zapata y la llanura del S Habana-Matanzas, así como en la tendencia del conjunto de cuencas fluviales que drenan hacia la costa S de las provincias Matanzas y La Habana (hasta Güines). A partir del mapa del espesor de los tipos de corteza terrestre para Cuba

Tabla 2.—Eventos sísmicos asociados a la falla Nortecubana

Sector							
Oriental			Central			Occidental	
Fecha	I (MSK)	Magnitud	Fecha	I (MSK)	Ms	Fecha	I (MSK)
28-02-1914	7	Ms = (6,2)	12-08-1873	6		03-02-1880	?
20-03-1992	6	Ms = 4,0	15-08-1939	7	5,6	24-07-1970	3,5
*28-12-1998	—	mb = 5,4	24-09-1992	4		16-10-1970	3
*05-01-1999	—	mb = 4,7				13-05-1978	?
*05-01-1999	—	mb = 4,5					

\* Según MIDAS (Middle American Seismograph Consortium).

(Shein *et al.*, 1985b) se puede deducir en la tendencia de las isóneas la existencia de un alineamiento de dirección NO entre Cienfuegos y Ciudad de La Habana.

### Características de las fallas

Se presenta a continuación una descripción general de las fallas (Nortecubana, Surcubana, Guane, Hicacos, Cochinos y Habana-Cienfuegos) (figs. 2 y 4):

**Falla Nortecubana (NC).** Constituye un sistema de fallas, normales y verticales, escalonadas que se suceden lateralmente unas a otras, en forma de arco a lo largo del talud continental del N de Cuba. La profundidad y el gradiente del talud varían considerablemente de E a O, siendo las partes más profundas y abruptas, por este orden, la oriental (Punta de Maisí-Camagüey) y la occidental (Cabo de San Antonio-Hicacos), y la más representativa en cuanto al espectro transversal es la parte central (al E de la Península de Hicacos hasta Camagüey). Esta cuestión responde a una reacción geodinámica contemporánea diferencial ante los distintos contenidos geológicos de la región. El sistema se vincula en nudos con las fallas que atraviesan al megabloque cubano como: Pinar, Habana-Cienfuegos, Hicacos, La Trocha, Camagüey y Cauto-Nipe; mientras sus nudos más importantes están al E con Bartlett-Caimán (u Oriente, con gran densidad de epicentros) y al O con la Surcubana. A esta estructura disyuntiva han sido asociados algunos sismos (tabla 2).

**Falla Surcubana (SC).** Es un sistema de fallas escalonadas que se sustituyen lateralmente en forma irregular y compleja a todo lo largo del borde S del megabloque Cuba. Posee dos ramas con distinta morfología y extensión. La más occidental se corresponde con la Hoya de Yucatán. Además, está relacionada, al igual que la falla NC, en nudos con las fallas que atraviesan transversalmente al megabloque cubano como: Pinar, Cochinos, La Trocha, Camagüey y Cauto-Nipe. En su extremo E conforma un nudo muy complejo con Bartlett-Caimán y Cauto-Nipe (inmediaciones de Cabo Cruz; donde se localizaron los terremotos del 26 de agosto de 1990 Ms = 5,1 y del 25 de mayo de 1992 Ms = 6,9), que da posibilidad a la existencia de una cuenca de tipo pull-apart basin. Tiene otro nudo importante en el extremo O al intersectarse con el sistema nortecubano. El sector más espectacular por su espectro transversal y gradiente neotectónico se localiza entre la Bahía de Cochinos y el Macizo del Escambray, donde se produjeron los eventos del 30 de julio de 1943 (I = 6 MSK) y del 27 de marzo de 1964 (I = 5 MSK).

**Falla Guane (G).** Extensa y compleja estructura totalmente cubierta por sedimentos jóvenes de la cuenca Los Palacios. Está localizada al S de la reconocida falla Pinar, que sí tiene muy buena expresión en el relieve y a la que se asocia por otros autores el sismo más fuerte de esta parte de Cuba Occidental, el

Tabla 3.—Total de terremotos en las zonas sismogeneradoras

Zona sismogeneradora	Total de terremotos
Habana-Cienfuegos	31
Guane	21
Cochinos	21
Hicacos	14

de San Cristóbal el 23 de enero de 1880 (I = 8 MSK). Se extiende desde el Cabo de San Antonio, donde se intercepta con los sistemas de fallas Nortecubana y Surcubana, hasta la localidad de Jaruco. Contiene como sistema de fallas a Pinar. Los epicentros que se asocian a ella aparecen en la tabla 3 y el autor considera también al evento de San Cristóbal.

**Falla Hicacos (H).** Constituye una falla que se manifiesta a lo largo de la Península de Hicacos y se interna en el territorio por el borde E de la Bahía de Matanzas delimitando muy bien al bloque Matanzas (al N). Aunque bien expresada en el relieve es diferente su morfología a lo largo de su trazo, en particular el sector meridional (Güines-Batabanó) está muy débilmente representada. En el extremo N destaca la articulación del sistema de fallas Nortecubana (en dos ramas), lugar geométrico en que se aprecia la inflexión del arco del megabloque Cuba. Evidencia en algunos tramos un muy limitado carácter transcurrente en la etapa actual. A pesar de la ausencia de registros instrumentales, el trazo de la falla puede ser interpretado con epicentros macrosísmicos (tabla 3).

**Falla Cochinos (CH).** Es una falla cubierta por sedimentos jóvenes de la cuenca asimétrica de Cochinos. Se expresa muy bien al S en el relieve de la bahía de igual nombre e intercepta con una de las dos ramas del sistema de fallas Surcubana, donde se produjo el sismo de Girón de 1964. El extremo N de la falla está en las inmediaciones de la Bahía Matanzas (desembocadura fluvial, encajada en paredes verticales de 10-20 m, del río Canímar), área donde se intercepta con la falla Hicacos y la rama O del sistema de fallas Nortecubana. González *et al.* (1989) asumen su existencia en el Oligoceno. La tabla 3 recoge el número de eventos que se le asocian.

**Falla Habana-Cienfuegos (HC).** El autor considera que es una falla. Se reconoce como una estructura heterogénea y extensa que tiene sus extremos NO y SE muy bien expresados en el relieve de las bahías de La Habana y Cienfuegos, respectivamente. En estos extremos conforma sendos nudos morfoestructurales y disyuntivos con los sistemas de fallas Nortecubana y Surcubana. Los epicentros de terremotos asociados a esta estructura están en la tabla 3.

Para esas seis fallas es factible presentar, a partir de los datos compilados de distintas fuentes por Cotilla *et al.* (1994), otros elementos que apoyana su categorización (tabla 4).

Tabla 4.—Características de las fallas (NC-Nortecubana, SC-Surcubana, G-Guane, H-Hicacos, CH-Cochinos y ALHC-Alineamiento Habana-Cienfuegos)

	NC	SC	G	H	CH	ALHC
Localizada	submarina	submarina	tierra-mar	tierra-mar	tierra-mar	tierra-mar
Dirección	E-O, NO	E-O, NO	NE	NE	NNO	NO
Longitud (km)	1.000	1.000	280	180-230	200	
Límite de Profundidad (km)	megabloque	megabloque	macrobloque	mesobloque	mesobloque	megabloque
Tipo por:						
A) Profundidad	transcortical	transcortical	transcortical	cortical	cortical	cortical
B) Movimiento	vertical	vertical	vertical	vertical-horizontal	vertical-horizontal	vertical-horizontal
Expresión en el relieve	fuerte	fuerte	muy débil	fuerte-débil	fuerte-débil	fuerte-débil
Reconocida a partir de	geofísica-geomorfología	geofísica-geomorfología	geofísica	geofísica-geomorfología-geología	geofísica-geomorfología	teledetección
Cantidad de nudos	6	10	10	3	3	5
Amplitud total movimientos neotectónicos verticales por métodos de:						
A) Isobasitas (m)	—	—	—	300	50	100
B) Geología (m)	>2.000	>2.000	2.000	500	500	200
Terremotos asociados:						
A) Históricos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
B) Recientes	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Isosistas asociadas	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí

**Datos de sismicidad**

*Presentación*

Los siguientes trabajos: (1) Chuy y González (1980); (2) González y Chuy (1983); (3) Chuy, Dzhuraev, Alvarez, Alvarez y Mirzoev (1988); (4) Orbera, González, Chuy y Oro, 1990; (5) González, Chuy, Alvarez, Rubio *et al.*, (1994); (6) Chuy, Vorobiova, González, Alvarez, Pérez, Serrano, Cotilla y Portuondo (1983), y (7) Chuy, González y Escalona (1980) recogen toda la información que sobre terremotos existe para la región Occidental de Cuba. Ellos varían mucho en cuanto a datos y han sido utilizados para estudios de la peligrosidad sísmica y el riesgo sísmico.

El análisis inicial de esas fuentes permite asegurar que: a) Los catálogos (1), (2), (3), (6) y (7) se elaboraron en el marco de dos temas de investigación: el 310.01 (quinquenio 1981-1985, Alvarez *et al.*, 1985) y el 430.03 (quinquenio 1986-1990, Alvarez *et al.*, 1990). En todos ellos el método aplicado

fue la revisión de prensa y publicaciones, pero en el segundo tema hubo recorridos retrospectivos y posteriores a los terremotos. Los catálogos (4) y (5) se prepararon (en un período de un año aproximadamente) con el objetivo específico de realizar investigaciones sismológicas para proyectos especiales (emplazamientos de la industria nuclear) tomando como base los tres primeros. Sin embargo, ellos demuestran una notable modificación de muchos de los parámetros de los eventos sísmicos a pesar del muy poco tiempo dedicado a la actividad. b) En ninguno de los siete hay un procesamiento estadístico, sólido, de la información recopilada y tampoco una valoración ingeniero-geológica. c) Son muy pocas las isosistas y todas muestran

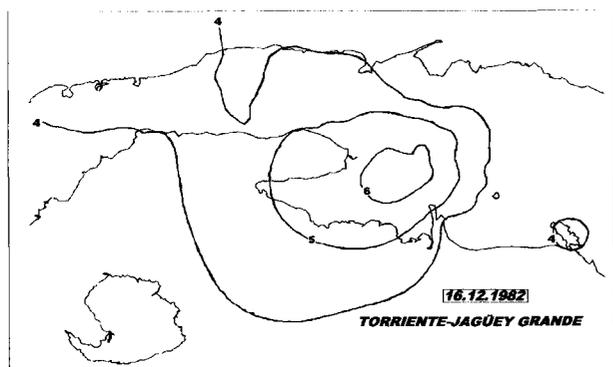


Fig. 5.—Isosistas del terremoto del 16 de diciembre de 1982 en Torriente-Jagüey Grande, Matanzas (Orbera *et al.*, 1990).

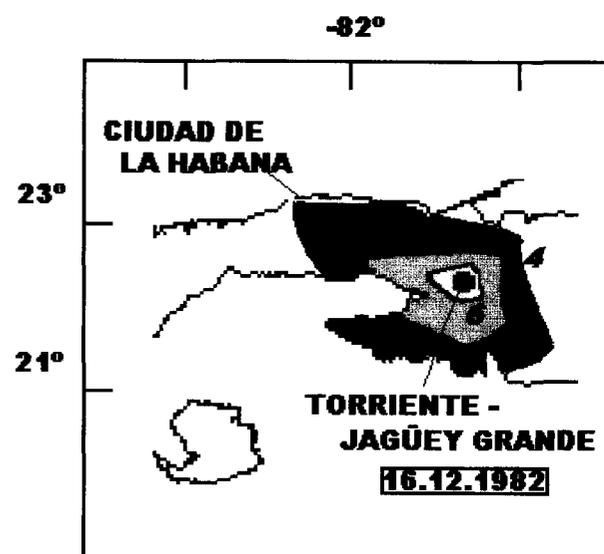


Fig. 6.—Isosistas del terremoto del 16 de diciembre de 1982 en Torriente-Jagüey Grande, Matanzas (Chuy *et al.*, 1983a).

Tabla 5.—Cantidad de eventos por intensidad

N.º de eventos	Intensidad (MSK)									
	?	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0
Catálogo (3)	23	18	1	26	—	17	—	2	—	1
Catálogo (5)	29	57	16	103	15	32	2	8	1	1

Tabla 6.—Características temporales

Eventos en	Sin información de				Con información de
	Mes	Día	Hora	Hora y minuto	Hora-minuto-segundo
Catálogo (3)	22	29	57	57	—
Catálogo (5)	91	122	137	158	14

Tabla 7.—Elementos disyuntivos que forman nudos y los poblados que en ellos están

Elementos	Nudo	Poblados
Alineamiento Habana-Cienfuegos y falla Nortecubana	5 (Ciudad de La Habana)	Ciudad de La Habana
Alineamiento Habana-Cienfuegos y falla Guane	4 (San José de las Lajas)	San José de las Lajas, Pedro Pí, Tapaste, Jaruco
Alineamiento Habana-Cienfuegos y falla Hicacos	3 (Güines)	Güines, Ceiba del Agua
Alineamiento Habana-Cienfuegos y falla Cochinos	2 (Torriente-Jagüey Grande)	Torriente-Jagüey Grande, Hato de Jicaritas
Alineamiento Habana-Cienfuegos y falla Surcubana	1 (Cienfuegos)	Cienfuegos

demasiada homogeneidad, y d) Los especialistas T. Chuy y B. González son autores de todos los catálogos.

El análisis cualitativo de los catálogos se centró en ocho aspectos: 1) existencia o no de datos instrumentales; 2) fecha, precisión hasta año, mes o día; 3) hora de origen, precisión hasta hora, minuto, o segundo; 4) profundidad por: datos instrumentales, macrosísmicos o ambos; o no existe determinación; 5) intensidad máxima reportada; 6) tipo de dato: prensa y crónicas, inspección después del terremoto, encuesta retrospectiva; 7) número de localidades que reportan el terremoto, y 8) existencia o no de mapa de isosistas.

Se supone que será el catálogo más reciente, González *et al.* (1994), con identificación (5), el más completo y fiable. No obstante, para comparaciones se escogió el catálogo (3) (tablas 5 y 6). El catálogo (5) tiene 266 eventos y 11 isosistas; de éstas sólo una pertenece a la región de estudio (Torriente-Jagüey Grande) (fig. 5) y su forma es muy diferente de la original de 1983 (Chuy *et al.*, 1983a) (fig. 6). Esas isosistas aparecieron ya modificadas en Orbera *et al.* (1990). Respecto de la fiabilidad de los nuevos datos que modificaron las isosistas el autor tiene dudas, ya que recorrió los poblados en los días inmediatos y posteriores al sismo del 16 de diciembre de 1982 y no hubo indicación de perceptibilidad por los pobladores y las autoridades locales. Esa modificación es muy apreciable por la forma y orientación de las isosistas en las inmediaciones del epicentro, y en el trazo por Ciudad de La Habana-San José de las Lajas. Esto, evidentemente, disminuye la peligrosidad sísmica en el entorno de esta última localidad donde está el emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares.

Queda claro que para los catálogos (3) y (5) se cumple que: 1) la fiabilidad de los reportes no es alta; 2) la completitud de la cantidad de eventos por intensidad es baja, y 3) los datos deben ser empleados en los estudios de peligrosidad sísmica con cuidado, reconocida su manipulación.

### Nudos y terremotos

Para facilitar la exposición y la correlación de la información sísmológica (teniendo en consideración lo antes expuesto) con los nudos (zonas más proclives a terremotos, según hipótesis del autor) (fig. 2) se procede a organizar la información de los catálogos por localidad. Así, se presenta la tabla 7 que recoge los elementos disyuntivos que conforman los nudos, la numeración de los nudos y los poblados que en ellos están (de O a E).

En las inmediaciones del nudo {N1} de Cienfuegos funcionó, más o menos un año, en la década de los setenta una red de

Tabla 8.—Datos para el nudo de alineamientos Cienfuegos {N1}

Catálogo (7)		Catálogo (4)		Catálogo (5)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
30-08-1849	4	30-08-1849	4	30-08-1849	4
—	—	1913	4	1913	4
1914	?	1914	?	1914	4,5

Tabla 9.—Datos para el nudo de alineamientos Torriente-Jagüey Grande {N2}

Poblados de			
Torriente-Jagüey Grande		Hato de Jicaritas	
Catálogos (3), (4), (5) y (6)		Catálogos (3), (4), (5) y (6)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
11-1982	3	1954	4
16-12-1982	6		
16-12-1982	?		
16-12-1982	?		
17-12-1982	?		
18-12-1982	4		

tres estaciones sísmológicas (de corto período) de tipo convencional (Juraguá, Ariza y Jardín Botánico) para los estudios de la Central Electronuclear (CEN) de Juraguá, pero no hubo siquiera un solo evento sísmico natural registrado. Este nudo del extremo suroriental del alineamiento Habana-Cienfuegos, tiene tres reportes históricos (tabla 8). El incremento sistemático en la evaluación de la intensidad (de ? a 3 y 4,5 grados MSK) del sismo de 1914, no modifica su aparente baja actividad.

El nudo {N2} incluye en los informes tres localidades (Torriente-Jagüey Grande y Hato de Jicaritas) y en él se produjo el sismo de 1982 (el de mayor intensidad sobre el alineamiento Habana-Cienfuegos) (tabla 9). Sin embargo, no existen datos anteriores a la década de 1950. Por su parte, su nudo vecino del O, Güines {N3} tiene un dato claro aunque del siglo XVIII. Ese sismo (del 7 de julio de 1777, I = 5 grados MSK) fue

Tabla 10.—Datos para el nudo de alineamientos Ciudad de La Habana {N5}

Catálogos (1) y (6)			Catálogo (3)			Catálogos (4) y (5)		
Fecha	Hora	I (MSK)	Fecha	Hora	I (MSK)	Fecha	Hora	I (MSK)
1693	—	?	1693	—	?	1693	—	?
1810	—	?	1810	—	5	1810	—	4
1835	—	?	1835	—	?	1835	—	?
21-02-1843	—	?*	21-02-1843	—	5	21-02-1843	—	5
—	—	—	08-03-1843	09:39	?	08-03-1843	09:39	?
—	—	—	08-03-1843	16:59	?	08-03-1843	16:59	?
—	—	—	1844	—	?	1844	—	?
1852	—	?	1852	—	?	1852	—	?
1854	—	?	1854	—	?	1854	—	4
—	—	—	04-10-1859	—	4	04-10-1859	—	10
12-1862	—	4	12-1862	—	4	12-1862	—	3
—	—	—	25-03-1868	—	5	25-03-1868	—	5
1880	—	?	1880	—	?	1880	—	?
19-02-1907	—	5	19-02-1907	—	5	19-02-1907	—	5
—	—	—	15-04-1907	—	4	15-04-1907	—	4
1932	—	4	1932	—	4	1932	—	4
—	—	—	1941	—	4	1941	—	4
18-12-1942	—	3	18-12-1942	—	4	18-12-1942	—	4
11-09-1957	07:35	4+	—	—	—	—	—	—

\* a) Se considera por los autores del catálogo (1) que es de Santiago de Cuba, mientras que para los otros tres catálogos [(3), (4) y (5)] no hay indicación al respecto; b) + Asumen los autores del catálogo (3) que es de Pinar del Río y no de Ciudad de La Habana, pero en el catálogo (2) (que es de ese territorio) no aparece, y en los catálogos (4) y (5) no hay indicación al respecto. Los eventos 21-06-1791 (I = ?) y 10-10-1846 (I = 3, MSK) no están incluidos para el análisis en la tabla anterior porque hay posibilidad de que sean de dos localidades (La Habana-Matanzas y La Habana-Madruga, respectivamente).

perceptible en otras dos localidades (La Habana y Matanzas con 3 grados) y lo consignan cinco catálogos [(1), (3), (4), (5) y (6)]. Unos kilómetros más al NO, en el nudo de San José de las Lajas {N4}, hay dos eventos independientes (12 de octubre de 1905, I = 4 grados MSK y 16 de junio de 1953, I = 5 grados MSK) para dos localidades vecinas (Jaruco y Tapaste) que están confirmados por varios de los catálogos [(1), (4), (5) y (6) y (1), (3), (4), (5) y (6), respectivamente], sin incluir el evento 5 grados (MSK) que ocurrió en San José de las Lajas el 9 de marzo de 1995.

De atendernos a los catálogos (tabla 10), en el nudo {N5} la actividad sísmica asignada es la mayor, al menos en frecuencia, de toda la región de trabajo:  $I$  (MSK)/N.º de eventos: ?/8, 3/1, 4/6, 5/3. Además, es evidente que existe un esfuerzo al completamiento de los catálogos desde 1980 hasta 1994, así como tendencia a disminuir la intensidad, como se aprecia con los catálogos (4) y (5). En este sentido el comportamiento temporal de los sismos es irregular, de atendernos a la relación:  $Periodo/N.º$  de eventos: 1693-1800/1, 1800-1900/12, 1900-1996/5.

### Fallas y terremotos

La tabla 11 contiene para tres fallas (Hicacos, Cochinos y Guane), estrechamente relacionadas con la falla Habana-Cienfuegos (Cotilla *et al.*, 1991a, b), los nudos y poblados que comprenden en su trazo (fig. 2). Los datos sísmológicos indican la sismoactividad de estos elementos disyuntivos. De esta forma se aprecia (tabla 12) que la falla Guane inmediatamente antes de su cruce con la falla Habana-Cienfuegos (nudo de San José de las Lajas) presenta actividad sísmica en los poblados de Santiago de las Vegas [13 de noviembre de 1762, I = 4 grados MSK, según los catálogos (1), (3), (4), (5) y (6)] y Rincón [27 de enero de 1880, I = 4 grados MSK, según el catálogo (3)]. Al O de la provincia Ciudad de La Habana y siempre sobre el trazo supuesto de la falla Guane hay un total de quince eventos

sísmicos en once poblados, los cuales pueden confirmar la actividad de esta estructura cubierta. Otros autores lo asocian con la falla Pinar; pero ella está muy retirada al N (Cotilla *et al.*, 1991b).

En las inmediaciones de la falla Cochinos hay actividad en los poblados de Girón {nudo 8}, Perico, Agramonte y La Isabel (cinco sismos, cuatro de ellos con intensidad mayor o igual

Tabla 11.—Fallas transversales a la falla Habana-Cienfuegos y los poblados principales que comprenden

Falla	Nudo	Poblados
Cochinos	6	Varadero-Matanzas
	2	Torriente-Jagüey Grande
	8	Girón
Guane	4	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
Hicacos	—	La Coloma
	—	Las Martinas
	6	Varadero-Matanzas
	7	Varadero
	2	Güines
—	Batabanó	

Tabla 12.—Actividad sísmica en las inmediaciones de la falla Guane

Poblados de							
Ceiba del Agua		Caimito del Guayabal		Consolación del Sur		Punta de Cartas	
Catálogos (1), (3) y (6)		Catálogos (1), (3), (4), (5) y (6)		Catálogos (1), (3), (4) y (5)		Catálogos (3) y (4)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
31-08-1886	4	23-09-1921	4	15-02-1939 20-04-1939	3 ?	1964	4
Central «José Martí»				Hermanos Barcón		San Juan y Martínez	
Catálogos (1) y (3)		Catálogos (4) y (5)		Catálogos (1), (3), (4) y (5)		Catálogos (3) y (4)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
09-03-1976	3	09-03-1976	3	1958	?	09-06-1981	3,5
10-03-1976	3	10-03-1976	3				
15-03-1976	3	15-03-1976	3				
—	—	09-1988	3				
Alonso de Rojas		La Isabel		La Coloma		Las Martinas	
Catálogos (3), (4) y (5)		Catálogos (3), (4), (5) y (6)		Catálogos (3), (4) y (5)		Catálogo (4)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
11-06-1981	5	1974	?	1978	4	1982	3

Tabla 13.—Actividad sísmica en las inmediaciones de la falla Cochinos

Poblados de							
Girón		Perico		Agramonte		La Isabel	
Catálogos (3), (4) y (5)		Catálogos (1), (3) y (5)		Catálogos (3) y (5)		Catálogos (3) y (5)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
27-03-1964	5	01-1927 05-06-1928	4 3	1903	5	1974	4

que 4) que pueden ser prueba de su importancia neotectónica (tabla 13).

Sostenemos que la escasa perceptibilidad de los sismos asociados a las fallas Guane y Cochinos (para toda su extensión hay un dato por localidad) es debida a la combinación de factores físicos y subjetivos. En los primeros están la relación morfología/disposición de las cuencas que limitan con ella y a sus condiciones ingeniero-geológicas, lo que de conjunto influye en la atenuación de las ondas (p. ej.: el sismo de Torriente-Jagüey Grande) (Cotilla *et al.*, 1988). Y en cuanto a los factores subjetivos, se consideran el despoblamiento y la falta de interés de las autoridades en informar la perceptibilidad de sismos débiles.

A la falla Hicacos se puede asociar terremotos en varios lugares (tabla 14). En este caso el autor considera que todos los eventos referidos en la ciudad de Matanzas corresponden a la triple intersección de las fallas Hicacos, Nortecubana y Cochinos {nudo 6}, y no al extremo NE de la Península Hicacos (intersección de la otra rama del Sistema de fallas Nortecubana e Hicacos {nudo 7}). De esta forma hay un aumento del catálogo con variaciones apreciables en cuanto a los valores de intensidad como lo demuestra la relación *Intensidad (MSK)/Total de*

*eventos*: ?/3, 3/2, 3,5/1, 4/1, 5/2. Concretamente, para esta área hay en el período 1800-1900 un total de siete terremotos y en el siglo XX sólo dos. El otro extremo de la falla Hicacos, en las cercanías de la localidad habanera de Batabanó, tiene dos sismos de 4 y 5 grados (MSK) de principios del siglo XX. Entonces, el trazo de la falla Hicacos se puede reconocer con datos de terremotos en los poblados de Batabanó, Madruga y Matanzas.

Ciudad de La Habana, Cienfuegos y Matanzas fueron y son en esta región los asentamientos más antiguos de mayor significación desde el punto de vista económico y social, y por consiguiente, donde más atención se debió prestar, históricamente, a la perceptibilidad de un sismo (tabla 15). Se incluyó a Güines como una prueba de que desde esa época también había asentamientos poblacionales en el centro y S del territorio. Sin embargo, eso no significa que la perceptibilidad de un sismo débil haya motivado a las autoridades locales a notificarlo.

Reduciendo el análisis de sismoactividad a sólo tres elementos lineales (Habana-Cienfuegos, Hicacos y Cochinos) que incluyen a todos los nudos se preparó la tabla 16. Ella muestra el tiempo transcurrido (en años) desde la última ocurrencia de un terremoto en cualquiera de los nudos con relación al elemento principal que lo contiene. Así resulta que el

Tabla 14.—Actividad sísmica en los extremos de la falla Hicacos

Poblados de									
Batabano				Madruga					
Catálogos (1) y (6)		Catálogos (3), (4) y (5)				Catálogo (5)		Catálogo (1)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
27-05-1914	4	27-05-1914	4	27-05-1914	4	27-05-1914	4	27-05-1914	4
—	—	28-05-1914	5	—	—	—	—	28-05-1914	5
Matanzas									
Catálogo (1)		Catálogo (3)		Catálogo (4)		Catálogo (5)		Catálogo (6)	
Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)	Fecha	I (MSK)
1812	3	1812	4	1812	4	1812	4	1812	3
—	—	—	—	05-03-1843	3	05-03-1843	5	—	—
—	—	—	—	1852	5	1852	5	—	—
1854	?	1854	?	1854	?	1854	?	1854	?
—	—	1854	—	1854	5	—	—	—	—
09-1854	?	09-09-1854	4	09-09-1854	?	10-09-1854	5	09-1854	?
—	—	—	—	10-09-1854	4	10-09-1854	?	—	—
1880	?	1880	?	1880	?	1880	?	1880	?
—	—	1970	4	27-04-1970	4	27-04-1970	3,5	—	—
—	—	1978	3	1978	3	1978	3	1978	3

Tabla 15.—Asentamientos de la población en la región de estudio

Nombre del poblado	Año de	
	Fundación del poblado	Primer reporte de sismo
Ciudad de La Habana	1519	1693
Cienfuegos	1819 (1745 *)	1849
Matanzas	1693	1812
Güines	?	1777

\* En esa fecha fue edificada la fortaleza que guarda la entrada de la bahía.

{nudo 3} de Güines es el que posee un mayor período sin actividad.

Entonces, es factible dada la precisión de los catálogos asociar los terremotos a las fallas o a los nudos.

## Vías para el estudio sismotectónico

### Líneas generales

Los estudios que sobre Sismotectónica han sido publicados desde la década de 1970 hasta la actualidad se pueden agrupar en cinco grupos. Estos grupos tienen interconexión, pero cada uno se distingue por una posición y forma de tratamiento del problema que en otros puede o no considerarse. Cotilla (1993) reflexiona acerca del asunto.

Tabla 16.—Tiempo (en años) desde la última ocurrencia de un terremoto en los nudos

Sobre la falla	Nudos	Tiempo (años)
Habana-Cienfuegos	Ciudad de La Habana {5}	54
	Cienfuegos {1}	82
	Torriente-Jagüey Grande {2}	14
	Güines {3}	219
	San José de las Lajas {4}	1
Hicacos	Matanzas {6}	18
Cochinos	Girón {8}	32

El orden de presentación de los grupos que aquí se hace no implica un nivel de importancia mayor. Así, de una forma sintética el primero enfrenta la relación del tamaño de los terremotos con las dimensiones y otras características de las fallas (Cluff *et al.*, 1972; Riznichenko, 1964; Shebalin, 1971; Wells y Coppersmith, 1994). El segundo grupo concentra la atención en las zonas de mayor peligro del planeta, estableciendo el concepto de *gap* (Kelleher, 1972; Kelleher *et al.*, 1973; Kelleher y McCann, 1976; Nishenko, 1991; Kagan y Jackson, 1994, 1995). También está incluido en este grupo la evaluación de los denominados «terremotos ocultos» (Stein y Yeats, 1989). El tercero se enmarca en el procesamiento y la interpretación de las características geólogo-geofísicas de áreas capa-

ces de producir fuertes terremotos (Zhidkov *et al.*, 1975; Guelfand *et al.*, 1976; Gviahiani *et al.*, 1978, 1980; Rantsman, 1979). En particular, es en este grupo tres donde se consideran las intersecciones o nudos como las zonas de mayor probabilidad para reflejar terremotos. La utilización preferente de la teledetección para la delimitación de estructuras sismogénicas, en zonas estables y relativamente estables, constituye el grupo cuatro (Spiridonov y Grigorova, 1980; Grünthal *et al.*, 1985a, b; Shenkova *et al.*, 1995). Y en el quinto grupo está el Working Group on California Earthquake Probabilities (1995). Este recoge selectivamente las experiencias anteriores y desarrolla las propias con evaluaciones probabilísticas para la región de California. Sin embargo, declara que hay otras vías para tratar la información que sobre terremotos y su peligro involucran a una región.

Por lo general, esos grupos consideran en sus estudios: a) datos de geodesia, geofísica y geología para delimitar las fallas y sus segmentos, y b) una distribución uniforme, en espacio y tiempo, de terremotos para cada segmento de la falla con el propósito de alcanzar estimaciones de la magnitud máxima posible de un futuro terremoto. No obstante, existen diferencias significativas en resultados y desacuerdos entre los especialistas (Jackson y Kagan, 1993; Nishenko y Sykes, 1993; Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995).

Con independencia de la capacidad y el rigor de trabajo y los recursos asignados de esos grupos, el terremoto de Landers del año 1992 desmontó el concepto de segmentación de fallas, al menos en su actual concepción (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995). Este terremoto demostró que estas estructuras, delimitadas y fundamentadas por los especialistas, pueden romper como un todo único. Es decir, la estimación de la magnitud máxima de los terremotos a partir de los segmentos de falla no tiene sentido.

El Working Group on California Earthquake Probabilities (1995) ha apreciado que las fallas ocultas (o ciegas) son estructuras potencialmente peligrosas, y a las que debe prestarse extrema atención en los estudios sismotectónicos, especialmente cuando sus inmediaciones han ocurrido terremotos.

#### *Procedimientos sismotectónicos auxiliares*

Los principales rasgos de la morfoestructura contemporánea de la Unidad Neotectónica Occidental (desde el Cabo de San Antonio, provincia Pinar del Río, hasta el O de la Bahía de Cienfuegos) aparecen como consecuencia del proceso de obducción del

arco volcánico en el Cretácico Tardío sobre el borde meridional de la placa litosférica de Norteamérica, y en la etapa neotectónica, de los movimientos combinados y diferenciados de los bloques en dirección horizontal y vertical cuando acontece la apertura de la Hoya de Yucatán. De esta forma resulta lógico (en otros países ha aportado buenos resultados) vincular la morfoestructura de tipo nuevo con los datos de movimientos recientes (Rantsman, 1979; Ellenberg, 1988).

En este sentido y de acuerdo con Díaz y Lilienberg (1989), Cuba Occidental (el sector de la Unidad Neotectónica antes descrito) (fig. 7) tiene una manifiesta tendencia al aumento de la intensidad y el carácter contrastante de los movimientos recientes verticales desde el O hacia el E, así como por su inclinación general N-S. La subregión de Pinar del Río aparece con valores de -2,0 a +2,5 mm/año y la subregión Habana-Matanzas con -2,0 a +10,0 mm/año. También para Pinar del Río se reflejan en primer lugar las morfoestructuras de tipo longitudinal y las transversales en segundo; mientras que para Habana-Matanzas las morfoestructuras más significativas son las transverso-digonales.

Sobre la base de los resultados de esos autores es factible observar (fig. 7) que los valores de los movimientos verticales recientes distinguen: 1) al sistema de alturas (tipo horst-anticlinal) Habana-Matanzas en un rango de +4,0 a +8,0 mm/año y a dos de sus elementos, las mesetas de tipo graben sinclinal, Tapaste y Aguacate con +2,0 a +4,0 mm/año (elevamiento retardado); 2) a la llanura del N de La Habana con débiles descensos de hasta -2,5 mm/año en la bahía; 3) a la llanura del N de Matanzas, al E de la anterior (desde los poblados de Santa Cruz del Norte y Jaruco), con +6,0 y +8,0 mm/año, que se incrementan en Cárdenas (al E de la Península de Hicacos) hasta +10,0 y +12,0 mm/año; 4) a la parte meridional, en la llanura del S de Habana-Matanzas con ascensos de 0 a +2,0 mm/año y de +4,0 a +6,0 mm/año para los sectores al O y al E, respectivamente, de una línea imaginaria trazada entre los poblados de Jaruco y Camacho (muy cerca este último de Batabanó); 5) a la parte centro-E, específicamente en las inmediaciones de los poblados de Colón-Jovellanos (al E también, pero de la falla Cochinos) con descensos graduales, y 6) a la franja S, ya cerca de la costa y de dirección E (incluyendo al humedal de la Ciénaga de Zapata), los descensos alcanzan los -2,0 mm/año.

De estos elementos se extraen cinco ideas: 1) Es probable que las fallas Guane y Habana-Cienfuegos sean los controladores (límites) principales de los cambios en los valores (incluido el signo) y del diferente comportamiento de los movimientos recientes verticales al E y O de los poblados Jaruco-

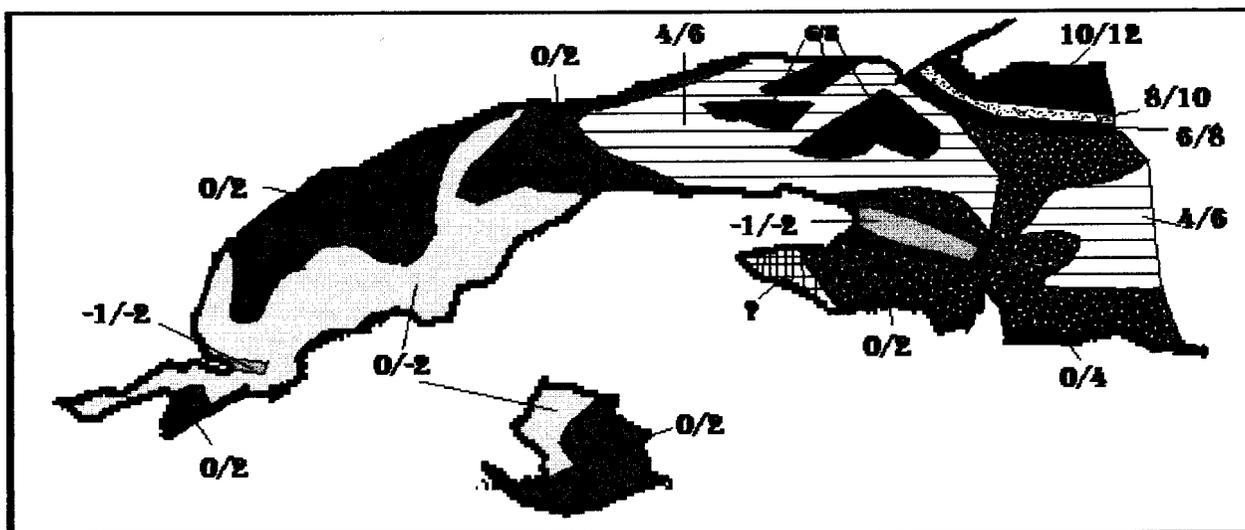


Fig. 7.—Esquema con datos de las estructuras y los movimientos recientes verticales de parte de la Unidad Neotectónica Occidental (modificado de Díaz y Lilienberg, 1989).

Santa Cruz del Norte (área inmediata al NE del {nudo 4} de San José de las Lajas); y en particular sean los más involucrados en el retardo a los ascensos para la localidad de Tapaste. 2) Las fallas Guane y Habana-Cienfuegos condicionan los cambios de la parte S de las llanuras de Habana-Matanzas, al E y O de la línea imaginaria Camacho-Batabanó. 3) El retardo a los ascensos de la localidad Aguacate (al N de la falla Hicacos y sobre la parte S del bloque Matanzas) indica no sólo la estructura de bloques del territorio sino también sus contrastes dinámicos. 4) Las fallas Cochinos y Habana-Cienfuegos, al parecer, están relacionados con las modificaciones en el plano estructural aledaño al {nudo 2} de Torriente-Jagüey Grande (incluida la inversión de los movimientos recientes verticales en la zona de Colón-Jovellanos). Es decir, hay un fondo general de ascensos en la llanura meridional de Matanzas y el bloque Matanzas con áreas de descenso al NE (Colón-Jovellanos) del nudo y colindante con éste; pero al S se distingue un extenso territorio (Ciénaga de Zapata) que desciende rápidamente. Lo cual se corresponde con los resultados gravimétricos de Cuevas *et al.* (1992) en cuanto a la presencia de un sistema de pequeños bloques (con movimientos verticales de ascenso y descenso relativos), y de Cuevas (1994) que describe una anomalía isostática, y 5) Las fallas transverso-diagonales (Guane, Hicacos y Habana-Cienfuegos) son de gran significación en el desarrollo del campo morfoestructural contemporáneo.

Para la provincia Matanzas, desde el punto de vista geológico, hay dos resultados que describen la movilidad diferente a ambos lados de la falla Cochi-

nos y un sistema de bloques desde el Oligoceno hasta el reciente. Así, según Iturralde (1969) la diferencia estratigráfica entre los sedimentos del Neógeno en la provincia Matanzas se explica a partir de características tectónicas regionales. En este sentido las formaciones: Güines, Colón, Jaruco, Cojimar, Capas de Gypsina, El Maíz, Canímar y Península aparecen en la parte O de una línea imaginaria entre las Bahías de Cochinos y Cárdenas y sólo las dos primeras en la parte E. Esa línea coincide aproximadamente con la dirección de la falla Cochinos. Además, de ese mismo trabajo se tiene que para el Neógeno se conformó la estructura de bloques, aunque la época era de poca movilidad y, en particular la región oriental de Matanzas se elevó cerca de 400 m con relación a la región occidental (bloque deprimido de la falla Cochinos). El bloque occidental, durante el Mioceno, mantuvo manifiesta tendencia a los ascensos (secuencia regresiva) y para el Plioceno Superior descendió. La movilidad del bloque oriental fue menor que la del occidental, a pesar de su constante tendencia a los ascensos y su emersión desde el Mioceno Medio. Para Franco (1980) la sedimentación del Oligoceno Superior fue más intensa en la parte oriental, debido a una lenta y continua subsidencia como consecuencia del movimiento relativo de los bloques, por medio de la falla Cochinos. En el bloque occidental no ha sido observada ninguna secuencia del Oligoceno. En el Neógeno se manifiesta la emersión del bloque oriental y la subsidencia en el occidental, debido a un desplazamiento inverso de la falla. Esta es la primera vez que se planteó la tendencia diferencial en el sentido de movimiento de los bloques. Tal observación fue

ratificada en Cotilla *et al.* (1988) que incluyó los {nudos 6 y 7} de Girón y Matanzas, respectivamente. En nuestro trabajo se interpreta que está vinculada, al menos espacilmente, con el {nudo 2} de Torriente-Jagüey Grande. Sin embargo, el Instituto de Geología y Paleontología no la comenta en la comunicación escrita de 1995 (incluida en la Directiva del Instituto de Geofísica y Astronomía, del mismo año) respecto de la propuesta sobre el alineamiento Habana-Cienfuegos del autor. A esta última se dedica espacio posteriormente.

A partir de los mapas tectónicos de Shein *et al.* (1985) y Mossakovsky *et al.* (1989) se distinguen (por datos geofísicos) el levantamiento transversal en la corteza sedimentaria (N-S) Jagüey-Agramonte y una diferente distribución de rocas intrusivas y efusivas. El levantamiento (de relación largo/ancho = 4,5/1) posee una acusada convexidad al O y está localizado al E de la falla Cochinos (evidentemente, al mismo lado que los poblados de Torriente y Jagüey Grande, {nudo 2}). Esto permite suponer la presencia en la profundidad de un campo de esfuerzos diferencial, al menos, en las inmediaciones de los dos poblados antes mencionados.

En atención a la ubicación, la disposición y la morfología de los bloques Cidra (al S de la ciudad de Matanzas) y Coliseo (al SE del bloque anterior), y el abrupto desvío del río Canímar (E-O a NO) es posible reconocer la presencia de la falla Cochinos, así como también precisar (con mediciones *in situ* en los cuerpos rocosos) su transformación dinámica de la etapa pre neotectónica (como falla transcurriente destrosa) a la actual (falla normal-vertical) (Cotilla *et al.*, 1994). Estos dos bloques junto al de Madruga (localizado al O de Cidra) constituyen en la actualidad una sola estructura (Shein *et al.*, 1985; Mossakovsky *et al.*, 1989).

Un aspecto de índole tectónico-estructural de la región oriental de la provincia La Habana y occidental de Matanzas, que ha sido reconocido por otros autores (Academia de Ciencias de Cuba y Polonia, 1981) y que el autor considera explica la existencia y la disposición NO del alineamiento Habana-Cienfuegos, se refiere al encuentro allí de: 1) las zonas estructuro-faciales Zaza (eugeosinclinal) con Camajuaní y Placetas (miogeosinclinal), y 2) las direcciones Guaniguanico, Pinar del Río (NO) y Las Villas (NO). Este sector contiene un evidente cambio direccional heredado de anteriores etapas compresivas y que se asume cambió a una distensión de tipo rotacional muy leve (al NE) en la etapa actual y con particular significación en la cuenca Cochinos (Cotilla y Franzke, 1994). El proceso distensivo rotacional favorece la ocurrencia de terremotos en áreas específicas, como ejemplo el {nudo 2} de Torriente-Jagüey Grande.

Díaz y Lilienberg (1989) declaran la existencia de tres tipos de mecanismos sismogeneradores para Cuba Occidental, que por orden de importancia son: 1) nudos morfoestructurales; 2) elementos lineales sismogénéticos, y 3) nudos disyuntivos. Y en este sentido dan a la Bahía de La Habana como el nudo morfoestructural de mayor importancia (aquí {nudo 5}), que está conformado por las fallas Nortecubana y Pinar. El sismo de Torriente-Jagüey Grande lo asocian a un nudo disyuntivo (aquí {nudo 2}).

De otra parte, Chuy *et al.* (1988) presentan en su figura 1 para el mismo territorio de Cuba Occidental un conjunto de zonas sismogeneradoras (zs), por ellos determinadas, y los epicentros de terremotos. La concentración epicentral de Ciudad de La Habana la vinculan solamente con las zs Nortecubana y Habana (que extienden al SE hasta Madruga, muy al N de Güines y sin alcanzar siquiera a Torriente). La zona sismogeneradora Cochinos (entre Girón y la Bahía de Matanzas) es la única responsable del terremoto de Torriente-Jagüey Grande (desestiman el mecanismo de nudo). Mientras que con la zona sismogeneradora Habana explican los terremotos de Tapaste y Jaruco, pero no el de Güines. Los eventos de la ciudad de Matanzas los incluyen en el trazo de la banda sismogeneradora Matanzas (o Hicacos), quien ni siquiera intercepta a la zona sismogeneradora Habana. Y la zona sismogeneradora Pinar (para ellos ésta es la de mayor importancia y categoría de la región, inclusive por encima del sistema de fallas Nortecubana) no alcanza al poblado San José de las Lajas, pero sí tiene esa dirección.

Los dos autores principales de ese trabajo con posterioridad en Orbera *et al.* (1990) (fig. 1) [trabajo de corte sismotectónico para estudiar y decidir el emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares, CIN, de Pedro Pí-Tapaste, en La Habana] modificaron, sin comentario, en mucho su opinión anterior. Aquí la zona sismogeneradora Nortecubana ahora está segmentada y tiene igual categoría que Pinar.

Esta última se divide en dos ramas (la más ancha, hacia la Bahía de Mariel y la otra, muy afinada hacia la Bahía de La Habana). La zona sismogeneradora Habana se extiende casi paralela a la línea de costa S y sobre la llanura meridional Habana-Matanzas para interceptar la fina rama de Pinar en las inmediaciones de Vereda Nueva (tremendamente distanciada de la bahía habanera). Evidentemente, no se pueden explicar los epicentros de Tapaste y Jaruco (donde está el Centro de Investigaciones Nucleares). La zona sismogeneradora Habana sí se cruza con la de: 1) Hicacos (o Matanzas), que continúa siendo la misma que en el trabajo anterior, y 2) Cochinos (que aparentemente ahora no es responsable del evento de Torriente-Jagüey Grande).

Este último cruce de zonas sismogeneradoras, aunque localizado muy al N de Torriente (en las inmediaciones del poblado de Pedro Betancourt) puede explicar dicho sismo (fig. 1). El trabajo de marras concluye que en las inmediaciones del Centro de Investigaciones Nucleares no hay problemas por futuros terremotos. Esas y otras dificultades se discuten en Cotilla (1998).

El mapa neotectónico de Cuba de Cotilla *et al.* (1991b) recoge el resultado de Cotilla y Franzke (1994) con relación a la cinemática de las fallas y la estimación de un tensor de esfuerzos con dirección NE-SO en el nudo de Torriente-Jagüey Grande. Estos autores clasificaron al tensor como de calidad deficiente y suponen la articulación de cuatro celdas geodinámicas irregulares con giros dextrógenos (fig. 8). La interpretación neotectónica, las medidas geodésicas de Díaz y Lilienberg (1989) para toda la región y los datos geológicos de Iturralde (1969) y Franco (1980) para la falla Cochinos tienen buena correspondencia.

Cotilla (1993) interpretó, en el contexto de la dinámica de placas de la región Caribe-Norteamérica, resultados de Sherbakova *et al.* (1975, 1977), que determinan la estructura de bloques de Cuba Occidental, aportaciones de Iturralde (1977), González *et al.* (1983), Díaz (1985) y Shein *et al.* (1985b), en cuanto a la estructura y movilidad vertical de esta región, y datos del campo isostático obtenidos por Cuevas *et al.* (1992). Concluye que Cuba Occidental tiene una estructura de bloques fallados y desnivelados, diversos en movilidad y tendencia de desplazamiento en la vertical, pero interrelacionados (bajo una ley, aún no estudiada) en un marco regional de movimiento lateral izquierdo. Es decir, los bloques demuestran en superficie rotación y basculamiento. De esta forma, se explica la ocurrencia preferente de los terremotos en los nudos de fallas.

La falla Habana-Cienfuegos puede definirse sobre la base de las recomendaciones del Working Group on California Earthquakes (1995) como una falla oculta, parcialmente, y potencialmente peligrosa por tener epicentros asociados. Al no existir estudios fiables para su adecuada segmentación, debe considerarse en toda su extensión. Por lo que resulta inadecuada la segmentación presentada en la figura 1, que reduce manifiestamente la peligrosidad sísmica en el Centro de Investigaciones Nucleares y la Central Nuclear de Cienfuegos.

Se puede interpretar que estas fallas (Habana-Cienfuegos, Guane, Cochinos, Hicacos, Pinar, Nortecubana y Surcubana) (fig. 2) con independencia del mecanismo sismogénico, tienen actividad sísmica en la etapa actual. Por ello, se deben considerar en los estudios de peligrosidad sísmica como poten-

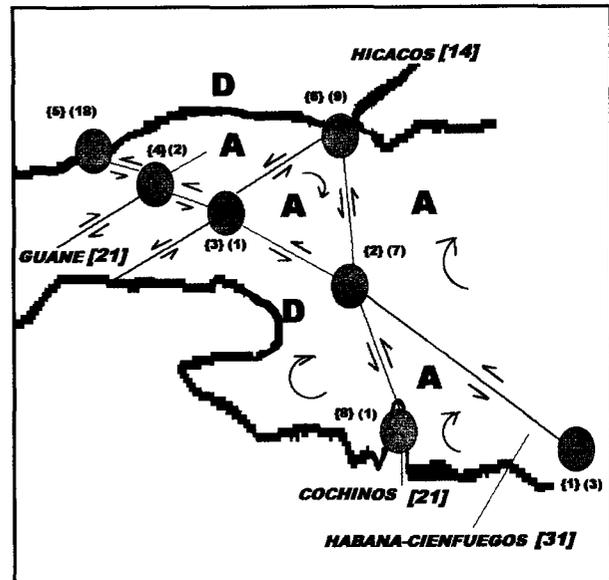


Fig. 8.—Representación simplificada de la geodinámica contemporánea para la región de estudio. (Aparecen los nudos con su numeración [1] y cantidad de terremotos (4), las fallas con su nombre y cantidad de terremotos [3], y su sentido de movimiento, y la tendencia al ascenso [A], el descenso [D] y giro relativo de los bloques.)

cialmente activas. Esta idea y esta posición fueron apoyadas por el Dr. J. F. Albear en el Instituto de Geofísica y Astronomía, en el año 1988. Además, con la tabla 3 se deduce que es la falla Habana-Cienfuegos la más activa de todas ellas.

## Discusión

El levantamiento geológico en la provincia Matanzas (Academias de Ciencias de Cuba y Polonia, 1981) no reportaba elemento tectónico disyuntivo alguno para la zona de Torriente-Jagüey Grande. Tampoco el Esquema Neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000 de Shein *et al.* (1975) recogía indicio de actividad. Sin embargo, Albear *et al.* (1982) propusieron (sin pretensión sismotectónica alguna) sobre la base de la teledetección un alineamiento discontinuo de dirección NO entre el SO de Matanzas y Ciudad de La Habana. Este elemento fue desestimado por la mayoría de los especialistas y criticado por nacionales y extranjeros en Cuba, por lo que sus autores ni siquiera le dieron nombre. Tiempo después, en su intersección con una zona de mínimos gravimétricos —Cochinos— de dirección NNO, que se extiende entre las Bahías de Cochinos y Matanzas, fue donde se localizó el epicentro del terremoto del día 16 de diciembre de 1982; resaltándose a partir de las isostas confeccionadas (Chuy

*et al.*, 1983a) (fig. 6) dos cuestiones fundamentales: 1) una brusca atenuación de la energía al E (coincidente con la cuenca Cochinos), y 2) una acusada polarización —NO— hacia Ciudad de La Habana (sobre la traza del alineamiento).

Cotilla *et al.* (1988) concluyeron que este elemento era una zona de alineamientos vinculada en su traza al E con una falla de dirección similar en la Bahía de Cienfuegos, por lo que las dimensiones aumentaron y se le denominó Habana-Cienfuegos. Morfológicamente esta zona es muy heterogénea y se vincula indistintamente con trazos cortos de fallas, algunos bien expresados por sectores en el relieve, así como con áreas deprimidas y cubiertas por importantes espesores de sedimentos; por lo que le consideraron una falla activa, pero cubierta. González *et al.* (1983) aseguran parcialmente su existencia.

La dirección de la falla Habana-Cienfuegos se ha reconocido en otras estructuras disyuntivas activas del margen N del Caribe y siempre como respuesta a un campo de esfuerzos regional. En La Española Pubellier *et al.* (1991) cartografiaron extensivamente los sistemas Septentrional y Transhaitiano, y para este último propusieron una importante transformación en su morfología y dinámica desde el Mioceno al presente. En el Mioceno bajo un régimen compresivo (NE) se produjo una extensa falla transcurrente sinestrosa, que luego en el Plioceno-Pleistoceno se transformó en un sistema articulado de pequeños bloques (inclusive algunas cuencas de tipo pull-apart) con una componente importante de desplazamiento lateral izquierdo. Para el tiempo actual, cesa la compresión y la estructura sólo se mantiene con una tendencia al levantamiento general. Cotilla *et al.* (1997) asegura que persiste aún una pequeña componente de transcurrancia en algunos sectores de la falla Transhaitiana, pero de sentido dextral por la influencia de las placas Caribe-Norteamérica.

En el territorio de Cuba Oriental la dirección NO está reconocida también por varios autores. De acuerdo con Quintas y Blanco (1993) la tectónica del Eoceno Medio estuvo dominada por un movimiento hacia el NO, de forma escalonada, de los terrenos situados al E de la falla Cauto-Nipe en la misma medida que se producía la obducción sobre el margen de América del Norte. Por otra parte Blanco y Proenza (1994) establecieron, también para Cuba Oriental, un conjunto de límites de dirección NO (zonas de fallas: Baconao, Cacocum, Guaso-Alto Cedro y Puriales) para los terrenos tectonoestratigráficos. Cotilla y Franzke (1994) determinaron, a partir de mediciones de cinemática neotectónica en el territorio de Cuba Oriental, que para esta parte del Caribe existe una clara y

manifiesta compresión NE, la cual genera o reactiva sistemas de Riedel y sus conjugadas, incluida la dirección NO. También Cotilla *et al.* (1998) justifican la sismicidad preferente en sistemas por nudos disyuntivos para el territorio de Cuba Oriental por un sistema de cuatro celdas dinámicas con la decisiva participación del sistema transcurrente diagonal NO (Baconao) que tiene una ligera componente de desplazamiento lateral sinestroso (y que se encuentra cubierto por sedimentos al O de la Cauto-Nipe). Sobre la base de las asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico Quintas *et al.* (1994) supone la continuidad de las estructuras NO en Cuba Oriental y La Española (actualmente desarticuladas).

El terremoto del 9 de marzo de 1995 tiene su epicentro al SO del poblado de San José de las Lajas, a 100 km al O del de Torriente-Jagüey Grande. Este evento sísmico perceptible sorprendió a muchos en la comunidad científica que hasta la fecha se han vinculado indistintamente con las evaluaciones sismotectónicas en el país. Esta sorpresa se justifica, para ellos, en el hecho de que los trabajos sismotectónicos de Orbera (1983) y Orbera *et al.* (1990) (fig. 1) no poseen en esa área ningún elemento disyuntivo, y en particular porque no consideran la existencia de la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos (fig. 2). No obstante, a pesar de ser de muy baja magnitud el sismo fue registrado, perfectamente, por la recién instalada estación sismológica de la Central Electronuclear (CEN) de Cienfuegos (a 160 km de distancia).

La estación de corto período Juraguá (JUR) de tres componentes situada cerca de la costa, posee un nivel de amplificación (relación señal/ruido) que evita la nociva influencia de los microsismos en los registros, sacrificando la detección de terremotos de baja energía. Por ello, si el terremoto de marzo de 1995 fue registrado por ella, la única explicación posible es por una canalización energética preferente a través de la mencionada zona de alineamientos. Luego, resulte sintomático que: 1) Una zona de alineamientos, calificada por algunos especialistas como una autopista, una cerca campestre y linde parcelario haya manifestado actividad sísmica en dos oportunidades recientes (diciembre de 1982 y marzo de 1995), y que los epicentros coincidan con las áreas de intersección propuestas por Cotilla (1993). 2) El informe de Orbera *et al.* (1990) preparado con el propósito específico de tipo sismotectónico (con aplicación de muy amplios y costosos trabajos de campo) no permite explicar la ocurrencia de este inesperado (para muchos) terremoto de San José de las Lajas (fig. 1) a unos 10 km del área de construcción del

Tabla 17.—Características de las zonas sismogeneradoras de Cotilla *et al.* (1991a) para Cuba Occidental

Categoría	Denominación	Mmáx	Siglas (categoría)
2A	Nortecubana	<7,0	NC (2)
2A	Pinar	<7,0	P (2A)
2B	Pinar	<6,5	P (2B)
3A	Hicacos	<6,0	H (3A)
2B	Cochinos	<6,5	CH (2B)
3A	Consolación del Norte	<6,0	CN (3A)
3B	Habana-Cienfuegos	<5,5	HC (3B)
3B	Guane	<5,5	G (3B)

Tabla 18.—Características de las zonas sismogeneradoras de Orbera *et al.* (1990) para Cuba Occidental

Categoría	Denominación de las zonas sismogeneradoras (siglas utilizadas en la fig. 5)	Magnitud máxima (Mmax)
3	Pinar 1 (se extiende de Guanahacabibes hasta Cayajabo {P1 (3)})	6,25
4	Pinar 2 (Cayajabo-sector O de Ciudad de La Habana) {P2 (4)}	5,0
3	Nortecubana Occidental 1 (Cabo de San Antonio-Mairel) {NC (3)}	5,3-5,5
3	Nortecubana Occidental 2 (Mariel-Matanzas) {NC2 (3)}	5,2
4	Consolación del Norte {CN (4)}	5,0
4	Hicacos {H (4)}	5,5
4	Río Hondo {RH (4)}	5,0
4	Cochinos {CH (4)}	5,3
4	Bejucal-Madruga-Coliseo {BMC (4)}	5,0-5,2
3	Cienfuegos {C (3)}	5,5

Centro de Investigaciones Nucleares (CIN). Mientras que el resultado de Cotilla *et al.* (1991a) con aplicación de técnicas teledetectivas (sin recurrir a tan grande volumen de trabajo de campo) es efectivo (fig. 2); y 3) En el informe de González *et al.*, (1995) a raíz de la ocurrencia del terremoto de San José de las Lajas no se menciona que este evento se relaciona con la zona de alineamientos Habana-Cienfuegos y mucho menos que el trabajo de Orbera *et al.* (1990) excluía manifiestamente tal posibilidad sísmica, tampoco hay explicación a la ocurrencia del sismo.

La figura 9 muestra las isosistas del terremoto del 9 de marzo de 1995 confeccionadas por González *et al.* (1995), la disposición de los elementos estructurales lineales (alineación Habana-Cienfuegos y falla Guane), las categorías del relieve (alturas y llanura) y el sentido regional de escorrentía de las aguas superficiales. Estas isosistas acusan dos direcciones principales (NO-SE y NE-SO) perpendiculares entre sí, que se corresponden bien con los elementos antes referidos, pero con una tendencia mucho más pronunciada al NO.

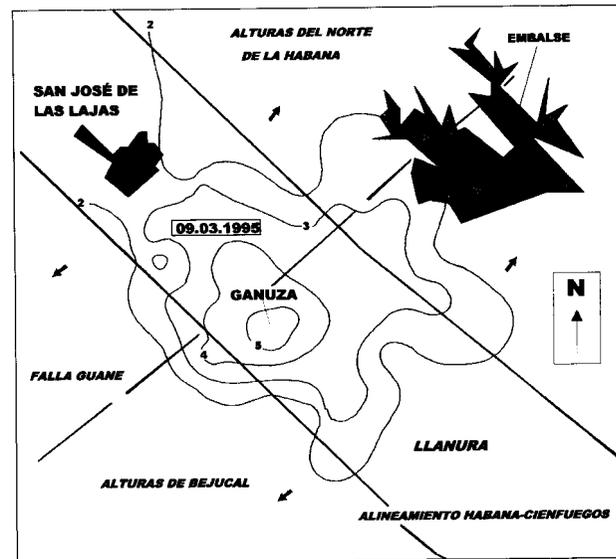


Fig. 9.—Esquema del entorno del nudo de San José de las Lajas con la isosista del 9 de marzo de 1995 (modificado de González *et al.*, 1995). (Se indica con flechas pequeñas la dirección de la escorrentía en la superficie de las aguas.)

Con todo esto, el autor considera que la falla Habana-Cienfuegos es una estructura activa, originada a partir del reajuste contemporáneo de la Unidad Neotectónica Occidental. De esta forma hay al menos dos posibilidades para explicar su mecanismo sismogenerador como: 1) estructural lineal, y 2) zona de debilidad que permite la liberación de la energía sísmica en los nudos. El autor, sobre la base de los datos, se inclina decididamente por la segunda idea.

A partir de la información de que se dispone, y aceptando el mecanismo de nudos, es posible suponer en cuál de sus cinco nudos, de la falla Habana-Cienfuegos, ocurrirá el próximo terremoto. Los nudos más probables serán {3}, {1, 5} y {5} si se consideran los parámetros de tiempo, categoría y cantidad de eventos, respectivamente. Además, la actividad sísmica reciente (eventos perceptibles de 1982 y 1995) parece indicar un desplazamiento, de dicha actividad, hacia el {nudo 5} de la Bahía de La Habana. Por consiguiente, ésta es la propuesta del autor. Esto no niega la posibilidad de otros terremotos en la Unidad Sismotectónica Occidental de Cuba. El aspecto temporal del problema se presentará en otra publicación. Y con relación a la intensidad sísmica, de acuerdo al mapa de Chuy *et al.* (1983), ésta puede ser de 5 grados MSK.

Contra la propuesta del autor, sobre la existencia del alineamiento Habana-Cienfuegos y la posible actividad en el {nudo 5} de la Bahía de La Habana,

otros especialistas y directivos han utilizado cuatro argumentos principales: 1) la existencia de un *gap* sísmico; 2) la insuficiente información; 3) las conclusiones de dos trabajos sismotectónicos de corte ruso (Orbera, 1983; Orbera *et al.*, 1990), y 4) el consenso general. Dados, de una parte, el carácter, el matiz y el contenido, supuestamente científicos, de esos argumentos y de la otra parte, la responsabilidad del autor para expresar su opinión al respecto, comentamos brevemente estos argumentos. Esta no es la primera vez que aparece un comentario o controversia de este tipo en la literatura científica (Balassanian *et al.*, 1994; Gubin, 1990).

El autor considera que la afirmación del Instituto de Geología y Paleontología sobre la existencia de un *gap* en el territorio de Cuba Occidental (Comunicación suscrita por su Consejo Científico y dirigida al Instituto de Geofísica y Astronomía, 1995) es incorrecta. De acuerdo con Haberman *et al.* (1983): «*Gap sísmico es un concepto basado en muchas observaciones. Primero, los terremotos grandes ( $M_s \geq 7,0$ ) y someros tienden a ocurrir en regiones que no han tenido en muchas décadas tales eventos. Segundo, las zonas de rupturas de los grandes terremotos están delineadas por la actividad de las réplicas y zonas de réplicas adyacentes de grandes terremotos, los cuales ocurren durante un simple ciclo del movimiento de placa sin un significativo solapamiento. Estas observaciones pueden ser hechas para las zonas de subducción del planeta. Las observaciones son interpretadas como indicación de que un segmento de una placa no puede moverse con relación a los segmentos vecinos sin que éstos lo denoten, preferentemente en los grandes sismos. Es decir, un *gap* sísmico no es más que un segmento de un límite de placa que no se ha roto en un gran terremoto durante décadas. Este concepto es primeramente espacial y no temporal*». Luego, Cuba Occidental incluido el sector Habana-Matanzas no cumple eso, ya que es (sin margen a dudas) un territorio de interior de placas.

De acuerdo con lo expuesto en el presente trabajo se puede desestimar la posición del Instituto de Geofísica y Astronomía en cuanto a la insuficiencia de datos. Además, se sabe que existen zonas de bajo riesgo sísmico que han sido afectadas por eventos importantes. En este sentido, Matsuda y Kinugasa (1991) comentan que: a) el sismo de Spitak (Armenia) del 7 de diciembre de 1988, con  $M = 6,7 - 7,0$  y  $h = 10$  km que destruyó el 90 % de la ciudad y produjo 25.000 muertos, de acuerdo al registro sísmico no existía posibilidad de que aconteciera, y b) en Newcastle (New South Wales, Australia, ocurrió el 28 de diciembre de 1989 un terremoto de  $M = 5,5$  y  $h = 5$  km que ocasionó pérdidas estimadas en  $10^{12}$

USD y 15 muertos en una población de 500.000 personas.

Sobre la base del análisis practicado en el trabajo queda patente que los resultados sismotectónicos de Orbera (1983) y Orbera *et al.* (1990) no prevén la ocurrencia del sismo del 9 de marzo de 1995 de San José de las Lajas (inmediaciones del Centro de Investigaciones Nucleares) y no presentan argumentos válidos para sostener la posición asumida por esos y otros especialistas y la directiva del Instituto de Geofísica y Astronomía.

## Conclusiones

La presente contribución representa una revisión crítica de anteriores trabajos, fundamentalmente en los aspectos de la sismicidad y la sismotectónica. Esto permite bosquejar algunas conclusiones metodológicas y un diagnóstico espacial de ocurrencia de terremotos.

1. La delimitación de zonas sismogeneradoras propuesta por Cotilla *et al.* (1991a) para la región de baja actividad sísmica de Cuba, con apoyo de la teledetección, previó la ocurrencia del evento sísmico del 9 de marzo de 1995 en San José de las Lajas.

2. El análisis de los catálogos indica que la falla Habana-Cienfuegos tiene vinculación espacial con treinta y un terremotos. Las isosistas de los dos más recientes (Torriente-Jagüey Grande, 1982, y San José de las Lajas, 1995) confirman su trazado y actividad.

3. Dadas las insuficiencias de los catálogos de terremotos, la escasa cobertura de las estaciones sismológicas, la baja precisión de las determinaciones hipocentrales y el pobre nivel de las contribuciones acerca de la actividad sísmica en la Unidad Sismotectónica Occidental de Cuba, resulta que, en general, el mecanismo de nudos sismoactivos es el que mejor se ajusta a la ocurrencia de terremotos en ella, y en particular en la falla Habana-Cienfuegos.

4. La falla Habana-Cienfuegos tiene relación espacial con otras seis fallas (Nortecubana, Surcubana, Cochinos, Hicacos, Pinar y Guane, cada una de categoría diferente) a las que se pueden asociar terremotos en distintas zonas de sus trazos. Esta vinculación se produce por nudos activos: Bahía de Cienfuegos {1}, Torriente-Jagüey Grande {2}, Güines {3}, San José de las Lajas {4} y Bahía de La Habana {5}. El tiempo desde la última ocurrencia de un terremoto en ellos es 85, 17, 221, 4 y 57 años, respectivamente. El {nudo 3} tiene la categoría menor e históricamente asignado un solo evento. La categoría de los {nudos 1 y 5} es la mayor entre

todos ellos, pero la cantidad de terremotos les distingue bastante, 3 y 18, respectivamente. Y como la reciente actividad sísmica indica un desplazamiento de E a O, hay una mayor probabilidad de ocurrencia de un evento en el nudo de la Bahía de La Habana. Esto no excluye, en lo absoluto, la actividad sísmica en otras zonas de la Unidad.

5. Es necesaria la realización de investigaciones de tipo sismotectónico con la correspondiente instalación de estaciones sismológicas y la mejora de la red geodésica de alta precisión en la Unidad Sismotectónica Occidental para sustentar sólidamente este diagnóstico.

#### AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue financiado en parte por la Dirección General de Enseñanza Superior, del Ministerio de Educación y Cultura de España (Ref. SAB-0302). Al Departamento de Geofísica y Meteorología, de la UCM por las facilidades brindadas. Por las fructíferas discusiones científicas (en Cuba) con los Dres. Guillermo Millán Trujillo y José Leonardo Álvarez Gómez y el Licenciado Enio César González Clemente. Al Dr. Rubén Lindo Naupari y a los Profs. Diego Córdoba Barba y Miguel Herráiz Sarachaga por sus sugerencias y comentarios. Al Señor Arbitro anónimo por las oportunas orientaciones.

#### Referencias

- Academia de Ciencias de Cuba y Polonia (1981). *Informe del levantamiento geológico, escala 1:250.000 de la provincia Matanzas*, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Albear, J. F., Makarov, V. I., Baguinian, M. K., y Telguin, B. P. (1982). Experiencias de utilización de las fotos cósmicas y aéreas multizonales en investigaciones geológicas en Cuba (en ruso). *Issliedavanie Zemli y Kosmosa*, 2: 27-40.
- 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*, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Álvarez, L., Cotilla, M., y Chuy, T. (1990). *Informe final del tema 430.03: Sismicidad de Cuba*, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Balassainan, S. Y., Karakhanian, A. S., Nazaretian, S. N., Arkelian, A. R., Melkumian, M. G., y Manukian, A. V. (1994). Retrospective Analysis of the Spitak Earthquake. En: *Proceedings of the International Conference at Yerevan-Sevan* (A. Bruce, edit.), 1-6 de octubre de 1993, Bolt and K. Amirbekian, Armenia: 1-12.
- Bankwitz, P., Bankwitz, E., y Frischbutter, A. (1979). *Fototektonische Interpretation von Mitteleuropa Nach Aufnahmen du Soujetischen Wettersatelliten Meteor 25 und 28* (en alemán), Veroeff. Zentr., Inst. Physik der Erde, 61, Postdam.
- Blanco, J., y Proenza, J. (1994). Terrenos tectonoestratigráficos en Cuba Oriental. *Rev. Min. Geol.*, 11: 11-18.
- Bormann, P. (1989). *Monitoring and Analysis of the Earthquake Swarm 1985/86 in the Region Vogtland/Western Bohemia*, Akademie der Wissenschaften der DDR, Veroff. Zentralinstitut für Physik der Erde, 2 tomos.
- Bracey, D. P., y Vogt, P. R. (1971). Plate Tectonics on the Hispaniola Area. Reply. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 82: 1127-1128.
- Burke, K., Fox, P. J., y Sengor, A. M. C. (1978). Buoyant Floor and the Evolution of the Caribbean. *J. Geophys. Res.*, 83: 3949-3954.
- Burke, K., Cooper, C., Dewey, J. R., Mann, P., y Pindell, J. L. (1984). Caribbean Tectonics and Relative Plate Motions. En: *Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics*, *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 162.
- Chuy, T., y González, B. (1980). Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1: 18-32.
- Chuy, T., González, B., y Escalona, S. (1980). Información macrosísmica de las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1: 33-57.
- Chuy, T., González, B., y Álvarez, L. (1983). Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4: 37-52.
- Chuy, T., Vorobiova, E., González, B., Álvarez, L., Pérez, E., Serrano, M., Cotilla, M., y Portuondo, O. (1983a). El sismo del 16 de diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 3, 43 págs.
- Chuy, T., González, B., y Polo, B. (1988). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica de la región occidental de Cuba. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 4, 21 págs.
- Chuy, T., Dzshuraev, R. U., Álvarez, L., Álvarez, H., y Mirzoev, K. M. (1988). *Informe técnico de las investigaciones macrosísmicas en el territorio de Cuba Oriental y en la región de emplazamiento N.ºs 2 y 10 de la CEN de Holguín*, Archivos del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Cluff, L. S., Hansen, M. R., Taylor, C. C. et al. (1972). Site Evaluation in Seismically Active Region. *An Interdisciplinary Term Approach. International Conference of Microzonation*, Seattle, Mash. Proc., 2: 957-987.
- Cotilla, M. (1993). *Una caracterización sismotectónica de Cuba*, Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Geográficas (especialidad Geofísica), Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 200 págs.
- Cotilla, M. (1998). Una revisión de los estudios sismotectónicos en Cuba. *Estudios Geol.*, 54: 129-145.
- Cotilla, M., Álvarez, L., Chuy, T., y Portuondo, O. (1988). Peligrosidad sísmica de Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad sísmica en zonas de baja actividad del territorio de Cuba. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 2, 19 págs.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, L., Franzke, J., González, E., Grünthal, G., Pilarski, J., Díaz, J., y Arteaga, F. (1991a). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 31, 40 págs.
- Cotilla, M., González, E., Franzke, J., Díaz, J., Oro, J., Arteaga, F., y Álvarez, L. (1991b). Mapa neotectónico

- de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 50 págs.
- Cotilla, M., y Franzke, H. J. (1994). Some Comments on the Seismotectonic Activity of Cuba. *Z. Geol. Wiss.*, 22: 347-352. Berlín.
- Cotilla, M., Díaz, L., González, D., Fundora, M., y Pacheco, M. (1997). Estudio morfoestructural de La Española. *Rev. Min. Geol.*, 14: 73-88.
- Cotilla, M., Rubio, M., y Alvarez, L. (1997a). Sismicidad de tipo intermedio en Cuba. *Rev. Geol. Colombiana*, 22: 35-40.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Alvarez, L., Franzke, H. J., Rubio, M., y Pilarski, J. (1998). Cinemática neotectónica de Cuba Oriental. *Rev. Soc. Geol. España*, 11: 33-42.
- Cuevas, J. L. (1994). *Caracterización de anomalías de la gravedad en Cuba Centro Oriental y su utilización en estudios de tectónica y sismicidad*, Tesis Doctoral, Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 100 págs.
- Cuevas, J. L., Alvarez, R., García, F., Pacheco, M., González, D., Ramírez, R., y Espinosa, A. (1992). *Investigaciones geofísicas regionales complejas para el estudio de la constitución profunda de la corteza terrestre en la región central de Cuba*, Informe científico-técnico, Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Davis, P. M., Jackson, D. D., y Kagan, Y. Y. (1989). The Longer is Has Been Since the Last Earthquake, the Longer the Expected Time Till the Next? *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 79: 1439-1456.
- Díaz, J. L. (1985). *Morfoestructura de Cuba Occidental y su dinámica* (en ruso), Tesis en opción al grado de candidato a doctor en Ciencias Geográficas, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de la URSS, 200 págs.
- Díaz, J. L., y Lilienberg, D. A. (1989). Nuevos datos sobre los movimientos tectónicos recientes en Cuba Occidental. *Reporte de Investigación del Instituto de Geografía*, 4, 11 págs.
- Ellenberg, J. (1988). *Rezente Vertikale Erdkrustenbewegungen als Geologischer Prozess* (en alemán), Akademie der Wiss. der DDR, Dissertation B, 144 págs.
- Franco, G. L. (1980). *Informe sobre el Neógeno de la provincia de Matanzas*, Brigada Cubano-Polaca, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- González, B., y Chuy, T. (1983). Actividad sísmica de la provincia Pinar del Río. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4: 53-68.
- González, B., Cañete, C., Díaz, J. L., y Carral, R. (1983). *Informe del esquema morfoestructural de Cuba, escala 1:250.000*. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- González, B., Chuy, T., Alvarez, L., Rubio, M. et al. (1994). *Estudio sismológico regional complejo de Cuba Centro Oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares*, Informe científico-técnico, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba, 90 págs.
- González, B., Alvarez, L., Serrano, M., García, J., Rodríguez, V., Pérez, L., y Fernández, E. (1995). *Informe científico-técnico del 9 de marzo de 1995. Ganuza, Municipio San José de las Lajas*, Archivo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Filial Occidental, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba, 13 págs.
- Grünthal, G., Bankwitz, P., Bankwitz, E., Bednark, J., Guterech, B., Schenk, V., Schenkova, Z., y Zeman, A. (1985a). Seismicity and Geological features of the Eastern Part of the West European Platform. En: *Gerlands Beitr. Geophysik*, 94: 4-6.
- Grünthal, G., Bankwitz, P., y Bankwitz, E. (1985b). Results About Regional Seismotectonic Studies in Central Europe. *Gerlands Beitr. Geophysik*, 94: 4-6.
- Grünthal, G., Schenk, V., Zeman, A., y Schenkova, Z. (1989). A Probable Seismotectonic Model for the Earthquake Swarm of 1985/1986 in the Focal Area Vogtland/Western Bohemia. En: *Monitoring and Analysis of the Earthquake Swarm 1985/1986 in the Region Vogtland/Western Bohemia* (P. Bormann, edit.), Akademie der Wissenschaften der DDR, Veroff. Zentralinstitut für Physik der Erde, 110: 255-267.
- Gubin, I. (1990). Sismotectónica en la URSS. En: *Ciencias de la URSS*, Moscú: 4.
- Guelfand, I. M., Guberman, S. A., Keylis-Borok, V. I., Knopoff, L., Press, F. S., Rantsann, E. Y., Rotvain, I. M., y Sidor Skii, A. M. (1976). Condiciones de surgimiento de terremotos fuertes (California y otras regiones) (en ruso). *Vichislitel'naya Seismologiya*, 9: 3-91.
- Gvshiani, A. D., Zelevinsky, A. V., Keilis-Borok, V. I., y Kosobokov, V. G. (1978). Estudio de las áreas de ocurrencia de terremotos fuertes en el Cinturón del Océano Pacífico con ayuda de algoritmos de reconocimiento (en ruso). *Fizika Zemli*, 9: 31-42.
- Gvshiani, A. D., Zelevinsky, A. V., Keilis-Borok, V. I., y Kosobokov, V. G. (1980). Reconocimiento de las áreas donde pueden ocurrir los terremotos más fuertes ( $M_s \geq 8,2$ ) (en ruso). *Métodos y algoritmos para la interpretación de datos sismológicos*, *Vichislitel'naya Seismologiya*, 13: 30-43.
- Habermann, R. E., McCann, W. R., y Nishenko, S. P. (1983). A Gap is... *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 73: 1485-1486.
- Hancock, P. L. (1988). Neotectonics. *Geology Today*: 57-61.
- Holcombe, T. L., Vogt, P. R., Mathews, J. E., y Murchinsan, R. R. (1973). Evidence for sea-floor spreading in the Cayman Trough. *Earth Planet. Sci. Letters*, 20: 357-371.
- Instituto de Geofísica y Astronomía (1995). *Directiva acerca del diagnóstico espacial del Dr. Mario Cotilla Rodríguez*, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- Iturralde, M. (1969). El Neógeno en la provincia de Matanzas, Cuba. Parte General. *Publicación Especial*, 7: 3-30.
- Iturralde, M. (1977). *Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platáformico de Cuba*, Informe científico-técnico 20, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Jackson, D. D., y Kagan, Y. Y. (1993). Reply. *J. Geophys. Res.*, 98: 9917-9920.
- Johnston, A. C. (1989). The Seismicity of Stable Continental Interiors. En: *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Resound*, pp. 299-327 (S. Gregersen y P. W. Bashan, edits.).
- Jordan, T. H. (1976). The Present-Day Motions of the Caribbean Plate. *J. Geophys. Res.*, 80: 4433-4439.

- Kagan, Y. Y., y Jackson, D. D. (1994). Seismic Gap Hypothesis: Ten Years After. *J. Geophys. Res.*, 99: 13685-13700.
- Kagan, Y. Y., y Jackson, D. D. (1995). New Seismic Gap Hypothesis: Five Years After. *J. Geophys. Res.*, 100: 3943-3959.
- Kelleher, J. (1972). Rupture Zones of Large South Americas Earthquakes and Some Predictions. *J. Geophys. Res.*, 77: 2087-2103.
- 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.
- Kelleher, J., y McCann, W. (1976). Bouyant Zones Great Earthquakes and Unstable Boundaries of Subduction. *J. Geophys. Res.*, 81: 4885-4896.
- Krestnikov, V. N. (1987). Geological Aspects of Earthquakes Hazard. En: *Proceeding of the UNDRO/USSR/UNESCO/UNDP/Training Seminar on Earthquake Prediction and Mitigation of Earthquake*, 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 ruso). En: *Investigaciones de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica*, Ed. Nauka, Moscú: 81-85.
- Mann, P., y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean Region. *Rev. Geophy. Space Phys.*, 22: 309-362.
- Matsuda, T., y Kinugasa, Y. (1991). Active Faults in Japan. *Episodes*, 14: 199-212.
- McCann, W., Nishenko, S. P., Krause, J., y Sykes, L. (1978). Seismic Gaps and Plate Tectonics: Seismic Potential for Major Plate Boundaries. *Proceedings of Conference VI. Methodology for Identificaying Seismic Gaps and Break Gaps, National Earthquake Hazard Reduction Program*, 25-27 May.
- McCann, W., y Sykes, L. (1984). Subduction of Aseismic Ridges Beneath the Caribbean Plate: Implications for the Tectonics and Seismic Potential of the Northeastern Caribbean. *J. Geophys. Res.*, 89: 4493-4519.
- Molnar, P., y Sykes, L. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions From Focal Mechanism and Seismicity. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 80: 1639-1684.
- Molnar, P., y Sykes, L. (1971). Plate Tectonics on the Hispaniola Area. Discussion. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82: 1123-1126.
- Mossakovsky, A., Pusharovski, Y., Nekrasov, G. E., Sokolov, S. R., Formell, F., Cabrera, R., Iturralde, M. et al. (1989). *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000*, Instituto de Geología y Paleontología.
- Nishenko, S. P. (1991). Circum-Pacific Seismic Potential: 1989-1999. *Pure Appl. Geophys.*, 135: 169-259.
- Nishenko, S. P., y Sykes, L. R. (1993). Comment on «Seismic Gap Hypothesis: Ten Years After» by Y. Y. Kagan and D. D. Jackson. *J. Geophys. Res.*, 98: 9909-9916.
- Orbera, L. (1980). *Informe sobre las condiciones sismotectónicas de las provincias orientales para la ubicación de la CEN del N de Holguín*, Fondos de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, 55 págs.
- Orbera, L. (1983). *Estudio sismotectónico de la región occidental*, Archivo de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, Ministerio de la Industria Básica de Cuba, 62 págs.
- Orbera, L., González, B., Chuy, T., y Oro, J. (1990). *Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares*, Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares de Cuba, I, 344 págs.
- Pubellier, M., Vila, J. M., y Boison, D. (1991). North Caribbean Neotectonic Events: The Transhaitian Faulting System. Tertiary Record of an Oblique Transcurrent Shear Zone Upplified in Hispaniola. *Tectonophysics*, 194: 217-236.
- Quintas, F., y Blanco, J. (1993). Paleogeografía de la Cuenca San Luis y su importancia para la interpretación de la evolución geológica de Cuba Oriental. *Rev. Min. Geol.*, 10: 3-14.
- Quintas, F., Hernández, M., y Campos, M. (1994). Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico de Cuba Oriental y La Española. *Rev. Min. Geol.*, 11: 3-10.
- Rantsman, E. Y. (1979). *Lugares de terremotos y morfoestructuras de países montañosos* (en ruso), Ed. Nauka, Moscú, 171 págs.
- Riznishenko, Y. V. (1964). *En relación con la magnitud máxima de los terremotos y la actividad sísmica* (en ruso), Doklady AN SSSR, 157: 1352-1354.
- Schenkova, Z., Schenk, V., Pospísil, L., y Kottner, P. (1995). Seismological Pattern of a Transition Area Between the Eastern Alps and the Western Carpathians. *Tectonophysics*, 248: 235-245.
- Shebalin, N. V. (1971). Sobre la magnitud máxima y la intensidad máxima de los terremotos (en ruso). *Fizika. Zemlii*, 6: 12-20.
- Shein, V. S., Smirnov, V. N., Kleshov, K. A., y Orbera, L. (1975). *Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:1.000.000*, Ministerio de Geología y Minería de Cuba.
- Shein, V. S., Klishov, K. A., Jain, V. E., Dikenshtein, G. E., Yparraguirre, P. J., y Rodríguez, R. (1985). *Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000*, Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de la Industria Básica.
- Shein, V. S., Tenreyro, R., y García, E. (1985b). Modelo de constitución geológica profunda de Cuba. *Rev. Serie Geol.*, 1: 78-88.
- 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*, Archivo del Consejo Nacional del Fondo Geológico.
- Sherbakova, B. E., Bovenko, V. G., Latzenko, T. N., Miroshnichenko, I. P. et al. (1977). *Informe sobre los métodos de observaciones con los aparatos Tierra en el territorio de Cuba Occidental, llevadas a cabo en 1974-1975*, 1, 153 págs. Moscú.
- Spiridonov, N., y Grigorova, E. (1980). On the Interrelation Between Seismicity and Fault Structures Identified by Space Image Interpretation. *Space Res. Bulgaria*, 3: 42-46.
- Stein, R. S., y Yeats, R. S. (1989). Hidden Earthquakes. *Science*, 260: 48-57.
- Wells, D. L., y Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface

- Displacement. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 84: 974-1002.
- Westbrook, G. K., Boot, H. P., y Peacock, J. K. (1973). Lesser Antilles Subduction zone in the Vecinity of Barabados. *Nature Phys. Sci.*, 244: 118-120.
- Wolters, B. (1986). Seismicity and Tectonics of Southern Central America and Adjacent Regions With Special Attention to the Sourrounding of Panama. *Tectonophysics*, 128: 21-46.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1995). Seismic Hazards in Southern California: Probable Earthquakes, 1994-2024. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, 85: 379-439.
- Zhidkov, M. P., Rotvain, I. M., y Sadowskii, A. M. (1975). Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes (en ruso). *Intersecciones múltiples de lineamientos de la Meseta Armeniana, los Balkanes y la Cuenca del Mar Egeo, Vichislitel'naya Seismologiya*, 8: 53-70.

*Recibido el 11 de diciembre de 1997.  
Aceptado el 30 de abril de 1999.*