



Región de deformación tectónica de cuba occidental

Western cuba tectonical deformation region

Mario O. Cotilla Rodríguez^{1,*}, José L. Álvarez Gómez²

¹ Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas. yAstrofísica. España
*mario.cotilla@gmail.com

² Investigador independiente. Managua, Nicaragua

(recibido/received: 03-agosto-2023; aceptado/accepted: 05-noviembre-2023)

RESUMEN

Se describe, por primera vez, la zona de deformación tectónica del enlace de las Unidades Sismotectónicas Occidental y Centro-Occidental de Cuba. En ella hay 8 nudos de articulación, 8 bloques y 6 fallas activas, todas segmentadas. Su actividad sísmica, de niveles medio a bajo, se justifica con la transmisión de los esfuerzos tectónicos desde el contacto, al sur, de las placas norteamericana y Caribe, y la colisión con estructuras geológicas al norte. En esa región hay varias poblaciones de importancia: Ciudad de La Habana, Matanzas y Cienfuegos, entre otras. Además, en ella se ha pretendido construir dos centros nucleares para el desarrollo energético, con fines pacíficos.

Palabras claves: Caribe, Cuba, deformación, sismicidad, sismotectónica.

ABSTRACT

The tectonic deformation zone of the link of the Western and Central-Western Seismotectonic Units of Cuba is described for the first time. In it there are 8 articulation knots, 8 blocks and 6 active faults, all segmented. Its seismic activity, from medium to low levels, is justified by the transmission of tectonic forces from the contact, to the south, of the North American and Caribbean plates and the collision with geological structures to the north. In this region there are several important populations: Havana City, Matanzas and Cienfuegos, among others. In addition, there has been done preliminary studies for possible sitting two nuclear centers for energy development, for peaceful purposes.

Keywords: Caribbean, Cuba, strain, seismicity, seismotectonics.

1. INTRODUCCIÓN

Cuba aparece cartografiada, desde el año 1500 en el primer mapamundi, que fue realizado por el español Juan de la Cosa (1460 España- 1510 Colombia). La cartografía de Cuba ha evolucionado, a mejor, con el tiempo, y en los actuales resultados se distinguen, muy bien, el trazo costero diverso y algunas significativas alineaciones, deformaciones, inflexiones, y curvaturas (Figura 1). Ésas son características de la “Tectónica Nueva” [TN] que afectan a Cuba y otras zonas de su entorno (Figura 2).

Se ha dicho, quizás, desde siempre que por la figura en el plano de la Isla, ella es un caimán en el Caribe. Con esa imagen, los especialistas de diferentes épocas han propuesto y elaborado hipótesis y teorías sobre

el surgimiento y la evolución geológica de Cuba. Un segundo elemento que ha acompañado a ese proceso de creación científica, es el relieve. Éste ha permitido establecer una diferenciación territorial de zonas y regiones de llanuras y de elevaciones; y con ello proponer regionalizaciones. El tercer elemento que se ha considerado, no al mismo momento que los anteriores, son la localización espacial, la figura y el relieve de las islas del entorno -Islas Caimán, Jamaica, La Española y Puerto Rico- (Figura 1). Aquí aparece entonces el aspecto o factor de la dinámica asociada al proceso evolutivo. Es así que se propone la presencia de movimientos verticales, movimientos horizontales, y la combinación de ellos en el proceso. El estudio de la TN de Cuba se ha realizado con trabajos y métodos geológicos, geomorfológicos y geodésicos desde un pasado relativamente reciente. De otra parte, y sin vínculo con ella, se ha investigado la sismicidad del archipiélago cubano. En 1982 se produce un importante salto hacia adelante en el conocimiento, relacionado con 3 elementos: 1) la actividad neotectónica de Cuba Occidental; 2) la sismicidad por el terremoto perceptible del 16.12.1982 en Torriente-Jagüey Grande; 3) el uso, por primera vez, de la percepción remota en las investigaciones sismotectónicas en Cuba.

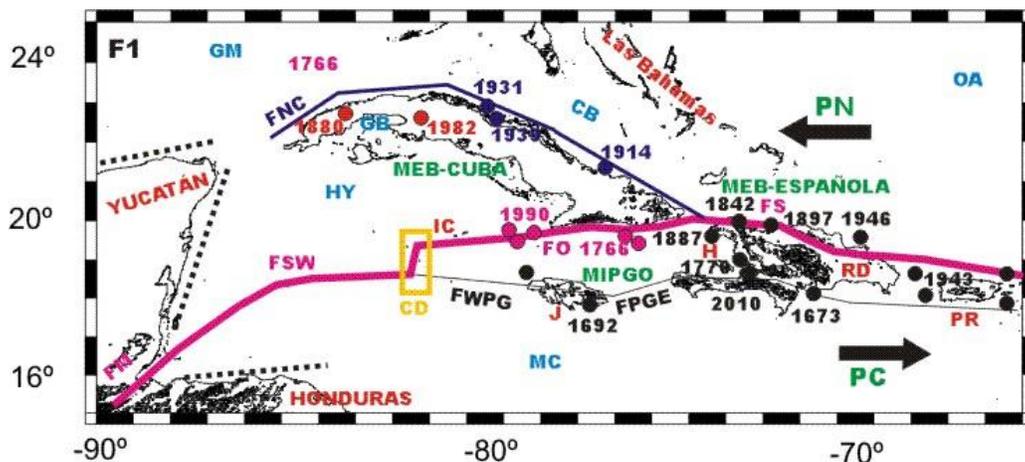


Figura 1.- Mapa tectónico simplificado contemporáneo del Caribe Septentrional. Aparecen: 1) placas (PC= Caribe, PN= Norteamericana); 2) sentido de movimiento de las placas (flechas gruesas negras); 3) microplaca Gonave= MIPGO (en color verde); 4) megabloques (MEB-CUBA, MEB-ESPAÑOLA, en color verde); 5) fallas (líneas con siglas: 5.1) en color rojo: FM= Motagua, FO= Oriente, FS= Septentrional, FSW= Swan; 5.2) en color negro: FWPG= Plantain Garden, FPGE= Enriquillo; 5.3) en color morado: FNC= Nortecubana); 6) epicentros (círculos con números (fecha) y color: 6.1) negro (en las fallas: FWPG, FPGE); 6.2) rojo (en las fallas FM, FO, FSW); 6.3) morado (en la falla FNC)); 7) alineamientos (línea discontinua negra); 8) siglas: 8.1) en color azul (CB= Canal Viejo de Bahamas, GB= Golfo de Batabanó, GM= Golfo de México, MC= Mar Caribe, OA= Océano Atlántico); 8.2) en color amarillo (CD= centro de dispersión de corteza - en el rectángulo); 8.3) en color naranja (H= Haití, IC= Islas Caimán, J= Jamaica, PR= Puerto Rico, RD= República Dominicana); 8.4) en color negro (IJ= Isla de la Juventud).

El uso de imágenes y fotos satelitales -teledetección o percepción remota- de Cuba permitió al primer autor, con la colaboración del especialista alemán Joachim Pilarski, plantear por primera vez, la presencia de una zona de deformación tectónica, transversal en la Isla, que denominaron Cuba Occidental [DCO] (Figura 2). El área aproximada de la DCO es de 30.000 km², y la de Cuba 110.922 km². Este tipo de estructuras también existe en otras regiones del Caribe -Islas Caimán (CD), América Central (DAC), La Española (DE), México (DM)-. A esto se dedica el trabajo.

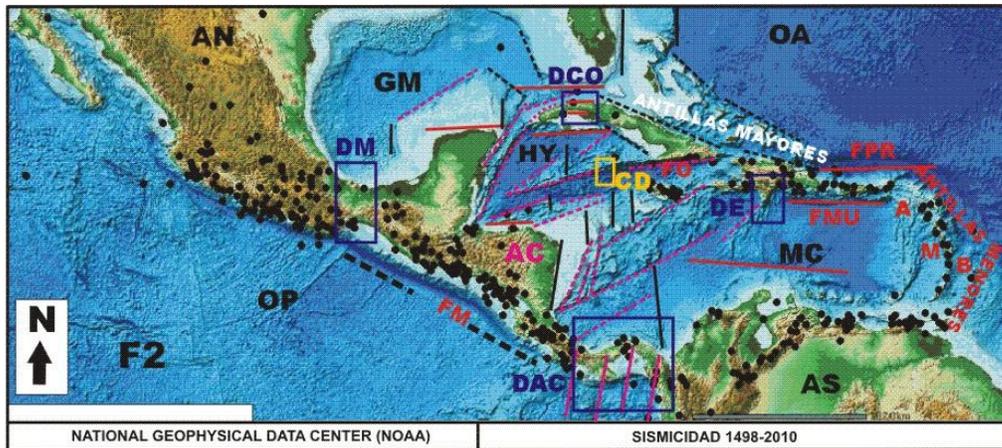


Figura 2.- Imagen del Google Map para la región Caribe. Aparecen: 1) zonas de deformación (rectángulos de color morado con siglas: DAC= América Central, DCO= Cuba Occidental, DE= La Española, DM= México); 2) fallas y alineamientos (diferenciados por color atendiendo a la dirección: rojo, naranja, negro); 3) epicentros (círculos negros); 4) fosas (FMU= Muertos, FO= Oriente, FPR= Puerto Rico); 5) siglas en color negro (AC= América Central, AN= América del Norte, AS= América del Sur, GM= Golfo de México, HY= Hoya de Yucatán, MC= Mar Caribe, OA= Océano Atlántico, OP= Océano Pacífico).

2. NEOTECTÓNICA DEL CARIBE Y DE CUBA

Las principales referencias empleadas para el desarrollo de esta parte son: Cotilla (1993, 1999, 2014, 2016, 2017, 2011, 2021), Cotilla y Álvarez (1997, 1999, 2001), Cotilla y Córdoba (2010, 2011, 2011A, 2017), Cotilla y Udías (1999), Cotilla et al. (1991A, 1991B, 1991C, 1994, 1998, 2007, 2020, 2020a), González et al. (2003), Hernández et al. (1988), Levchenko y Riabujin (1971), Mann y Burke (1984), Mann et al. (1995), McCann y Pennigton (1990), MINBAS (1987, 1989), MINMCM (1968), Rosencratz y Sclater (1986), Rosencratz y Mann (1991), Rosencratz et al. (1988), Rubio et al. (1994), Shein (1979), Shein et al. (1975), Sykes y Ewing (1965), Van Dusen y Doser (2000), y Wiggins Grandison y Atakan (2005). De ellas se visualiza e interpreta la diferenciación tipológica y espacial de las estructuras emergidas y submarinas del Caribe y de Cuba.

La localización de Cuba en el Caribe (Figura 2) le confiere un conjunto de características, por su relación espacio-temporal con otras estructuras similares, en un contexto tectónico heterogéneo y dinámico. En ese marco hay influencias, de primer orden, sobre ella de las grandes placas -norteamericana, suramericana, y del Pacífico-. Esas acciones han producido un conjunto de rasgos lineales -fallas y alineaciones regionales-, así como zonas de deformación de diferente dimensión y localización. En específico, Cuba, al estar situada en el borde meridional de la placa norteamericana, interacciona, directamente, con placas de menores dimensiones como Caribe y Gonave (Figura 1). Ese conjunto geotectónico decide la dinámica y la actividad sísmica del territorio.

Sostenemos que: 1) el extremo más occidental de Cuba, en la Península de Guanahacabibes, es una continuación geomorfológica, interrumpida, de la Península de Yucatán (Figuras 1-2; 181.000 km²). Esas estructuras tienen la misma dirección SO-NE y litología, predominante de calizas con drenaje mayoritariamente subterráneo; 2) la Península de Yucatán es de tipo continental y divide 2 mares interiores: 2.1) Golfo de México; 2.2) Mar Caribe (2.718.200 km²). Entre ellos está el Canal de Yucatán (ancho=217 km/ hmáx=-1.800 m) con un relieve abrupto e irregular; pero de dirección N-S; 3) en el extremo oriental de Cuba hay otro canal transversal, El Paso de los Vientos, entre Cuba y La Española (ancho=80 km/ hmáx=-1.700 m). Éste conecta al Mar Caribe y al Océano Atlántico; 4) entre el norte de Cuba y la Florida está un tercer canal, el Estrecho de la Florida (Figuras 1-2; ancho=160 km/ hmáx=-850

m) que enlaza al Golfo de México con el Océano Atlántico. Seguidamente se localiza al norte de Cuba Centro-Oriental un cuarto canal, el Canal Viejo de las Bahamas (Figuras 1-2; ancho=24 km/ largo=161 km/ h= 400-600 m). En este segmento septentrional para un perfil O-E se distinguen 4 estructuras: el Golfo de México, la Plataforma de las Bahamas, el Canal Viejo de las Bahamas, y el Océano Atlántico; 5) la Depresión -Cuenca u Hoya- de Yucatán que limita al norte con Cuba, a través de 2 tipos de estructuras diferentes: 5.1) Isla de la Juventud, con figura aproximadamente circular (2.419 km²/ h_{máx}=303 m/ distancia de 90 km) y núcleo de rocas metamórficas, que tiene un relieve submarino suave al sur de Pinar del Río y muy abrupto al E; 5.2) Golfo de Batabanó (Figura 1; h_{media}= -6 m/ 20.850 km²). En este último entorno Cotilla et al. (1991b) y González et al. (2003) destacaron, por primera vez, un conjunto de alineaciones E-O desde el Cabo de San Antonio hasta la Ciénaga de Zapata.

De Rosencratz (1990), se conoce que: 1) la Hoya de Yucatán (Figuras 1-4) tiene 3 bloques: 1.1) Plataforma de Yucatán; 1.2) bloque Central, el mayor y más complejo; 1.3) bloque Este que se relaciona con el arreglo de la estructura de las Islas Caimán y la falla (SO-NE) La Trocha, de Cuba; 2) su figura 3 muestra importantes inflexiones N-S hacia el SE de la Isla de la Juventud y desde las Islas Caimán; 3) a partir de su figura 4 se observa: 3.1) la diferenciación en bloques y la relación de continuidad SO-NE con la falla La Trocha hacia el este del Bloque Guamuhaya -otro macizo metamórfico de Cuba-; 3.2) una banda gravimétrica de anomalías de Bouguer alargada entre la Bahía de Cochinos y la falla Camagüey en dirección a Cabo Cruz, la cual es una depresión, a modo de bloque hundido. Se interpretan esos datos como una confirmación de la existencia de la falla Surcubana [FSC] en el límite entre la Hoya de Yucatán y el megabloque cubano, al margen de la sismicidad registrada.

Los autores desde 1988 aseguran que Cuba es un megabloque donde existen: 1) fallas y zonas de fallas (de diferente dimensión y categoría); 2) bloques (de distinta geometría, disposición y categoría); 3) cuatro unidades sismotectónicas [US]; 4) nudos sismoactivos; 5) actividad sísmica diferencial (Figuras 3-4). Además, se comprobó que la transmisión de los esfuerzos tectónicos es distinta de oeste -Cabo de San Antonio- a este -bloque Cauto-Nipe-, y en el sentido transverso-diagonal. Esto está indicado en el mapa sismotectónico de Cuba y con la definición de las 4 US: Occidental [USOC], Centro-Occidental [USCOC], Oriental [USOR], y Suroccidental [USSOR].

En particular para este trabajo son importantes 2 zonas de fallas que limitan al megabloque, la falla Nortecubana [FNC] y la falla Surcubana, ya mencionada (Figuras 1, 3-4). Sostenemos que la FNC es una estructura geológica marina compleja y segmentada en 4 partes (FNC1-FNC4), entre el Cabo de San Antonio (al oeste/ provincia de Pinar del Río) y la Punta de Maisí (al este/ provincia de Guantánamo). Su extensión lineal, de aproximadamente 1.200 km, tiene 2 direcciones, bien definidas, SO-NE y NO-SE. Ella se caracteriza por su figura cóncava al sur que responde a una zona de deformación, ya mencionada -DCO-, en las inmediaciones de La Habana-Península de Hicacos (Matanzas). Constituye el límite septentrional del megabloque Cuba en el borde meridional de la placa norteamericana, con sismicidad de interior de placa. Esta estructura disruptiva es activa y tiene unos 400 terremotos y 2 tsunamis locales (años: 1931 y 1939/ en Caibarién). La M_{máx} registrada es 6,2 (I_{máx}=7 MSK) en el año 1914/ Gibara; y la profundidad de los segmentos sismogénicos varía en 10-75 km. En su traza se han registrado y percibido 3 series sísmicas, por actividad antrópica, en los años: 1) 1981 (N de Pinar del Río); 2) 2000-2007 (norte de Matanzas-Cárdenas); 3) 2014-2017 (norte de Matanzas-Villa Clara) (Figura 3).

La mencionada concavidad, o inflexión de la FNC, y su relación con otras neoestructuras del megabloque cubano, se aprecia también en la FSC. El nudo sismoactivo de Torriente-Jagüey Grande, con el terremoto de 1982 y el inmediato a él en 2015, y otros más perceptibles en varias localidades como Cienfuegos, Ciudad de Matanzas, Corralillo, Playa Girón y Varadero se ubican en la DCO (Figura 3). En la tabla 7 de Cotilla (2017) hay una amplia relación con las localidades y los eventos ocurridos en el entorno del mencionado nudo. Además, en el interior del megabloque hay varias estructuras lineales activas que siguen las 2 direcciones de la FNC: 1) SO-NE las fallas Consolación del Norte, Guane, y Pinar; 2) NO-SE

las fallas Cubitas, Las Villas, y Tuinicú (Figura 3). Con referencia a la sismocividad de estas fallas se ha determinado que para el segmento de dirección SO-NE el nivel decrece significativamente; mientras que para el otro aumenta, hasta ser mucho mayor en la propia FNC.

En relación con la FSC se sostiene que: 1) pertenece a la placa norteamericana; 2) es una estructura marina con aproximadamente 1.000 km de longitud; 3) define al límite meridional del megabloque Cuba y contacta con la Hoya de Yucatán; 4) tiene 7 nudos de articulación; 5) es activa y está segmentada; 6) su sismicidad es de tipo interior de placa; 7) demuestra por su alineación E-O, en el sur de la Isla de la Juventud, que: 7.1) constituye con varios alineamientos del relieve, en Batabanó y Ciénaga de Zapata, un sistema paralelo; 7.2) esa disposición responde a la transmisión de los esfuerzos tectónicos desde el contacto de las placas; 8) en una somera comparativa con la FNC, muestra algunas grandes diferencias (Tabla 1). Ella tiene: 8.1) mayor deformación en su extensión longitudinal; 8.2) significativamente menor actividad sísmica ($M_{\text{máx}}=4,3$); 8.3) no tiene tsunamis locales, ni soluciones de mecanismos focales, y tampoco muertos ni heridos, asociados. Un grave y penoso error, ya habitual, difundido por algunos especialistas de otras disciplinas es que ella fue responsable del “ras de mar” ocurrido en Santa Cruz del Sur, al sur de Camagüey, un 09.11.1932. Lo que realmente aconteció fue la devastación de todo el poblado vecinal por vientos muy fuertes, debidos a un ciclón estacionario frente a la costa, con la consiguiente penetración del mar. Eso no fue un tsunami.

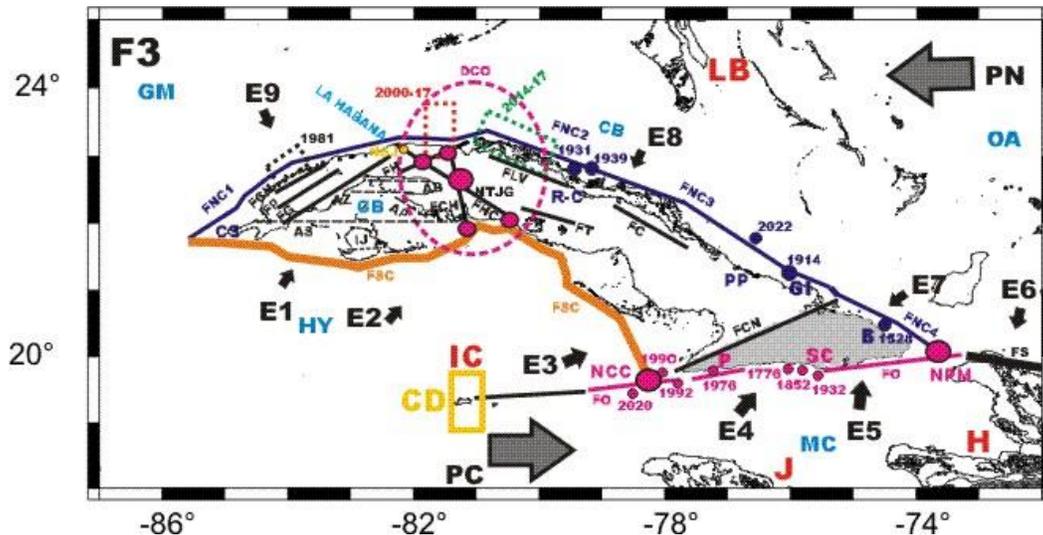


Figura 3.- Cuba y sus características sismogénicas. Aparecen: 1) placas (PC= Caribe, PN= Norteamericana); 2) sentido de movimiento de las placas (flechas negras gruesas); 3) eje principal de los esfuerzos (siglas E1-E9 con flecha en color negro); 4) nudos morfoestructurales (círculos rojos grandes con sigla (NCC= Cabo Cruz, NPM= Punta de Maisí, NTJG= Torriente-Jagüey Grande)); 5) zonas de actividad sísmica antrópica (rectángulos de color (naranja, negro, verde)); 6) epicentros: 6.1) círculos (de colores morado y rojo con fecha); 6.2) estrella (color rojo con fecha); 7) fallas (FO= Oriente (sigla y línea de color rojo); FCN= Consolación del Norte, FC= Cubitas, FG= Guane, FLV= Las Villas, FP= Pinar, FS= Septentrional, FT= Tuinicú (sigla y línea de color negro); FNC1-FNC4= Nortecubana (sigla y línea de color morado); FSC= Surcubana (sigla y línea de color naranja); 8) alineaciones significativas (líneas discontinuas negras con siglas: AB= Batabanó, AP= Pescadores, AS= San Antonio, AZ= Zapata); 9) Zona de Deformación (elipse discontinua en color rojo, y sigla DCO); 10) siglas: localidades en color: 10.1) morado (B= Baracoa, CS= Cabo de San Antonio, GI= Gibara, PP= Puerto Padre, R-C= Remedios-Caibarién); 10.2) rojo (SC= Santiago de Cuba); naranja (H= Haití, J= Jamaica, LB= las Bahamas); 10.3) azul (CB= Canal Viejo de Bahamas, GB= Golfo de Batabanó, GM= Golfo de México, HY= Hoya de Yucatán, MC= Mar Caribe, OA= Océano Atlántico); 10.4) negro (IJ= Isla de la Juventud).

En la Tabla 2 están algunos datos que permiten la mejor comprensión de las tres fallas activas principales de Cuba -Nortecubana, Oriente, y Surcubana-. Además, las inflexiones de las 2 fallas -FNC y FSC-

consideramos se relacionan espacial y temporalmente con el Centro de Dispersión de corteza oceánica de Islas Caimán (Figuras 1-4). En la figura 4 se han representado 2 bandas, con trazos discontinuos, enlazando los epicentros de 1880 y 1982 (en color verde), y de 1939 y 1914 (en color morado). Sus longitudes son de 196 km y 503 km, respectivamente. La distancia entre las bandas es de 75 km. La primera banda es paralela a la FSC, y la segunda lo es a las FNC y FSC. Ambas bandas están alejadas al norte de la línea de actividad e interacción de las placas norteamericana y Caribe; pero reciben la influencia por transmisión de los esfuerzos desde la zona límite de placas.

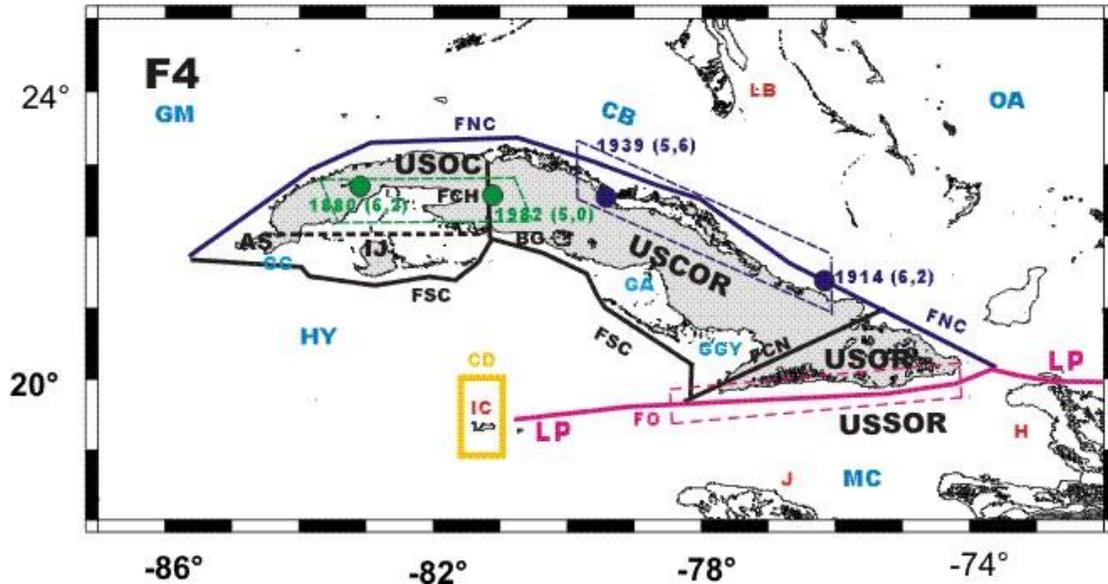


Figura 4.- Unidades sismotectónicas y áreas con eventos sísmicos más fuertes. Aparecen: 1) unidad sismotectónica (en color negro: USOC= Occidental, USCOR= Centro Oriental, USOR= Oriental, USSOR= Suroriental); 2) límites de las unidades (fallas activas: 2.1) líneas negras con siglas: FCH= Cochinos, FCN= Cauto-Nipe, FSC= Surcubana; 2.2) línea morada con sigla FNC= Nortecubana; 2.3) línea roja con sigla FO= Oriente); 3) zonas sísmicas más fuertes por unidad sismotectónica: 3.1) rectángulo discontinuo con epicentro, fecha y magnitud (color verde); 3.2) rectángulo discontinuo con epicentro, fecha y magnitud (color morado); 3.3) rectángulo discontinuo color rojo; 4) LP= límite de placas línea gruesa roja; 5) alineamiento (línea discontinua negra con sigla AS= San Antonio); 6) siglas de color: 6.1) azul (CB= Canal Viejo de Bahamas, GA= Golfo de Ana María, GG= Golfo de Guanahacabibes, GGY= Guacanayabo, GM= Golfo de México, HY= Hoya de Yucatán, MC= Mar Caribe, OA= Océano Atlántico); 6.2) negro (BG= Bloque Guamuhaya, IJ= Isla de la Juventud).

Tabla 1.- Informaciones sobre la sismicidad de la falla Surcubana.

Periodo/ Mmáx/ hmáx (km)			
1502-1872/ 4,3/ 10	1909-1966/ 4,3/ 15	1971-1986/ 4,1/ 20	Total
4 eventos	12 eventos	65 eventos	81 eventos
Años (1971, 1974, 1976, 1977, 1985, 1986)=6 eventos		Año (1974)=59 eventos	

Tabla 2.- Características de 3 fallas activas de Cuba.

N _o	Falla	Ks	Nud.	En zona	Límite de	Tsunami local	Capa sismoactiva (km)	Tipo de sismicidad	Muertos/ Heridos
1	FNC	0,82	6	Marina	Megabloque	2	12	Interior	-/ 2
2	FO	0,97	3	Marina	Placas	-	30	Entre	80/ 700
3	FSC	0,67	7	Marina	Megabloque	-	10	Interior	-/ -

Nota: 1) Ks=coeficiente de sinuosidad; 2) Interior= Interior de placa; 3) Entre= Entreplacas; 4) (FNC= Nortecubana, FO= Oriente, FSC= Surcubana).

El par de terremotos -1914, 1939- está en la USCOC, en un mismo segmento sismogénico FNC3, pero en sus extremos opuestos. Mientras que el otro par -1880, 1982-, con epicentros en la parte emergida, está en la USOC, asociado a sistemas sismogénicos diferentes, falla y nudo de fallas, respectivamente. Los 4 eventos son del tipo sismicidad de interior de placa [SIP]. El periodo de recurrencia es similar para estas fallas; pero superior a 100 años.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA SISMICIDAD

Se han utilizado aquí estas referencias: Álvarez et al. (1985, 1988, 1990, 1991, 1999, 2017), CENAI (2023), Chuy et al. (1983), Cotilla (1993, 1995, 1998, 1999, 2014, 2014A, 2016, 2017), Cotilla y Álvarez (2001), Cotilla y Córdoba (2011, 2011A, 2018), Cotilla y Franzke (1994, 1999), Cotilla y Udías (1999), Cotilla et al. (1991A, 1997, 1998, 2007, 2020, 2020a), y González et al. (1995).

La actividad sísmica fuerte del Caribe se sintetiza en la Figura 3 y en la Tabla 3. Se aprecia que las afectaciones mayores no se producen en Cuba. No obstante, la USSOR es la más peligrosa en Cuba (~70 muertos y ~1.300 heridos). En el resto de Cuba se han reportado sólo 3 muertos y 35 heridos.

Desde los tiempos de la colonia española se entendía y asumía que Cuba tenía 3 regiones: occidental, central, y oriental. En particular, estaba arraigada la creencia popular de que sólo la región oriental producía terremotos. Sin embargo, los datos sobre sacudidas sísmicas en las regiones central y occidental eran conocidas (Figura 3). Esta regionalización de la sismicidad se distingue, muy bien, en la Figura 5. En ella, las áreas de intensidades sísmicas, de 5-8 grados -escala MSK- para un periodo de 100 años, fueron delimitadas por Álvarez et al. (1988). En la Tabla 4 están los valores porcentuales y algunas localidades.

Tabla 3.- Resumen de sismicidad por país del Caribe septentrional.

País	Período	Eventos/ años	Rango de		
			M	h (km)	Fallecidos
Cuba	1678-2020	36/ 342	4,4-7,7	10-59,6	~100
Haití	1562-2020	45/ 458	4,0-8,2	10-60	~350.000
Islas Caimán	1852-2020	65/ 168	4,0-7,5	6-60	-
Jamaica	1667-2020	50/ 353	4,0-7,75	16-33	~5.000
República Dominicana	1562-2020	51/ 458	5,0-7,7	8,8-104,4	~5.000
Tasa (años)= 16		Totales	247/ M>7= 34		~360.000

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

La actividad sísmica de tipo natural en Cuba, como provincia sismotectónica, está justificada, principalmente, por la influencia de las placas Norteamérica y Caribe. Así se ha determinado que hay 2 tipos bien diferenciados de sismicidad, entre placas e interior de placa. El primer tipo es el de mayor nivel y se asocia a la falla Oriente (Figuras 3-4). Además, se conocen 10 áreas con actividad sísmica significativa diferencial: 1) natural en: Cabo Cruz, Caibarién, Escambray, Esmeralda-Puerto Padre, Gibara, Moa, norte de Pinar del Río-norte de Matanzas, Pílon-Baconao, San Cristóbal, y Torriente-Jagüey Grande; 2) inducida por actividad antrópica en: norte de Pinar del Río- norte de Matanzas. Las áreas se dividen en 3 categorías (Figura 3).

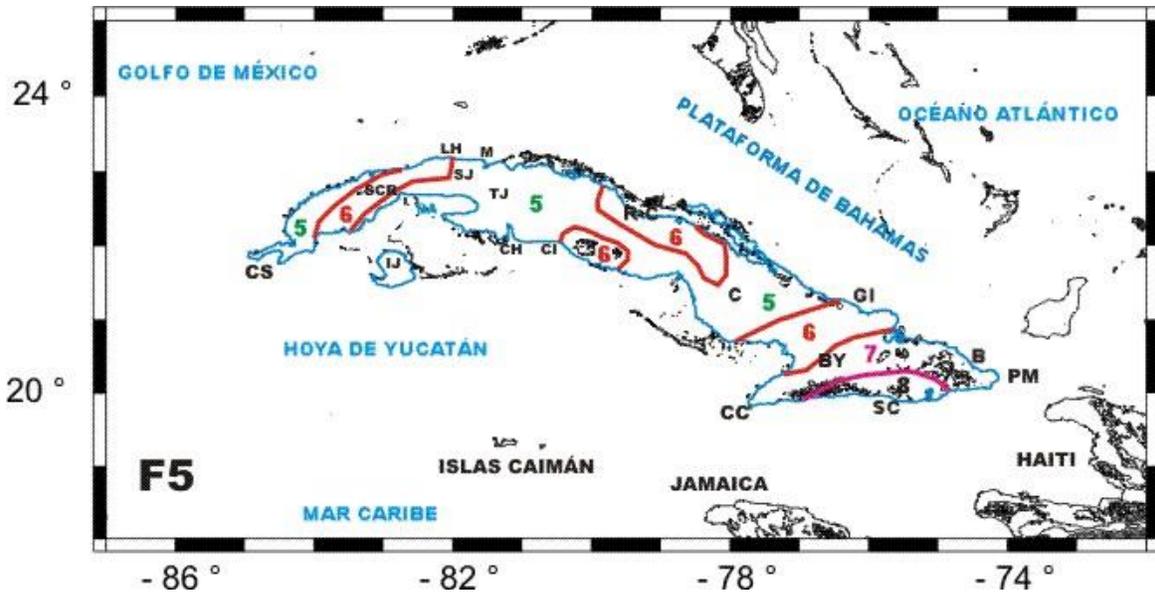


Figura 5.- Mapa de intensidades sísmicas (Álvarez et al., 1988). Aparecen: 1) Zonas sísmicas (límites de colores rojo y naranja, con números 5-8 escala MSK); 2) siglas= localidades (en color negro: B= Baracoa, BY= Bayamo, C= Camagüey, CC= Cabo Cruz, CH= Bahía de Cochinos, CI= Cienfuegos, CS= Cabo de San Antonio, GI= Gibara, LH= La Habana, IJ= Isla de la Juventud, M= Matanzas, PM= Punta de Maisí, R-C= Remedios-Caibarién, SC= Santiago de Cuba, SCR= San Cristóbal, SJ= San José de las Lajas, TJG= Torriente-Jagüey Grande).

Tabla 4.- Áreas de intensidad sísmica en Cuba.

Zona de intensidad (MSK)	Área (%)	Algunas localidades
8	5	Baconao, Guantánamo, Santiago de Cuba, Siboney
7	17	Baracoa, Bayamo, Cabo Cruz, Mayarí, Moa
6	23	Caibarién, Gibara, Holguín, Remedios, San Cristóbal, Sancti Spíritus, Soroa, Trinidad,
5	55	Camagüey, Cienfuegos, Consolación del Norte, Isla de la Juventud, Jagüey Grande, Matanzas, Playa Girón, Santa Clara, Torriente

Aquí se destacan, por el interés sismotectónico de la DCO, 4 de los terremotos perceptibles del interior de Cuba: 1) occidental: 1880.01.23 (6,0/ h=20 km/ 22,70 N 83,00 O/ San Cristóbal); 2) centro-oriental: 2.1) 1982.12.16 (4,5/ h=20 km/ 22,61 N 81,23 O/ Torriente-Jagüey Grande); 2.2) 1995.03.09 (2,5/ h=10 km/ 22,90 N 82,21 O/ San José de las Lajas); 2.3) 2015.01.21 (4,1/ h=16 km/ 22,216 N 81,422 O/ Bahía de Cochinos).

Dutton (1889), Taber (1914), Wilson y O'Halloran (1958), McClain y Meyer (1970), Liu y Zoback (1977), Campbell (1978), Sykes (1978), Scholz et al. (1986), Johnston y Kanter (1990), Talwani y Rajendran (1991), Gubbins (1992), Leonov (1995), Wyssession et al. (1995), Johnston (1996), Amorèse et al. (2000), Weiran et al. (2009), y Middleton et al. (2015), entre otros, crearon una base para los estudios de la SIP, mencionada en el epígrafe anterior. En esa línea de razonamiento Leroy y Mauffret (1996), a partir de sondeos sísmicos, determinaron que la placa Caribe tiene zonas de deformación activas. Es conocido que la frecuencia de ocurrencia de terremotos en esas zonas es mucho menor que en las zonas límite de placas [ZLP]; aunque, en ocasiones se pueden producir eventos sísmicos fuertes, con la consecuente peligrosidad asociada. En general, esos terremotos se asocian con zonas de debilidad en áreas continentales y la concentración-transmisión de esfuerzos desde las ZLP, como la USSOR de Cuba. Generalmente, a esas zonas de SIP se presta poca atención en cuanto al estudio de la sismicidad y la tectónica; con la excusa de que la energía liberada y frecuencia por sus terremotos es considerablemente inferior que en las ZLP. Esto

ha sucedido en Cuba. Con esos aportes se ha configurado un marco de influencia-deformación y actividad sísmica con la propuesta de un conjunto de celdas geodinámicas, nudos y líneas de debilidad en Cuba Oriental y Cuba Occidental (Figura 6).

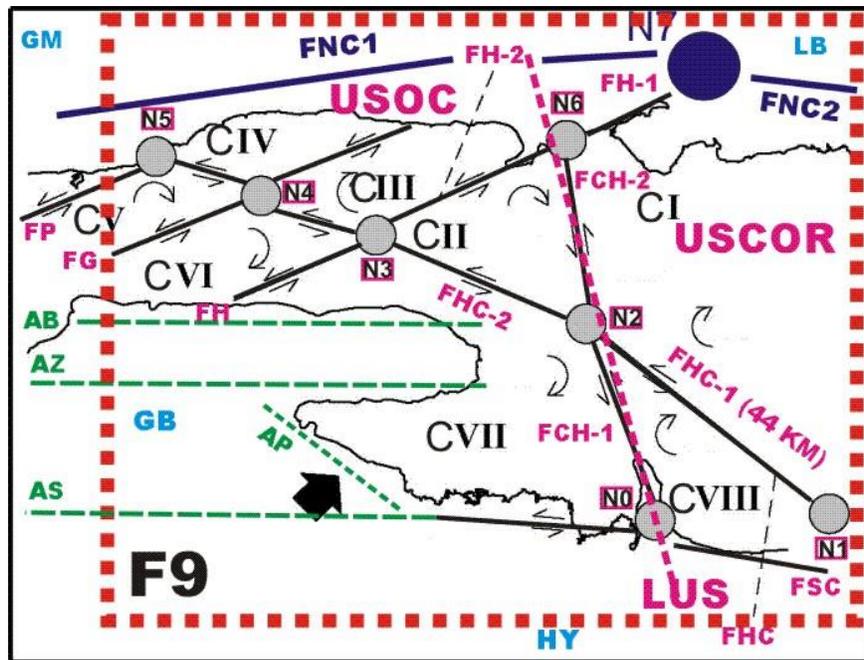


Figura 6.- Modelo cinemático de la zona de enlace entre las unidades sismotectónicas Occidental y Centro Oriental. Aparecen: 1) unidad sismotectónica (siglas de color rojo: USOC= Occidental, USCOR= Centro Oriental); 2) límite entre las unidades sismotectónicas (línea discontinua de color rojo con sigla LUS); 3) eje de esfuerzos principal (σ_1): flecha negra gruesa con sigla E2; 4) bloques (siglas en color negro: CI-CVIII); 5) fallas activas: 5.1) líneas negras continuas y sentido de movimiento (medias flechas): 5.1.1) delgadas con nombres (en rojo): FCH= Cochinós, FG= Guane, FH= Hicacos, FHC= Habana-Cienfuegos, FP= Pinar, FSC= Surcubana; 5.1.2) segmentos de fallas FCH-1, FCH-2, FHC-1, FHC-2; 5.2) gruesa (de color morado los segmento FNC1-FNC2); 6) tendencia de giro de los bloques (en color negro flecha arqueada); 7) nudos activos: 7.1) círculo de color gris con sigla (N1); 7.2) círculo de color morado con sigla (N7); 8) alineaciones significativas (líneas discontinuas verdes con siglas en verde: AB= Batabanó, AP= Pescadores, AS= San Antonio, AZ= Zapata); 9) región de deformación principal (rectángulo de líneas discontinuas, de color naranja); 10) siglas en color azul: GB= Golfo de Batabanó, GM= Golfo de México, HY= Hoya de Yucatán, LB= las Bahamas.

4. ESTUDIOS Y MODELOS SISMOTECTÓNICOS

Las siguientes referencias fueron necesarias para esta parte del trabajo: Belousov et al. (1983), Chuy et al. (1983, 1988), Cotilla (1993), Cotilla y Álvarez (2001), Cotilla y Franzke (1994, 1999), Cotilla et al. (1991, 1991A, 1994, 1998, 2007, 2020), González y Chuy (1983), González et al. (1994), Orbera (1983), y Orbera et al. (1990). Sobre esa base se puede asegurar que en Cuba hay estructuras activas de tipo lineal (fallas) y de articulación (nudos o cruce de alineamientos y fallas) (Figura 3). Esas estructuras no sólo son fuentes sismogénicas sino también canales de propagación de esfuerzos y deformaciones, y que permiten entender la cinemática de bloques. Los argumentos y métodos del mecanismo dinámico de nudos de articulación se encuentran en trabajos de fundamento soviético y ruso como: Zhidkov et al. (1975), Gvishiani et al. (1980), Cisternas et al. (1985), Bhatia et al. (1992), Assinovskaya y Soloviev (1994), Gorshkov et al. (2000, 2002, 2010), Imaeva et al. (2011), Soloviev et al. (2014), y Novikova y Gorshkov (2018). Ésta idea se aplicó en varios países, entre ellos: 1) Cuba (Cotilla, 1993, 2014; Cotilla et al., 1991,

19991A, 1994, 1998, 2007, 2007A; y González et al., 2003); 2) España (Cotilla y Córdoba, 2004); 3) Jamaica (Cotilla y Córdoba, 2010); 4) La Española (Cotilla et al., 2007); 5) México (Cotilla et al., 2019).

En la Figura 7 está el primer resultado sismotectónico de Cuba y fue obtenido por Belousov et al. (1983) para la región de Cuba Central. Aparece un conjunto de zonas sismogeneradoras delimitadas y clasificadas en 3 categorías o niveles de actividad y peligro sísmico -CII, CIII, CIV- a partir de la metodología de Krestnikov et al. (1983). Entre esas zonas sismogeneradoras destacan, para nuestro propósito, dos: 1) Surcubana; 2) Cienfuegos. Ellas afectarían directamente al área de construcción de la Central Electronuclear [CEN] en Juraguá. Pero, también es significativo que: 1) constituyen un cruce sismo-activo, inmediato a esa área, y que enlaza con la localidad de Jagüey Grande al NO. Representamos sobre la figura 4 círculos que denominamos nudos de enlace entre las zonas sismogeneradoras; 2) la categoría mayor de las zonas sismogeneradoras está al norte, inmediata a la FNC. Esta estructura se denomina Las Villas y consideran asociada como un sistema paralelo a la FNC.

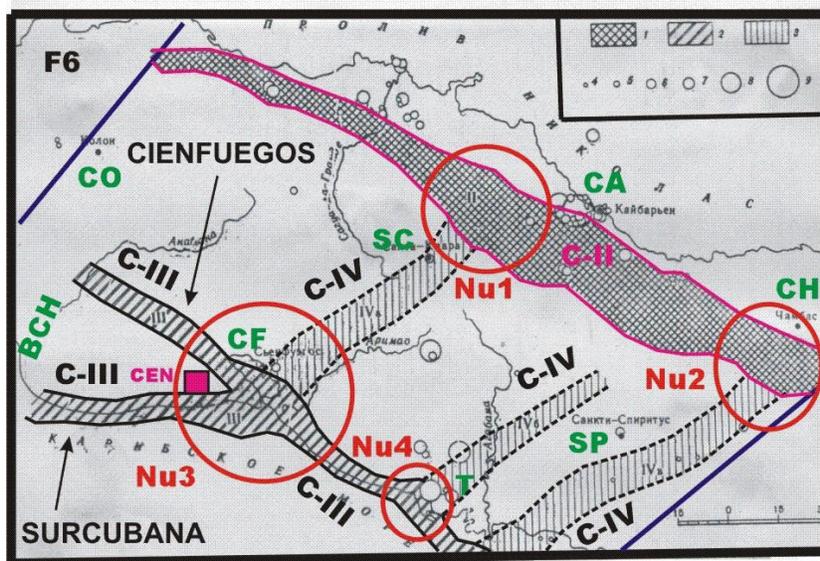


Figura 7.- Análisis de las zonas sismogeneradoras de Belousov et al. (1983) para la CEN de Cienfuegos. Aparecen: 1) bandas con rayas y siglas de su categoría (zonas sismogeneradoras, C-II, C-III, C-IV); 2) localidades (siglas de color verde: BCH= Bahía de Cochinos, CF= Cienfuegos, CO= Colón, SC= Santa Clara, SP= Sancti Spiritus, T= Trinidad); 3) epicentros (círculos pequeños); 4) límites de región de estudio (líneas de color morado); 5) 4 círculos de color naranja y siglas (Nu1-Nu4) = zonas de intersección o nudos (incluidos por los autores); 6) área de construcción de la CEN en Cienfuegos (cuadrado y siglas en color rojo CEN).

Con igual metodología Orbera et al. (1990) presentaron, para la región Occidental, la Figura 8. En ella se observan 4 puntos importantes para nuestro trabajo: 1) en la parte SE está la zona sismogeneradora Cienfuegos, la misma de la Figura 7; 2) el epicentro de 1982, en Torriente-Jagüey Grande, está en un cruce de zonas sismogeneradoras -un nudo-; como se propuso en Chuy et al. (1983); 3) algunas zonas sismogeneradoras ya están segmentadas; 4) el área de construcción del CIN aparece con el epicentro del terremoto de 1995. Pero, de acuerdo a esos autores, no está afectado por ninguna estructura disruptiva. Cotilla (1993, 1995, 1998) y Cotilla et al. (1994) discuten en profundidad ese material y exponen sus grandes carencias, así como demuestran que distorsionaron los datos, incluso los publicados por ellos. El terremoto del 09.03.1995 demuestra la ineficiencia del modelo de la Figura 8.

Otros especialistas han aplicado métodos morfoestructurales en Cuba Occidental con sistemas de fallas, nudos, bloques y datos geodésicos (Díaz y Lilienberg, 1989; Díaz et al., 1990); pero que aquí no

consideraremos. En Cotilla (1993, 1998, 1999), Cotilla y Álvarez (2001), Cotilla et al. (1994), y González et al. (2003) se analizan y discuten al detalle esos resultados, y se razona el por qué se descartan.

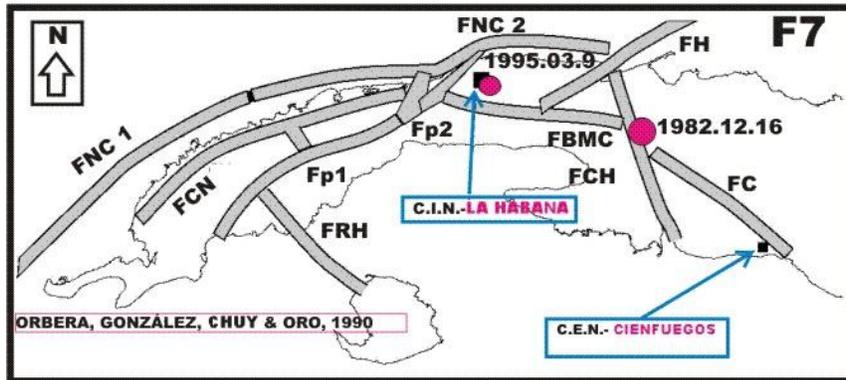


Figura 8.- Zonas sismogeneradoras de Cuba occidental de Orbera et al. (1990). Aparecen: 1) zonas sismogeneradoras (bandas de color gris con siglas: FBMC= Batabanó, FC= Cienfuegos, FCN= Consolación del Norte, FCH= Cochinos, FH= Hicacos, FNC1= Nortecubana 1, FNC2= Nortecubana 2, FP1= Pinar1, FP2= Pinar 2, FRH= Río Hondo); 2) zonas de estudios para: 2.1) la Central Electronuclear en Cienfuegos (cuadrado negro con sigla C.E.N.); 2.2) el Centro de Investigaciones Nucleares en La Habana (cuadrado negro con siglas C.I.N.); 3) epicentros de los terremotos perceptibles de 1982 en Torriente-Jagüey Grande, y 1995 en San José de las Lajas.

Concretamente, nuestra interpretación sobre la actividad sismotectónica de Cuba indica que: 1) las zonas lineales de mayor nivel se clasifican en 3 tipos atendiendo a su localización espacial: 1.1) la del límite de placas, en la falla Oriente; 1.2) la del segmento FN3 del límite septentrional del megabloque; 1.3) la del interior de la zona interior de la USOC, la falla Guane; 2) las regiones de enlace entre las 4 US de Cuba (Figura 9), y en particular la delimitada entre la USOC y la USCOC (Figura 4), en las inmediaciones del transepto S-N Bahía de Cochinos-Varadero (Figuras 2-3), y que incluye al nudo sismo activo de Torriente-Jagüey Grande. Éste, desde el punto de vista teórico, se ha ido consolidando en el tiempo como una estructura sismogénica. Esa región es la de mayor deformación del plano tectónico contemporáneo de Cuba, entre 2 estructuras marinas: 1) al norte el sistema Golfo de México-Canal Viejo de las Bahamas; 2) al sur el sistema Golfo de Batabanó-Hoya de Yucatán. Además, ella incluye un conjunto interconectado de elementos activos: 8 nudos, 11 segmentos de fallas, y 8 bloques (Figura 6).

En Cotilla (2017) hay un conjunto de datos sobre las 5 fallas activas representadas en la Figura 6 que se resumen, parcialmente, en la Tabla 5. Esos datos complementan a las Tablas 1 y 2. Cotilla (1993) propuso el modelo de la Figura 9 con el propósito de ilustrar la cinemática de las US de Cuba, a partir de la interpretación de los datos de Cotilla et al. (1988, 1989, 1991, 1991A, 1991B, 1991C). En ella se indican la diferente configuración y disposición espacial de las 4 unidades, su relación espacio-temporal con las 5 principales fallas activas -Cauto-Nipe, Cochinos, Nortecubana, Oriente, y Surcubana- en el marco de la dinámica de las placas norteamericana y Caribe; y su ajuste e interrelación con las estructuras marinas adyacentes: Hoya de Yucatán, Fosa de Oriente, Golfo de México, y Plataforma de las Bahamas. También se representaron los 3 nudos de articulación, principales: Cabo Cruz, Cauto-Nipe, y Torriente-Jagüey Grande. Todos ellos son activos con eventos sísmicos registrados. La disposición y la orientación de las 3 unidades están asociadas con 3 vectores -D1, D2, D3- que indican la diferente tendencia de desplazamiento hacia el norte y el sentido de giro relativo horario. Ese modelo muestra que los sistemas de alineamientos -AB, AZ, AS- son paralelos al segmento de la FSC al sur de la Isla de la Juventud. Eso se interpretó como la transmisión de esfuerzos al norte desde el límite de placas.

Tabla 5.- Datos de las fallas de la Figura 6.

Falla / Siglas	Mmáx	Longitud(km)/ Ancho(km)/ Tipo	Categoría/ Segmentos/ Nudos	Isosistas	Terremotos (históricos e instrumentales)	Fallecidos/ Heridos
Cochinos/ FCH	5,0	200/ 30/ C	3/ 3/ 2	Si	~20	-/ Si
Guane/ FG	6,0	280/ 10/ C	2/ 3/ 3	Si	>30	Si/ Si
Habana- Cienfuegos/ FHC	5,0	310/ 10/ C	3/ 4/ 4	Si	~30	-/ -
Hicacos/ FH	3,0	230/ 20/ C	3/ 3/ 3	Si	14	-/ -
Nortecubana/ FNC	6,2	1.200/ 20/ T	2/ 4/ 6	Si	>380	-/ Si
Surcubana/ FSC	4,1	~1.000/ 10/ C	4/ 6/ 7	No	~50	-/ -

Nota: C= cortical, T= transcortical.

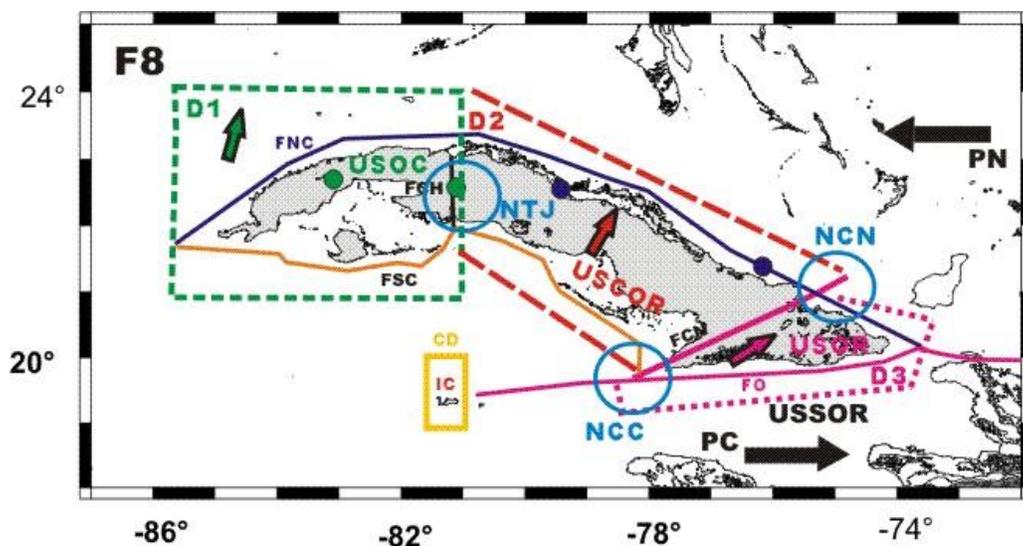


Figura 9.- Modelo cinemático de las unidades sismotectónicas de Cuba (Cotilla, 1993). Aparecen: 1) placas (PC= Caribe; PN= Norteamericana); 2) sentido de movimiento de las placas (flechas gruesas negras); 3) centro de dispersión de corteza (rectángulo con siglas en amarillo CD); 4) fallas activas (líneas continuas de color rojo, amarillo y morado: FCH= Cochinos, FCN= Cauto-Nipe, FNC= Nortecubana, FO= Oriente, FSC= Surcubana); 5) nudos de articulación (círculos de color azul con siglas: NCC= Cabo Cruz, NCN= Cauto.Nipe, NTJ= Torriente-Jagüey Grande); 6) unidades sismotectónicas (USOC= Occidental (color verde); USCOR= Centro Oriental (color anaranjado); USOR= Oriental (color rojo); USSOR= Suroriental (color negro)); 7) zonas activas (rectángulos de color verde, naranja y rojo, con siglas D1-D3 y flechas cortas de igual color (indica el sentido de desplazamiento promedio)).

Con la información del terremoto perceptible de 1995, en la zona de San José de las Lajas, Cotilla (1995) propuso el modelo de la Figura 10. En él se distinguen: 1) la tendencia al NO de la propagación de la energía a partir de la figura de las isosistas confeccionadas por González et al. (1995); 2) dos sistemas de alineaciones transversales -Habana-Cienfuegos, y Guane- que se intersectan en las inmediaciones de la zona de isosistas en Ganuza; 3) la tendencia de movimientos horizontales.

En la Figura 6 no se representó la falla Santa Clara (categoría C-IV y dirección SO-NE) de la Figura 7, porque no está en los objetivos del modelo. No obstante, ella se considera como una zona de alineamientos que se define en el nudo N1 (Bahía de Cienfuegos) (Cotilla et al., 2007a).

La figura 1 de Vega et al. (2021), según esos especialistas, muestra las fallas delimitadas por diferentes autores, para la región Habana-Ciego de Ávila y entre ellas sitúan a la falla Colón. Aseguran que ésta se ha reactivado y concretamente, expusieron: “...El estado de los esfuerzos tectónicos en un punto cualquiera del archipiélago cubano, caracterizado por los infinitos vectores de esfuerzos que sobre un punto pueden definirse, depende de su posición respecto a los límites de placas (Zoback 1992), de la interacción geodinámica de las placas norteamericana-caribeña (Arango 2000), de las características del campo gravitacional e isostático (Cuevas et al., 1992, 2001, 2009; Cuevas, 1998), y de la complejidad geológico-tectónica del territorio investigado, la cual está bien reflejada en la Figura 1...” Sin embargo, el primer autor matiza que: 1) no existen infinitos vectores de esfuerzos, sino un número finito y cuantificable de tensores de esfuerzos; 2) lo expresado con el respaldo de la referencia de Arango (2000) es de otra autoría, bien distinta, como puede comprobarse, perfectamente, con los siguientes trabajos: Cotilla (1993, 1995, 1998; Cotilla y Franzke, 1994; Cotilla y Álvarez, 1997; Cotilla y Udías, 1999; Cotilla et al., 1994, 1998, 1999); 3) la falla Colón es inactiva y está comprobado por Belousov et al. (1983), Cotilla (1993), y Cotilla et al. (1991A, 1994, 2007a). En la Figura 7 también puede comprobarse que ese elemento, la falla Colón, se descartó, absolutamente, desde las investigaciones sismotectónicas de la CEN de Cienfuegos.

5. ZONA DE DEFORMACIÓN SISMOTECTÓNICA

Los esfuerzos tectónicos afectan a los cuerpos materiales y producen las deformaciones -dúctiles y frágiles- en todas las escalas. Esas deformaciones de los cuerpos rocosos pueden tener formas diversas e incluso aparecer en combinaciones. Las formas adquiridas son curvaturas, pliegues, horst, graven y fallas; mientras que las dimensiones van desde milímetros a kilómetros. A algunas de ellas se han asociado con terremotos. Se han encontrado huellas en el relieve que son daños y afectaciones, incluso inflexiones de estructuras, que han quedado como sismo-dislocaciones (Cotilla y Franzke, 1994; Cotilla y Córdoba, 2007A, 2011A, 2016; Cotilla et al., 2017).

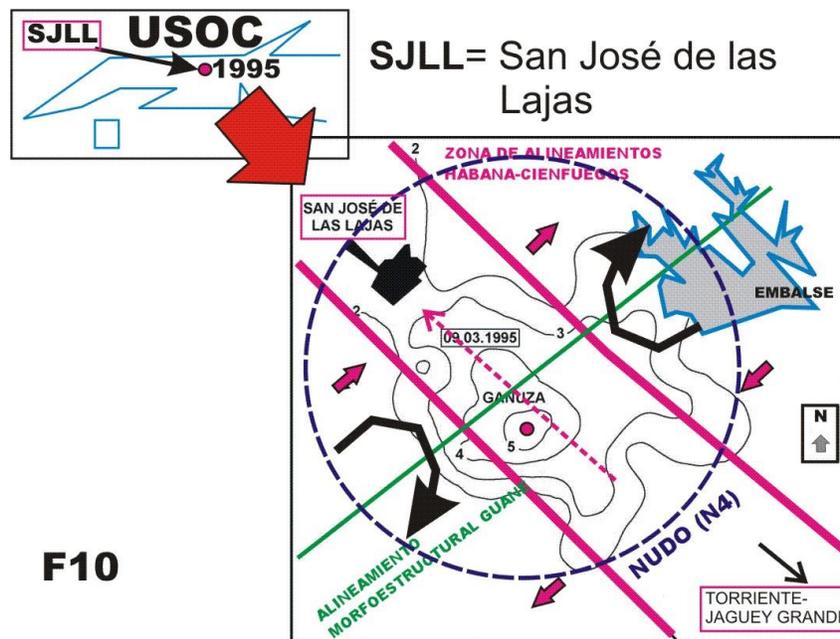


Figura 10.- Esquema de la cinemática entorno al epicentro de 1995 en San José de las Lajas. Aparecen: 1) isosistas con valores de Intensidad Sísmica 3-5 grados escala MSK (González et al., 1995); 2) zona de fallas Habana-Cienfuegos (líneas de color rojo) (Cotilla et al., 1991b); 3) alineamiento morfoestructural Guane (línea de color

verde) (González et al., 2003); 4) tendencia de movimiento rotacional relativo (flechas curvas negras); 5) esfuerzos medios determinados (flechas cortas de color rojo); 6) sentido de la propagación de energía (línea discontinua roja).

Cotilla (1993) y Cotilla et al. (1991) determinaron que los epicentros de San Cristóbal y de Torriente-Jagüey Grande están localizados prácticamente en la misma latitud y la separación entre ellos es de ~195 km (Figura 4). Ambos están sobre 2 morfoestructuras de llanuras del sur de características diferentes y emplazadas al sur de sendos sistemas de elevaciones (González et al., 2003). El enlace, apaisado en banda, entre San Cristóbal y Jagüey Grande incluye las siguientes localidades: Alquizar, La Palma, Camacho, Batabanó, La Luisa, Pedro Betancourt, y Colón. Este conjunto conforma una banda morfoestructural que denominamos BM-1. Cotilla et al. (1994) propusieron la existencia de otra banda paralela al sur de la BM-1, y que denominaron BM-2. Esta banda costera que incluye la parte marina adyacente del Golfo de Batabanó y cubre las localidades: Los Palacios, El Francés, El Pinar, playa Cajío, playa Mayabeque, playa del Caimito, playa Tasajera, batey de Zumalcarry, El Francés, y caserío de Pescadores. Posteriormente, González et al. (2003) consideraron la existencia de un sistema de bandas morfoestructurales escalonado y cuasi paralelo, desde la Hoya de Yucatán al norte de Cuba, para el segmento Isla de la Juventud-alineación latitudinal de cayos -Boca de Alonso- Hicacos- Campos- Aguardiente- Avalos- Tablones- Cantiles- Ciprey- Campo- Largo del Sur. Esa estructuración incluyó a las zonas BM-1 y BM-2, con un sistema de alineaciones, mayoritariamente de dirección E-O.

Cotilla (1995) sostuvo que el área epicentral del terremoto del 09.03.1995 (Figura 10), es una zona de debilidad tectónica contemporánea. En ella se definió un nudo sismogénico adyacente a la parte septentrional de BM-1. Ese nudo dista 36 km de la BM-2, y se propuso que: 1) todo el entorno es sísmicamente activo; 2) está relacionado con la transmisión de los esfuerzos tectónicos desde el sur. Los autores aplicaron el método de Rivera y Cisternas (1989) a las poblaciones de mecanismos en diferentes zonas del Caribe y propusieron un sistema de esfuerzos en el área.

En Cuba se han delimitado y documentado 4 zonas de deformación en la región: 1) oriental, con alteraciones significativas, y duplicidad de la divisoria principal de primer orden de las aguas superficiales (Cotilla et al., 1988); 2) suroriental, en el entorno de Baconao, al este de Santiago de Cuba, con modificaciones significativas de tipo morfoestructural en el relieve costero emergido y sumergido (Cotilla et al., 1989, 1991); 3) occidental, donde para las inmediaciones de San Cristóbal se determina una serie de indicadores en el relieve como lagunas, pequeños montículos desplazados (Cotilla, 2016; Cotilla y Córdoba, 2011a); 4) más occidental, en el Cabo de San Antonio, donde existe la intersección de las FNC y FSC (Cotilla et al., 1991A, 1991B; González et al., 1983); 5) occidental, donde contactan 2 US, Occidental y Centro Oriental, y se delimita la convergencia de varios segmentos de fallas activas: Guane, Habana-Cienfuegos, Cochinos, e Hicacos.

Un elemento de importante significado morfoestructural corresponde a las alineaciones e inflexiones de fallas. En particular, resultan relevantes aquellas que son de gran extensión y que involucran a estructuras diversas (Bankwitz et al., 2003). Así, 1) Cotilla y Udías (1999) y Cotilla y Córdoba (2017) indicaron la alineación N-S de Sudamérica-Bahía de Cochinos en Cuba; 2) González et al. (2003) analizaron las alineaciones E-O de Guanahacabibes y Zapata en el sur de Cuba occidental; 3) Cotilla et al. (2007) propusieron la relación entre la alineación SO-NE de Beata y las unidades neotectónicas de La Española; 4) Cotilla y Córdoba (2009) incidieron sobre la inflexión de la falla sismo-activa al este del extremo de Jamaica.

González et al. (2003) establecieron que en la zona entorno a la bahía de Matanzas-Varadero-península de Hicacos-Cárdenas: 1) hay una zona de deformación morfoestructural de primer orden (ver su figura 3); 2) existe la segunda más importante inflexión de la divisoria principal de primer orden de la red fluvial superficial. Además, en ese entorno Cotilla et al. (1991b) identificaron al nudo N7 -península Hicacos- (Figura 6). Éste se configura en la intersección de 3 fallas, Nortecubana -segmentos FNC1 y FNC2- e

Hicacos; y fue calificado como una estructura singular de la parte septentrional del megabloque. Es precisamente en sus inmediaciones donde se produjo la actividad sísmica antrópica de 2014-2017, antes mencionada.

De otra parte, al sur de Cuba se observa que: 1) el cambio del relieve submarino se corresponde con la dirección del alineamiento transversal NNO-SSE de la Bahía de Cochinos (Figuras 3-4 y 9), donde está el cambio estructural y delimita el contacto de las US Occidental y Centro Oriental; 2) el segmento sur de Pinar del Río-golfo de Batabanó-Isla de la Juventud es prácticamente asísmico, aunque tiene muchas deformaciones; 3) al este de ese segmento y también al sur de Cuba se localiza un conjunto numeroso de pequeñas islas y cayos (600 en total/ 2.170 km²) de dirección NO-SE, entre los golfos de Ana María y Guacanayabo. Éste último se acuña sobre la dirección Caimán (Figuras 1-4); 4) las zonas de fracturas marinas principales tienen la dirección del megabloque cubano y en ellas se ha determinado actividad sísmica: 4.1) SO-NE en Cuba norte occidental; 4.2) NO-SE en el norte y el sur en Cuba centro-occidental; 4.3) NO-SE en el norte de Cuba oriental; 4.4) E-O en Cuba suroriental; 5) asociadas con esas fracturas hay sistemas de fallas transversales que definen segmentos e intersecciones activos (Figura 3): 5.1) estas estructuras de menor orden permiten sostener modelos de celdas geodinámicas que responden a las interacciones de las placas Norteamérica y Caribe y la consecuente transmisión de esfuerzos y deformaciones asociadas; 5.2) los modelos más significativos están en Cuba oriental y en las inmediaciones de la zona de deformación estructural Habana-Matanzas. En ésta última la tasa de terremotos perceptibles es significativa.

Se ha determinado que existe: 1) desigual interacción del Golfo de México y la plataforma de Bahamas con el segmento FNC1; 2) no es lo mismo la colisión del megabloque de Cuba con el Golfo de México, que con la plataforma de Bahamas. Aunque en las interacciones participa la microplaca Caribe se diferencian por: 2.1) la interposición de la cuenca de Yucatán para el primer caso. Así se justifica la mayor cantidad de epicentros en los 3 segmentos, -FNC2, FNC3, FNC4- comparados con el segmento pinareño, FNC1; 2.2) las curvaturas SO-NE en Pinar del Río y NO-SE desde el este de La Habana.

Cotilla y Álvarez (1998), Cotilla y Córdoba (2010) y Cotilla et al. (1991A, 1997), entre otros especialistas, consideran que las estructuras de interior de la placa norteamericana -región de Carolina del Sur-Golfo de México (20,1-24 N)° y (78-88 O)°- península de la Florida-plataforma y banco de las Bahamas-Cuba- se caracterizan diferentemente desde el punto de vista geomorfológico y tectónico. El Golfo de México, mar intra-continental, es de tipo oceánico (20°-29,5° N 85°-98° O/ 1.500 km²/ h_{máx}=-3,7 km) de figura aproximadamente circular y sismicidad de nivel bajo. La Florida y las Bahamas, localizadas al este del Golfo de México e inmediatamente al norte de la FNC, son estructuras de tipo carbonatado que delimitan muy bien el entorno del sur norteamericano. En específico, las Bahamas comprenden un conjunto de ~700 islas y cayos -sólo habitadas 24- del sur y SE de la placa norteamericana en las inmediaciones del NE de Cuba y al este de la Florida. Otros datos que las definen son su figura alargada con centro en 24° 14' N 76° 00' O (~14.000 km²/ h_{máx}=63 m/ largo=850 km/ ancho=270 km). El territorio insular de las Bahamas se diferencia en 2 segmentos longitudinales de oeste a este: 1) plataforma de Bahamas, en la parte septentrional de Cuba Centro-Occidental; 2) banco de Bahamas al este de Cuba Oriental. El primero tiene la dirección NO-SE en la costa septentrional de Cuba centro-occidental y establece un relieve submarino heterogéneo y segmentado con importantes depresiones de paredes verticales, fondos en forma de "U" y sucesión de cayos. También en la zona septentrional, pero al este del Paso de los Vientos hay una significativa inflexión en el trazo de los límites entre las placas Norteamérica-Caribe debido a la colisión del banco de las Bahamas con La Española teniendo de fondo al Océano Atlántico. Este banco está constituido, para esta parte, de materiales carbonatados de aproximadamente 28 km de espesor sobre la placa norteamericana (Mann et al., 1995). El relieve submarino es un sistema con predominio de amplias mesetas y estrechos valles. El frente de la colisión de las placas tiene ~370 km de longitud y es relativamente estrecho, rectilíneo y responsable de la interrupción del proceso de subducción de la placa norteamericana bajo la microplaca Caribe. El Banco se comporta como una estructura rígida y

se considera una “aspereza” tectónica (Dolan et al., 1998). Las fosas de Puerto Rico (8.340 m) y La Española son estructuras oceánicas de la placa norteamericana, aproximadamente en línea y sucesión lateral; pero se diferencian por el prisma de acreción y plegamiento-cabalgamientos mucho mayores en la primera. La fosa de La Española, situada más al oeste, es más estrecha y menos profunda, $h < 4,0$ km. Ellas no guardan relación alguna con la fosa de Oriente.

Para las Bahamas está demostrado que la actividad sísmica: 1) es baja; 2) alcanza VI grados (Mercalli) para periodo de 50 años en Grand Inagua-Caicos Islands; 3) ha sido registrada por el USGS, lo que indica la ocurrencia de terremotos con $M \geq 4$. Además, la sismicidad: 1) de Carolina del Sur-Golfo de México es debida, principalmente, al proceso de subducción de la placa Cocos en el Pacífico, lejos de las zonas límites de placas. Ese territorio se caracteriza por un muy amplio plano costero que cubre las rocas fracturadas del basamento. Los terremotos aquí no son sólo producidos por las fallas locales sino también la presión del agua contenida en los poros y fracturas, y el peso de los sedimentos. Los terremotos seleccionados para la Florida están: 1.1) agrupados en las inmediaciones de Brewton, al norte de Pensacola; 1.2) otros eventos cercanos y recientes son: 2002/ 4,2 y 3,5; 2006.09.10/ 5,8/ $h=10$ km/ O-SO de Anna M^a Florida; 2011/ 5,8/ Mineral Virginia; 1.3) en la tabla 1 (periodo 1727-1991) de Lane (1991) se recogen 29 terremotos (1727-1781=3; 1841-1893=8; 1900-1960=13; 1973-1978=5); 1.4) en la tabla 1 de Reagor et al. (1988) hay 58 terremotos (1780=1; 1789-1899=10; 1900-1960=40; 1970-1978=7)/ el rango de intensidades sísmicas es III-VI (Mercalli)/ $M_{\text{máx}}=3,5$; 2) del norte de Cuba y la plataforma-banco de las Bahamas- Florida tiene lugar por la transmisión de esfuerzos, principalmente, desde la zona de interacción Caribe-Norteamérica; 3) registrada por el USGS, periodo 1900-1990, en el entorno de las Bahamas- norte de Cuba-Haití, sólo consiste en un terremoto fuerte: 1962.04.20/ 20,378 N 72,197 O/ 25,0/ 6,6/ VI/ epicentro norte de Haití. Esto es un hecho indiscutible y de importancia sismotectónica. Sin embargo, desde Gutenberg y Richter (1954) se ubica el terremoto de 1938.11.10/ 5,6/ 20,70 N 74,10 O en Grand Inagua. Este evento tiene el mismo valor de magnitud que el terremoto de Moa, al NO de Cuba en 1998.

Otras zonas aledañas a Cuba como la Hoya de Yucatán, el Golfo de México y las Bahamas también están en la placa de Norteamérica (Figuras 1-2). Según Rosencratz (1990) el margen de Yucatán no tiene movimiento relativo, respecto a Cuba, desde el post-Terciario y es asísmico. Cotilla (1993) lo confirmó. La depresión de Yucatán no está afectada desde el Neógeno por fallamiento lateral, pero el Golfo de México es activo. Según: 1) SSN-UNAM para el periodo 1999.01.1-2018.01.31 hubo 37 terremotos (rangos de M / cantidad: 6-7=1/ 5-6=5/ 2,9-5,0=31 (tabla 13 de Cotilla et al., 2019)); 2) USGS hubo reportados: 2.1) para el Golfo de México: 1852.07.7/ $M=7,5$; 2004.12.14 y .20/ $M=6,6$; 2006.09.10/ $M=5,7$; 2012.10.8/ $M=5,7$; 2011.04.26/ $M=5,6$; 2009.10.29/ $M=5,5$; 2006.02.10/ $M=5,2$; 2013.05.6/ $M=4,6$; 2018.02.28/ $M=4,3$; 2017.11.13/ $M=3,9$; 2017.12.16/ $M=3,0$; 1905.05.6; 2.2) para las Bahamas se ha registrado sólo un terremoto (USGS: 1992.02.22/ $M=3,2$ / 4:21:34/ 26,356 N 78,888 O/ 10 km). Esas regiones no han tenido tsunamis locales ni fallecidos. También de acuerdo con el USGS en el sur y sureste de Estados Unidos de Norteamérica, zona de interior de placa, se tienen varios terremotos perceptibles. Los datos demuestran que la SIP de la FNC no es una excepción.

6. SISMICIDAD RECIENTE EN LA REGIÓN (20,1-24 N)° Y (78-88 O)°

Para estudiar con más detalle las características sismotectónicas de la región que nos concierne [(20,1-24 N)° y (78-88 O)°], se realizó una compilación de todos los terremotos reportados o registrados hasta diciembre de 2022. Para ello se usaron: 1) el catálogo 1502-2012 para las Antillas Mayores (Álvarez et al., 2015); 2) los boletines de la red sismológica de Cuba (CENAI, 2023); 3) los catálogos y boletines (ISC, 2023; USGS, 2023). Las magnitudes de los terremotos fueron convertidas a M_w (Álvarez et al., 2017), hasta donde fue posible, para representar la sismicidad de una forma más homogénea. La mayoría de los eventos en la región corresponden a la red sismológica cubana. Su cobertura espacio-temporal dista mucho de ser uniforme; ya que se priorizó la región oriental, donde están las USO y USSO. Éstas son las

más activas y el proceso de instalación de las estaciones aunque sucesivo fue poco a poco. La historia de las estaciones sismológicas cubanas hasta 1984 es discutida por Serrano y Álvarez (1984) y las estaciones que operaron se presentan en la Figura 11a. Esa red experimentó una significativa modernización que es discutida por Moreno (2000) que trata además aspectos de la calidad de los resultados, sismicidad y mecanismos focales de la región oriental de Cuba. Por otra parte, Diez et al. (2014) también discuten la modernización de la red, haciendo hincapié en la instalación de una red de corto período con transmisión telemétrica alrededor de la ciudad de Santiago de Cuba (Figura 11b). A partir de ese momento el sistema continuó trabajando de forma estable, con muy poco incremento en el número de estaciones hasta 2020 (Diez et al., 2022). El estado actual de la red (Figura 11c) se encuentra en (<https://www.cenais.gob.cu/rednacional/>). Debe señalarse que también han operado, por poco tiempo, otras estaciones sismológicas, lo que es discutido en algunos de los trabajos mencionados.

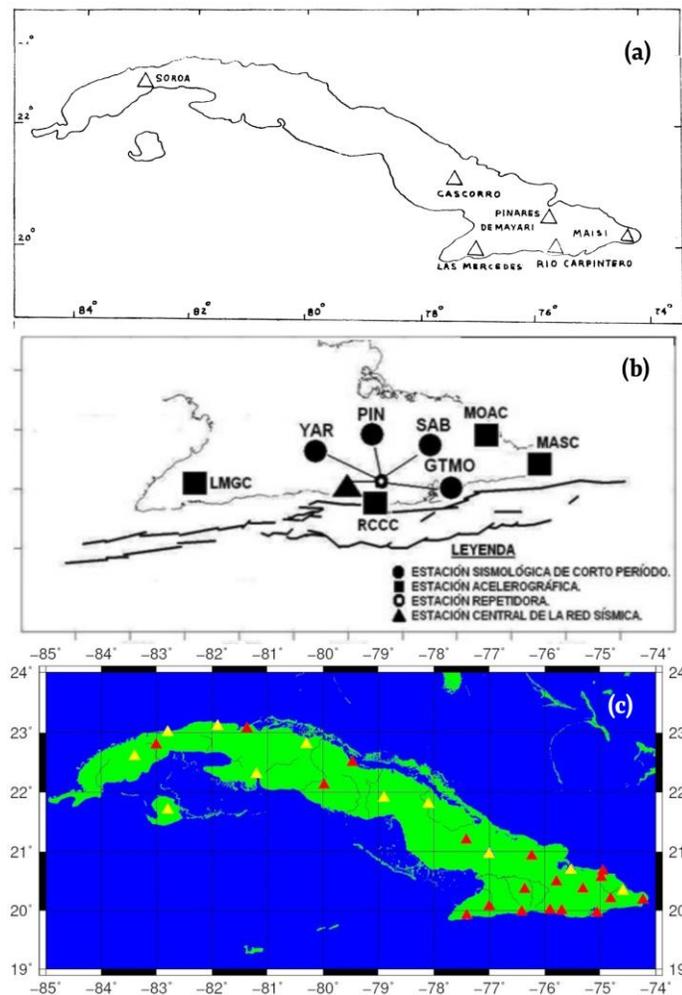


Figura 11.- Evolución de la red sismológica cubana. (a) Primeras estaciones (Serrano y Álvarez, 1984); (b) Red telemétrica en Santiago de Cuba [modificado de Diez et al., (2014)]; (c) Red actual (<https://www.cenais.gob.cu/rednacional/>). La leyenda de esta última figura usa la simbología de triángulo para representar el estado de las estaciones: 1) rojo - operando; 2) amarillo - pendientes de instalación.

En la Figura 12a está el mapa de epicentros de todos los terremotos reportados en la región para 1990-2022; mientras que en la Figura 12b está el de los eventos más “fuertes” ($M > 2.5$). Debe señalarse que en estos casos no siempre fue posible convertir a M_w las magnitudes, en cuyo caso se usó la mayor de las

magnitudes reportadas. Esto, evidentemente, lleva implícita cierta imprecisión; pero de momento no hay otra solución (Álvarez et al., 2015, 2017).

En los 2 mapas anteriores se observa que: 1) la mayor parte de la actividad sísmica débil es muy superficial ($h < 10$ km); 2) los terremotos con mayor fuerza relativa tienen una profundidad de 10-20 km; 3) las profundidades ≥ 20 km son muy escasas; 4) la dispersión espacial de los eventos es muy grande, lo que está motivado por: 4.1) la configuración de la red con muy pocas estaciones en la parte occidental de la Cuba; 4.2) la forma alargada de la isla. Así las estaciones se encuentran ubicadas en forma cercana a una línea recta latitudinal que conlleva un muy importante error azimutal. Esto se indicó para la primera red de estaciones en Álvarez et al. (1985, 1990). Debe señalarse que aunque en la Figura 11c aparecen 11 estaciones sismológicas pendientes de instalar por el CENAIIS (de ellas 8 en la región de estudio), parece poco probable que se instalen en un futuro cercano. Esto es lamentable, pues aunque fuesen solo 3 las que se instalasen, fundamentalmente para la zona occidental, mejoraría grandemente el conocimiento de la sismicidad de esta región.

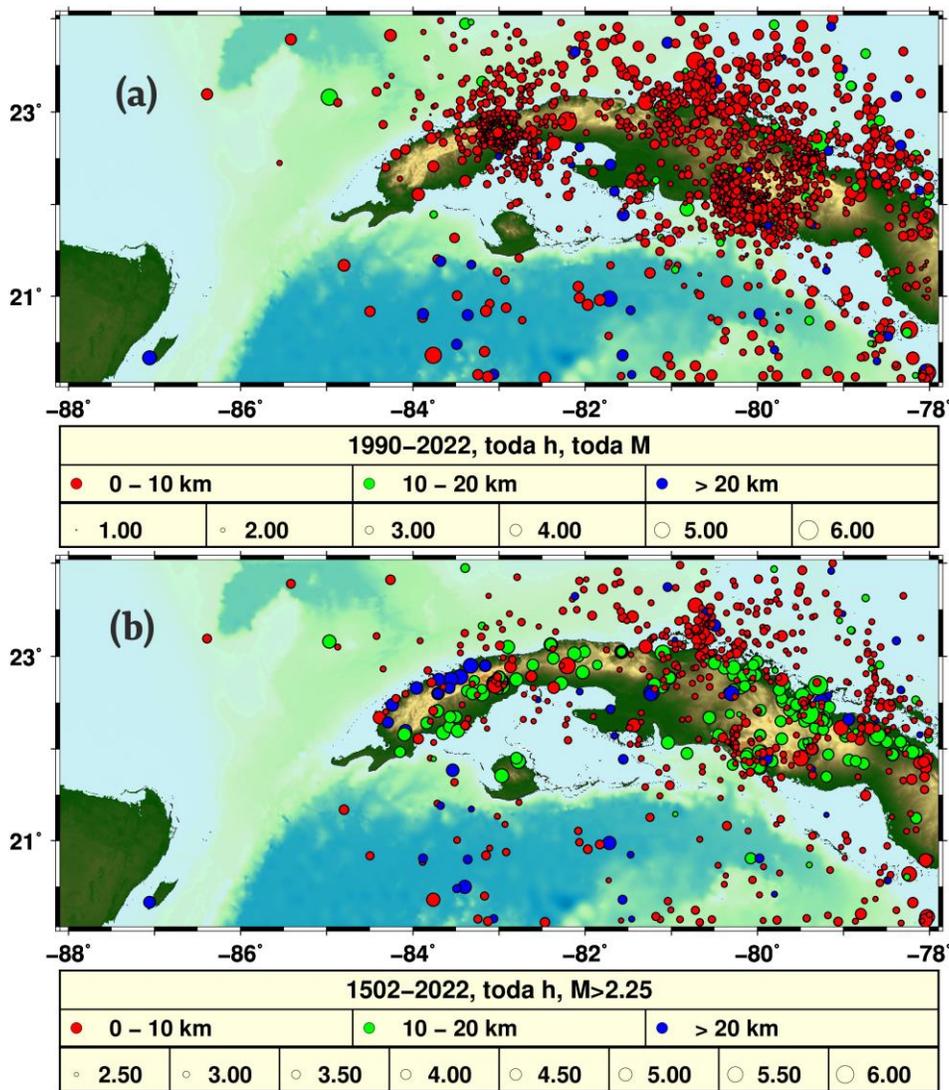


Figura 12.- Mapas de epicentros confeccionados con el catálogo compilado para este trabajo. Las referencias aparecen en el texto.

Como elemento comparativo de la sismicidad se presenta el mapa de epicentros del Caribe Norte 1964-2022 ($M > 4.75$), preparado con el catálogo del USGS (2023) (Figura 13). En él la actividad sísmica refleja claramente el proceso de interacción en la frontera entre las placas del Caribe y de América del Norte. Al este se tiene una subducción clásica con los terremotos más profundos en el interior del arco de islas, a lo que sigue una amplia zona de terremotos superficiales e intermedios que finaliza en la parte este de La Española. Luego sigue la Microplaca Gonave con terremotos superficiales, y al oeste de las Islas Caimán una zona estrecha de terremotos superficiales.

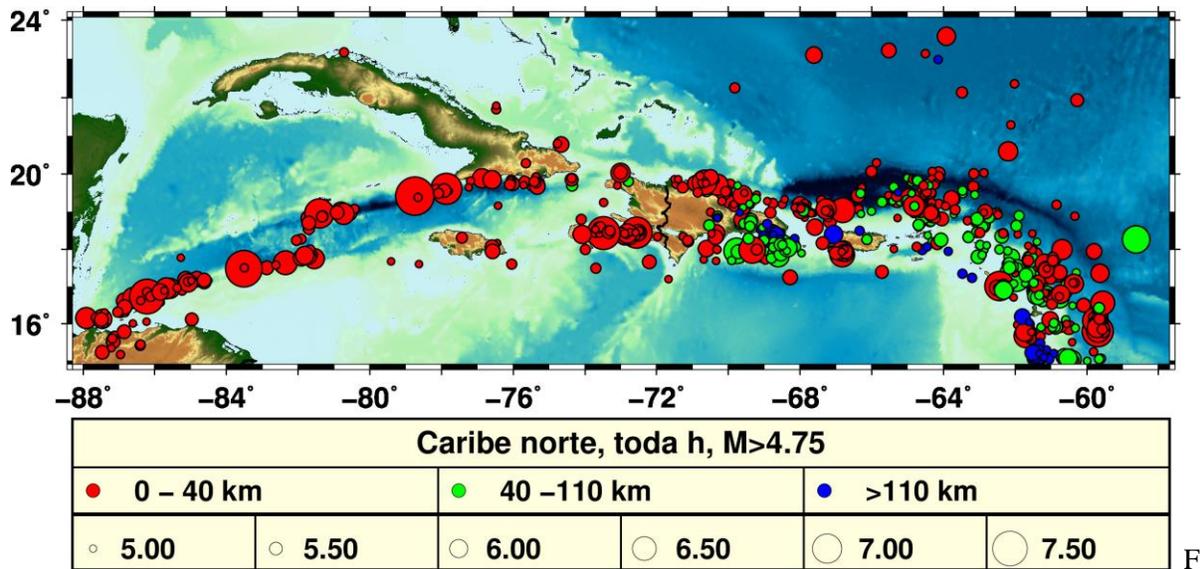


Figura 13.- Mapa de epicentros del Caribe norte 1964-2022 (catálogo del USGS).

Una forma para tratar de paliar la indeterminación espacial en las localizaciones epicentrales es con el uso de los mapas de densidad. En ellos se: 1) cuentan los terremotos para áreas preestablecidas; 2) realiza una normalización espacial y el valor obtenido se asigna al punto central de las áreas. El método utilizado, de promediado en celdas contiguas, emplea la fórmula:

$$D_{ij} = \left\{ \delta \cdot N_{ij} + \sum_{k=j-1}^{j+1} \sum_{l=i-1}^{i+1} N_{kl} \right\} / (9 + \delta)$$

donde D_{ij} es la densidad de epicentros en la celda “ ij ” y N_{kl} es el número de epicentros en la celda “ kl ”. Para la celda central se suma 1 o 2 veces, según se desee ($\delta=0$ - 1 vez, $\delta=1$ - 2 veces). El proceso se puede realizar varias veces seguidas cambiando N_{ij} por el D_{ij} resultado del cálculo anterior. Los valores usados fueron: celdas de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, 3 iteraciones, doble suma de la celda central y un área de normalización final de 104 km^2 . El cartografiado de los valores puntuales obtenidos se hizo por interpolación usando el método de triangulación de Delaunay. En la Figura 14 se presentan el mapa con el número de eventos por celda y el mapa de densidad de epicentros correspondientes al período 1990-2022. En la Figura 15 está el mismo tipo de mapas para el período 1502-2022.

De la Figura 14 hay 2 zonas principales, una en la zona de San Cristóbal -al oeste del mapa-, y otra en la zona del Escambray -al este-. Esta última se extiende en una zona “secundaria” en el norte de la isla. Igualmente se calculó la densidad de epicentros para el catálogo completo a partir de una $M_{\text{mín}}=2.25$ (Figura 15), con vistas a no tomar en cuenta la actividad de sismos de magnitudes muy bajas que domina en la figura anterior.

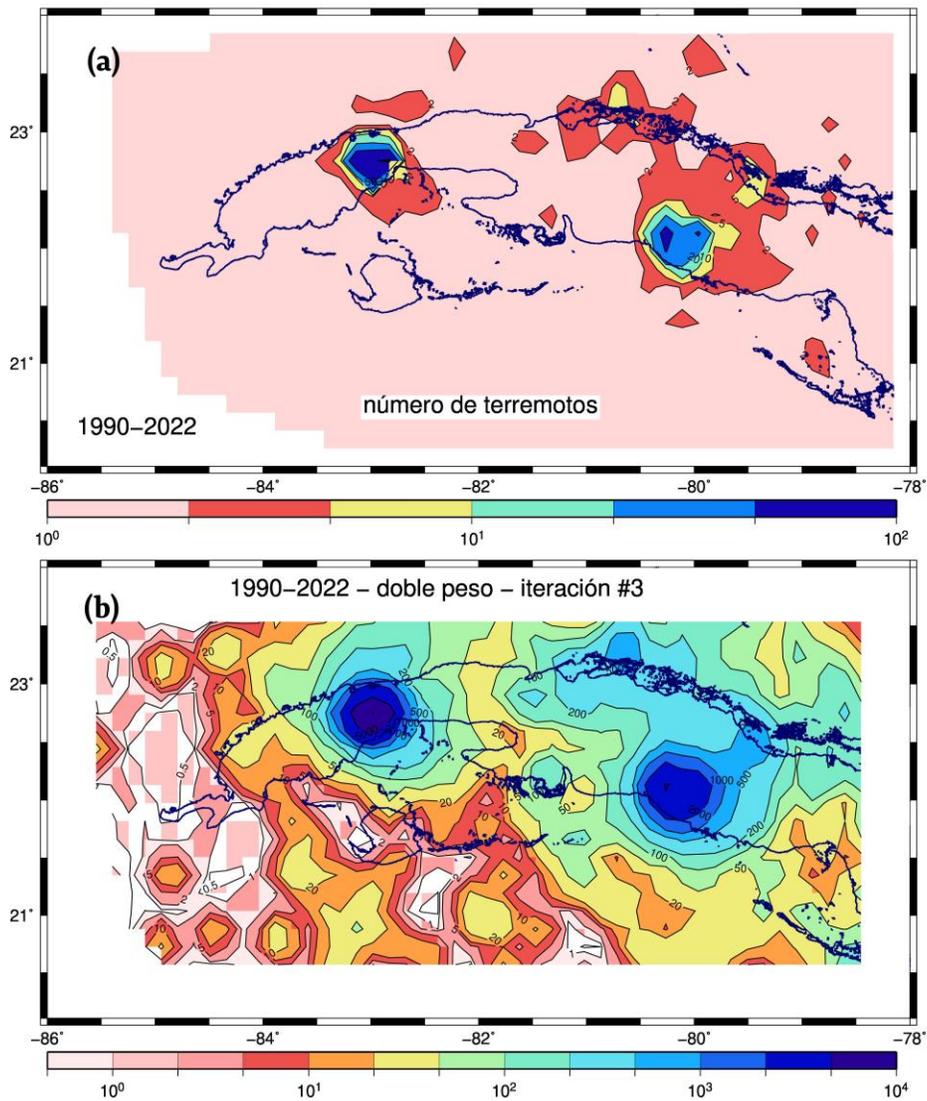


Figura 14.- Densidad de epicentros en la región de estudio.(a) cantidad de eventos en celdas de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (b) densidad de epicentros obtenida por 3 iteraciones considerando doble contribución de la celda central.

En esa última figura continúan presentes las 2 zonas principales de la Figura 14 y se definen mucho mejor las zonas ubicadas al norte de la isla. Debe tenerse presente que en las zonas de baja actividad la recurrencia de los terremotos es muy baja; y en el período de registro que se tiene, quizás solo haya ocurrido actividad una vez. Es por ello que en esta figura se reflejan varias zonas con actividad; mientras que en la Figura 14 aparecen menos, aunque con mucha mayor presencia de eventos en el catálogo. También influye en esto la capacidad de detección de la red de estaciones, que va disminuyendo según nos desplazamos hacia el oeste. Sobre esa capacidad de detección puede consultarse (Diez et al., 2022).

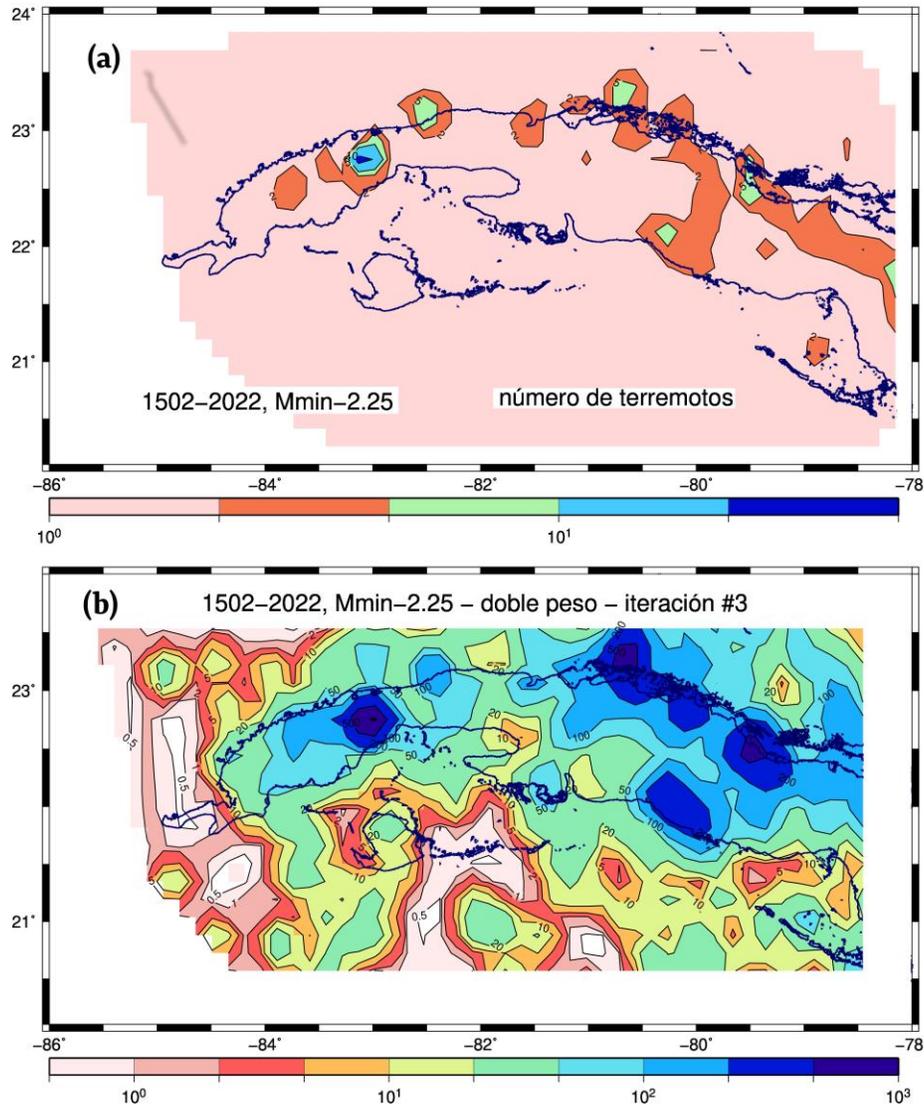


Figura 15.- Densidad de epicentros en la región de estudio, para el caso de los terremotos con $M > 2.25$ en el catálogo completo (1502-2022). (a) cantidad de eventos en celdas de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$; (b) densidad de epicentros obtenida por 3 iteraciones considerando doble contribución de la celda central.

Otro aspecto, muy importante, de la sismicidad corresponde a las determinaciones de mecanismo focal - tensor de momento sísmico. Éstas permiten analizar la dinámica del desplazamiento de las fallas donde ocurren los terremotos. Lamentablemente, para la región de estudio sólo se han realizado trabajos de ese tipo en dos casos (Arango et al., 2017 y Braunmiller et al., 2019). El primero de ellos corresponde a un estudio de la actividad sísmica inducida de 2014 en el norte de Villa Clara y presenta un estudio del tensor de momento del evento principal. El segundo, aunque enfocado también a esa actividad sísmica (para la que determina tensores de momento de 6 terremotos de la serie), incluye en anexos la determinación de los tensores de momento para otros 5 terremotos de la región ocurridos entre 2010 y 2017. Gracias a la gentileza del Dr. Braunmiller se tuvo acceso a los datos primarios de los gráficos que presenta en su publicación. En las Figuras 16ab están las soluciones para la serie de terremotos de 2014 y en la Figura 17 se presentan las soluciones para el resto de la región.

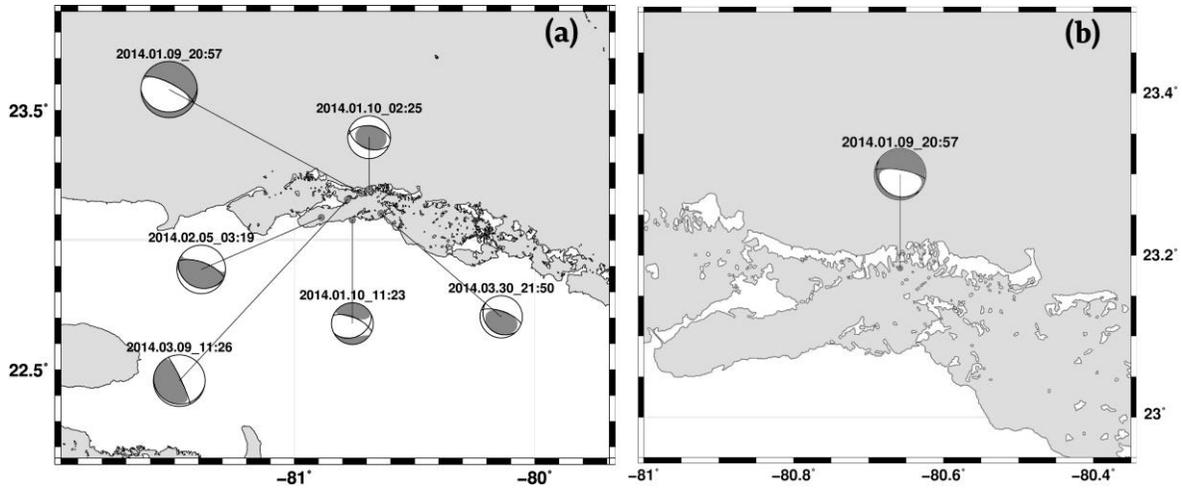


Figura 16.- Soluciones de plano de falla y tensor de momento para los eventos de la serie de 2014. (a) Braunmiller et al., (2019); (b) Arango et al., (2017).

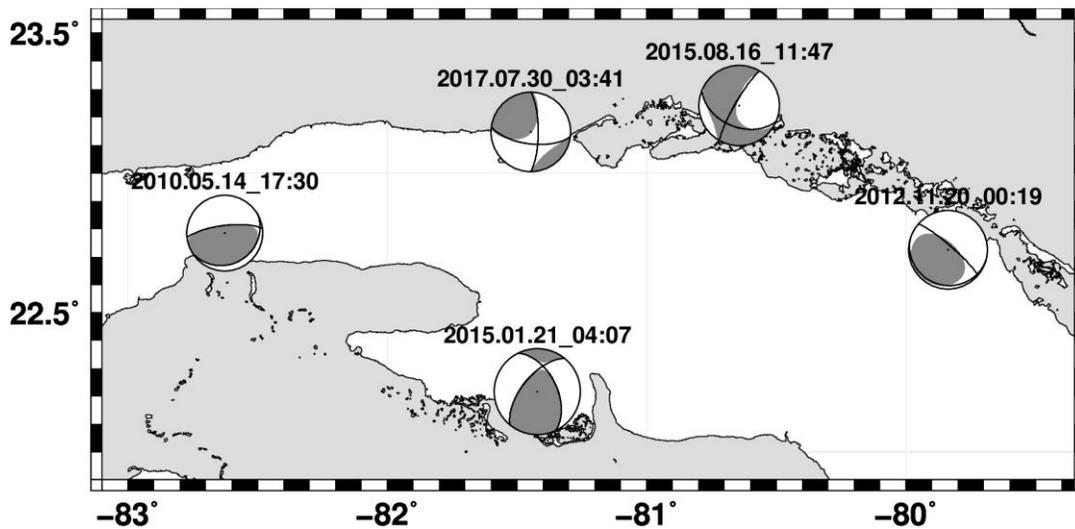


Figura 17.- Soluciones de plano de falla y tensor de momento para algunos eventos ocurridos entre 2010 y 2017 (Braunmiller et al., 2019).

La discrepancia entre las zonas sombreadas y los planos de falla en las soluciones mostrada refleja la presencia en mayor o menor grado de una componente de dipolo vectorial lineal compensado (CLVD por sus siglas en inglés) que es característico, en regiones no volcánicas, de irregularidades en el plano de fallas. Esto refleja cierta complejidad en el foco, lo que puede ser motivado por el hecho de que al ser terremotos débiles no se caracterizan por una clara zona de ruptura.

Las figuras 12a y 12 b son similares en cuanto a como reflejan la sismicidad. Con ellas: 1) se confirma que el espesor de la capa sísmo activa, para esta región, es muy limitado (Tabla 3); 2) es factible distinguir 3 agrupaciones, principales, de epicentros (Figura 18): entorno a Candelaria-San Cristóbal (1), al norte de Matanzas-Villa Clara (2), y Cienfuegos-Sancti Spíritus-Ciego de Ávila (3); 3) el trazo de la FNC está muy bien definido con epicentros de diferentes M y h; 4) el trazo de la FSC, en este sector al sur de la Bahía Cochinos-Bahía de Cienfuegos, tiene la mayor deformación del megabloque y se distingue con alineaciones de epicentros débiles y superficiales. Esa deformación -D3- se explica por la interposición del

Macizo Metamórfico de Guamuaya a la transmisión de esfuerzos y estructuras al norte. Ese bloque morfoestructural tiene los mayores valores de levantamiento de las USOC y USCOC.

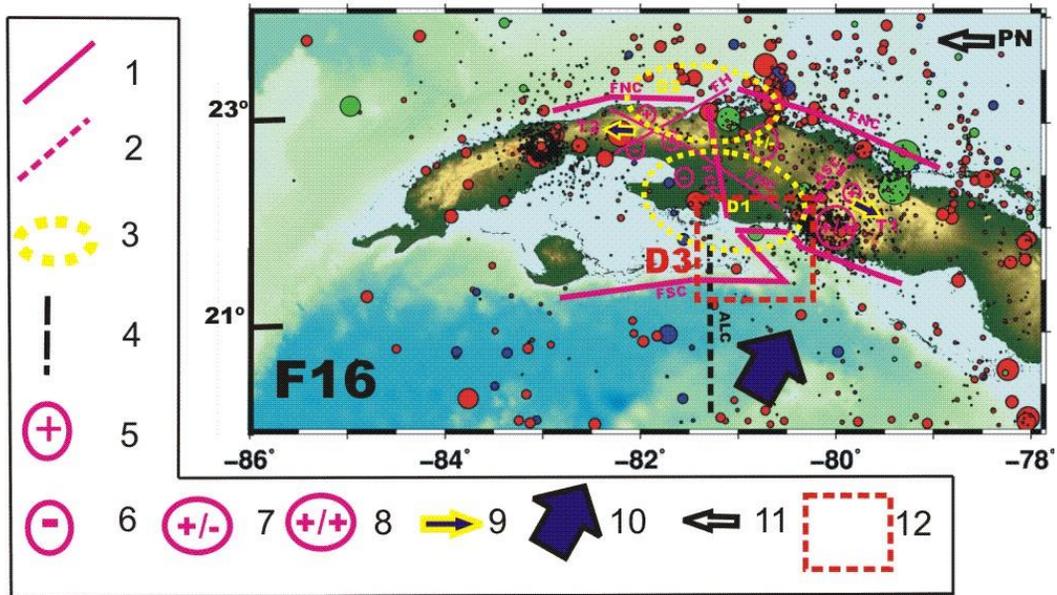


Figura 18.- Esquema de zonas de actividad en Cuba occidental y Cuba central. Aparecen: 1) fallas activas con siglas y color rojo (FCH= Cochinos, FH= Hicacos, FHC= Habana-Cienfuegos, FNC= Nortecubana, FSC= Surcubana); 2) alineamiento (siglas en color rojo: ASC= Santa Clara); 3) zona activa y deformada (siglas D1 y D2) en color amarillo; 4) alineamiento (siglas en color negro: ALC= Caimán); 5) zona del mayor ascenso relativo; 6) zona de descenso relativo; 7) zona de oscilaciones verticales estables; 8) zona de ascenso relativo; 9) tensor estimado con medidas de estrías (siglas T1 y T2 en color naranja); 10) tensor promedio de los mecanismo focales (Cotilla, 1998a); 11) sentido del desplazamiento relativo de la placa norteamericana (siglas PN); 12) zona de la mayor deformación activa (sigla D3 en color naranja); 13) fondo de sismicidad del CENAIS.

Los autores distinguen en la Figura 17 dos grupos -GA y GB- de terremotos (Tabla 6): GA) P. del Río 14.05.2010 y Villa Clara 20.11.2012. Ellos tienen soluciones de mecanismo focal similares, tipo inverso, que reflejan esfuerzos compresivos perpendiculares los planos principales de las fallas Guane (SO-NE) y Nortecubana -NC3- (NO-SE), respectivamente; GB) Cochinos 21.01.2015, Corralillo 16.08.2015, y Bahía de Matanzas 30.07.2017. Éstos 3 eventos tienen mecanismo transcurrente mixto y configuran en el plano un triángulo inverso, insertado entre los 2 eventos del GA. Esto se interpreta como una región sismoactiva, de la USOC, por transmisión de los esfuerzos desde la zona límite de placas al sur (Figura 19). Así, ella constituye la zona de deformación contemporánea DCO Habana-Matanzas (Figura 3) con giro horario (ver Figuras 9 y 10).

Tabla 6.- Datos de los 5 terremotos de la Figura 17.

Terremoto	14.05.2010	20.11.2012	21.01.2015	16.08.2015	30.07.2017
Localidad	Candelaria	Encrucijada	Cochinos	Corralillo	B. Matanzas
H (km)	05	10	16,1	14,1	10,0
M	4,1	3,3	4,1	4,3	4,4
Tiempo	17:30	00:19	04:07:13	11:47:46	03:41:29
Coordenadas N - O	22,61-82,91		22,217-81,422	23,241-80-642	23,148-81,446

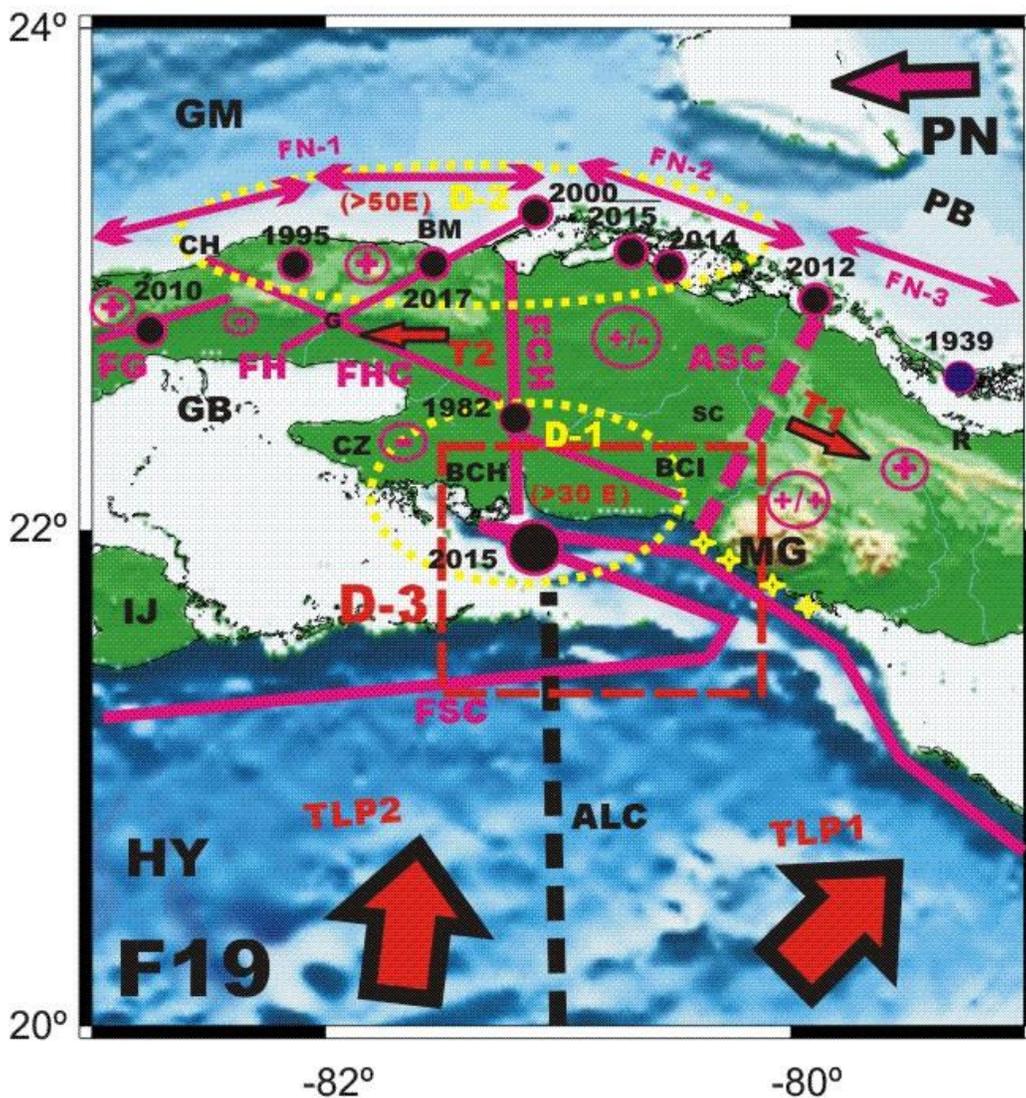


Figura 19.- Modelo cinemático de la región Habana-Matanzas. Aparecen: 1) siglas (BCH= Bahía de Cochinos, BCI= Bahía de Cienfuegos, BM= Bahía de Matanzas, CH= Ciudad de La Habana, CZ= Ciénaga de Zapata, G= Güines, GB= Golfo de Batabanó, HY= Hoya de Yucatán, IJ= Isla de la Juventud, MG= macizo de Guamuhaya, PB= Plataforma de Bahamas, R= Remedios, SC= Santa Clara); 2) epicentro (círculo rojo-negro, con año); 3) fallas activas (líneas rojas con siglas: FG= Guane, FH= Hicacos, FHC= Habana-Cienfuegos, FNC= Nortecubana, FSC= Surcubana); 4) alineamientos (línea discontinua con siglas: ASC= Santa Clara (color rojo), ALC= Caimán (color negro)); 5) áreas de movimientos verticales (círculos de color rojo con signos: += ascenso, -= descenso, +/- estable); 6) tensores estimados (flechas de colores naranja-negro y siglas: T1, T2, TLP1, TLP2)*; 7) sentido de movimiento de la placa norteamericana (PN); 8) áreas con actividad sísmica y deformaciones (elipses discontinuas y siglas -D1 y D2- de color amarillo); 9) región de deformación sismoactiva (rectángulo discontinuo con siglas -D3- color naranja); 10) frente de colisión (estrellas de color amarillo). * (T1,T2)-(Cotilla, 1998B; Cotilla et al., 2007a) y (TLP1,TLP2)-(Cotilla, 1998A, Cotilla y Udías, 1999; Cotilla et al., 2007a)

7. DISCUSIÓN

En las investigaciones sismotectónicas de Cuba Cotilla et al. (1991) observaron que: 1) hay varios modelos sismotectónicos; 2) existen grandes diferencias de actividad sísmica por regiones; 3) los sistemas

de fallas activas son heterogéneos, y por lo general tienen un nivel de estudio muy bajo para realizar evaluaciones sismotectónicas con un alto margen de fiabilidad. Posteriormente, Cotilla (1993) indicó que: 1) históricamente se consideraba que la región occidental Cuba abarcaba el territorio desde el Cabo de San Antonio, en el extremo oeste, hasta las inmediaciones del meridiano de Cienfuegos; 2) esa región tiene un bajo nivel de actividad sísmica; 3) a la región occidental se prestó mucha más atención, por parte de los especialistas en Sismología, a partir de 4 acontecimientos: 3.1) la CEN en Cienfuegos; 3.2) el terremoto de 1982 en Torriente-Jagüey Grande; 3.3) el proyecto del Centro de Investigaciones Nucleares [CIN] en La Habana; 3.4) el terremoto de 1995 en Ganuza-San José de las Lajas.

El área de Cienfuegos, donde se proyectó situar la CEN, estaba alejada de 4 zonas sísmicas conocidas e importantes: 1) Santiago de Cuba -al este-; 2) San Cristóbal -al NO-; 3) Remedios-Caibarién -al norte-; 4) Gibara -al NE-. Así, los estudios sismotectónicos, realizados por especialistas soviéticos (Belousov et al., 1983), se enfocaron, principalmente, en la región Central, como se aprecia en el mapa de zonas sismogeneradoras (Figura 7). En él se muestra que el área de Juraguá en Cienfuegos está afectada por un cruce de 3 zonas sismogeneradoras y que la zona de más categoría está, alejada de Cienfuegos, en la parte septentrional, aledaña a la FNC, la cual no está representada. El terremoto de 1982 modificó, para los autores, la forma de pensar en las investigaciones para zonas de baja actividad en Cuba. Y el terremoto del 09.03.1995 en las inmediaciones del CIN confirmó, al primer autor, la burda manipulación de los datos en las investigaciones realizadas por Orbera et al. (1990).

Atendiendo a las informaciones sobre la actividad sísmica en Cuba se conoce que: 1) los valores son diferentes de acuerdo con la US que se considere en perfiles S-N. Así, los mayores valores están en la parte: 1.1) central de la USOC; 1.2) septentrional de la USCOC; 1.3) meridional de la USOR; 2) la M_{máx} registrada en esa zona de deformación sismotectónica occidental es 4,5 en Torriente-Jagüey Grande. En ese entorno se han realizado 2 importantes investigaciones para la posible construcción de centros de energía nuclear, con fines pacíficos: CEN de Juraguá (interrumpida), en Cienfuegos y CIN en Ganuza-San José de las Lajas, La Habana (proyecto abandonado). La distancia entre ellos es de 100 km y están localizados sobre la falla activa Habana-Cienfuegos (Figuras 3 y 9). De acuerdo con el mapa de intensidades sísmicas (Figura 5) la ZDO aparece en la zona de valor 5 (escala MSK). Al considerar la posibilidad que un terremoto puede afectar a esas 2 áreas, hay que considerar también las localizaciones de los eventos fuertes y cercanos ocurridos. Por ello, se seleccionaron 3 epicentros conocidos: 1880, 1914, y 1939. En la Tabla 7 se muestran los datos sobre las 3 fuentes sismogénicas, independientes, asociados con ellos, mientras que en la Tabla 8 se resumen los datos sobre los terremotos mencionados. Es evidente, que su influencia, de ocurrir otros terremotos similares, sería de ligera a imperceptible.

Tabla 7.- Fuentes sismogénicas de 3 terremotos significativos de Cuba.

Terremoto	Falla/ Segmento	L (km)	Epicentro en la parte	Dirección de la falla y propagación de la energía	Localización respecto CIN/ CEN
1880.01.28	Guane/ Guane Central	52	emergida	SO-NE	E/ NO
1939.08.15	Nortecubana/ FN3.1 (Cayo Cabezos- La Trocha)	128	marina	NO-SE	NO/ NNE
1914.02.28	Nortecubana/ FN3.3 (La Trocha- Cauto-Nipe)	111	marina	NO-SE	ESE/ NE

Nota: CIN= Centro de Investigaciones Nucleares (La Habana); CEN= Central Electronuclear (Cienfuegos).

Tabla 8.- Datos de los eventos más fuertes en las áreas de interior de placa (USOC y USCOC).

Terremoto			Distancia aproximada (km)			Isosistas/ Epicentro en/ Tipo/ Índice de forma/ Área (103 km ²)	Falla/ Ruptura (km)
Fecha/ US	Mmáx/ Imáx/ Réplicas	Coordenadas (N - O)/ Localidad/ Provincia	-1-	-2-	-3-		
1880.01.28/ USOC	6,0/ 8/ 65	22,70 83,00/ San Cristóbal/ P. Río	100	195	275	Si/ Tierra/ completas/ 0,68/ 40	G/ 35
1939.08.15/ USCOC	5,6/ 6/ 9	21,30 76,20/ Remedios-Caibarién/ Villa Clara	150	75	50	Si/ Mar/ medias/ 0,75/ 25	NC/ 15
1914.02.28/ USCOC	6,2/ 7/ 24	22,50 79,25/ Gibara/ Holguín	630	530	435	Si/ Mar/ medias/ 0,71/ 19	NC/ 20

Notas: 1) US=Unidad sismotectónica: OC=Occidental, COC=Centro-Occidental; 2) Fallas: G=Guane, NC=Nortecubana; 3) -1=- San José de las Lajas -CIN-; 4) -2=- Torriente-Jagüey Grande; 5) -3=- Cienfuegos -CEN-

8. CONCLUSIONES

Cuba, como entidad sismotectónica del borde meridional de la placa norteamericana (Figura 1), tiene una zona de deformación principal en la región de interconexión de las unidades sismotectónicas Occidental y Centro-Occidental (Figuras 3, 8-9). Esa región tiene sismicidad del tipo interior de placa y se asocia con un conjunto de 8 nudos de articulación, o nudos sismogénicos. Estos últimos se configuran a partir del cruce de varias fallas activas: Cochinos, Guane, Habana-Cienfuegos, Hicacos, Nortecubana, y Pinar. Ese conjunto determina 8 bloques o celdas geodinámicas, con movimientos relativos de rotación en el sentido horario, sujetos principalmente a la interacción de las placas norteamericana y Caribe, y a la colisión con otras estructuras geológicas al norte.

Hay otras zonas sismoactivas del megabloque que son fuentes de terremotos fuertes y pueden afectar, como en el pasado, a esa zona de deformación. Ellas son principalmente: San Cristóbal y Remedios-Caibarién. Pero, sus efectos, dadas las fallas asociadas a esos terremotos, la distancia, y el sentido de la propagación de la energía estimada, se consideran serían débiles y bajos. El mayor efecto siempre será de las estructuras internas de esa ZDO.

AGRADECIMIENTOS

La colaboración de Don Amador García Sarduy para la preparación de la mayor parte de las figuras ha sido esencial. El Dr. Braunmiller permitió el acceso a los datos primarios de los gráficos que presentó en su publicación del 2019. Se agradece al CENAIIS por la cesión de los datos de registro instrumental de terremotos de Cuba, con su red de estaciones.

REFERENCIAS

- Álvarez, L., Cotilla, M. y Chuy, T. (1988). Mapa de intensidades máximas para períodos de recurrencia de 100 y 1.000 años por datos sismológicos. En Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Sección Características Geofísicas, II.3.3 Madrid.
- Álvarez, L., Chuy, T. y Cotilla, M. (1991). Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. Revista Geofísica, 35, 125-150.
- Álvarez, L., Cotilla, M. y Chuy, T. (1990). Sismicidad de Cuba. Informe final del tema 430.03. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba.
- Álvarez, L., Rubio, M., Chuy, T. y Cotilla, M. (1985). Informe final del tema de investigación 310.01: 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, 2 Vols.

- Álvarez, L., Lindholm, C. y Villalón, M. (2017). Seismic hazard for Cuba: A new approach. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(1), 229-239. <https://doi.org/10.1785/0120160074>
- Álvarez, L., Chuy, T., García, J., Moreno, B., Álvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O. y Fernández, A.I. (1999). An earthquake catalogue of Cuba and neighbouring areas. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Miramare-Trieste. Internal Report IC/IR/99/1, 60 pp.
- Álvarez, L., Villalón, M., Moreno, B. y Lindholm, C. (2015). Catálogo de terremotos de Cuba y regiones aledañas 1502-2012. Informe “Peligrosidad y riesgo sísmicos en Cuba y las regiones circundantes. T2 Peligrosidad sísmica, principios y herramientas”, 26 pp.
- Amorèse, D., Walker, A., Lagarde, J.L., Sautoire, J.P., Volant, P., Font, M. y Lecornu, M. (2000). New seismotectonic data from an intraplate region: focal mechanisms in the Armorican Massif (northwestern France). *Geophysical Journal International*, 14 (3), 837-846. <https://doi.org/10.1046/j.0956-540X.2000.01285.x>
- Arango, E.D. (2000). Geodinámica del sistema de fallas transformante Bartlett – Caimán, al sur de Cuba Oriental. En: Zapata, J.A. (Editor). Red de estaciones e investigaciones sismológicas en Cuba. Editorial Academia, La Habana, 72-87.
- Arango, E., González, O., Palau, R. y Leyva, M. (2017). Evaluación del comportamiento de la actividad sísmica de Corralillo, Villa Clara, Cuba iniciada el 9 de enero de 2014. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 18(1), 71-85. http://www.iga.cu/wp-content/uploads/2019/05/actividad.sismica.corralillo.cuba_.pdf
- Assinovskaya, B.A. y Soloviev, S.L. (1994). Definition and description of the zones of potential earthquake sources in the Barents Sea. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 29(8), 664-675.
- Balassian, S.Yu., Arakelian, A.R., Nazaretian, S.N., Avanesian, A.S., Martirosian, A.H., Igoumnov, V.A., Melkoumian, M.G., Manoukian, A.V., y Tovmassian, A.K. (1995). Retrospective analysis of Spitak earthquake. *Annali di Geofisica*, XXXVIII (3-4), 345-372. <https://doi.org/10.4401/ag-4111>
- Bankwitz, P., Schneider, G., Kämpf, H. y Bankwitz, E. (2003). Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: study case Cheb Basin (Czech Republic). *Journal of Geodynamics*, 35 (1-2), 5-32. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(02\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(02)00051-0)
- Belousov, T.P., Krestnikov, V.N. y Shebalin, N.V. (1983). Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima. *Investigaciones de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 81-85 pp. (en Ruso).
- Bhathia, S.C., Chetty, T.R.K., Filomonov, M., Gorshkov, A., Rantsman, E. y Rao, M.N. (1992). Identification of potential areas for the occurrence of strong earthquakes in Himalayan Arc region. En: *Procc. Indian Acad. Sci. Earth Planetary Ser.*, 101(4), 369-385. <https://doi.org/10.1007/BF02893012>
- Braunmiller, J., Thompson, G. y McNutt, S.R. (2019). The January 2014 Northern Cuba earthquake sequence: Unusual location and unexpected source mechanism variability. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(3), 919-928. <https://doi.org/10.1785/0120180272>
- Campbell, D.L. (1978). Investigation of the stress concentration mechanism for intraplate earthquakes”. *Geophysical Research Letters*, 5(6), 477-479. <https://doi.org/10.1029/GL005i006p00477>
- CENAI (2023). Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Catálogo de terremotos. <https://www.cenais.gob.cu/catalogo/>
- 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, 19 pp.
- Chuy, T., Vorobiova, E., González, B., Álvarez, L., Pérez, E., Serrano, M., Cotilla, M. y Portuondo, O. (1983). El sismo del 16 de diciembre de 1982. Torriente-Jagüey Grande. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 3, 43 pp.
- Chuy, T.J., Candebat, D., Arango, E.D., Arencibia, E.E., González, O.F. y Leyva, M. (2017). Informe del sismo del 29 de julio del 2017 de Santa Marta-Varadero, provincia de Matanzas. Fondos del CENAI.
- Cisternas, A., Godefroy, A.P., Gvishiani, A., Gorshkov, A.I., Kosobokov, V., Lambert, M., Rantsman, E., Sallantin, J., Soldano, H., Soloviev, A. y Weber, C. (1985). A dual approach to recognition of earthquake prone areas in western Alps. *Annales Geophysicae*, 3(2), 249-270.

- Cotilla, M. (1993). Una caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 200 pp.
- Cotilla, M. (1995). El sismo del 09-03-1995 en Ganuza, San José de las Lajas. Informe Científico del Instituto de Geofísica y Astronomía, 10 pp.
- Cotilla, M. (1998). Una revisión de los estudios sismotectónicos en Cuba. *Estudios Geológicos*, 54(3-4), 129-145. <https://doi.org/10.3989/egeol.98543-4212>
- Cotilla, M. (1998a). Sismicidad y sismotectónica de Cuba. *Revista Física de la Tierra*, 10, 53-86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=124570>
- Cotilla, M. (1998b). Informe final del Año Sabático 1995-1996 en temas de Investigaciones Sismotectónicas de Cuba y del Caribe Septentrional [SAB95-032 y SAB95-032P]. Departamento de Física de la Tierra, Meteorología y Astrofísica I: Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid, 110 pp. (Anexo de 15 figuras y 5 fotos)
- Cotilla, M. (1999). El controvertido alineamiento Habana-Cienfuegos, Cuba. *Estudios Geológicos*, 55(1-2), 67-88. <https://doi.org/10.3989/egeol.99551-2182>
- Cotilla, M. (2011). ¿Tsunamis en Cuba? *Revista Física de la Tierra*, 23, 173-197. http://dx.doi.org/10.5209/rev_FITE.2011.v23.36918
- Cotilla, M. (2014). Alternative interpretation for the active zones of Cuba. *Geotectonics*, 48(6), 459-483. <https://doi.org/10.1134/S0016852114060053>
- Cotilla, M. (2014a). Sismicidad de interior de placa en Cuba. *Revista Geofísica*, 64, 93-125. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/download/312/301>
- Cotilla, M. (2016). The Guane fault, Western Cuba, *Revista Geográfica de América Central*, 57, 159-198. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451748499007.pdf>
- Cotilla, M. (2017). Evaluation of recent intraplate seismic activity on Cochinos Bay, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 195-222. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.8>
- Cotilla, M. (2020). Características de las áreas sísmicas de Cuba. *NEXO*, 33(2), 784-794. <https://doi.org/10.5377/nexo.v33i02.10809>
- Cotilla, M. (2021). Estudio retrospectivo de los fuertes terremotos ocurridos en Cuba en los años 1914, 1932 y 1947. Google Books, 41 pp. <https://books.google.com.ni/books?id=xewUEAAAQBAJ>
- Cotilla, M. y Álvarez, J.L. (1997). Sismicidad de tipo intermedia en Cuba. *Revista Geología Colombiana*, 22, 35-40. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31442/31453>
- Cotilla, M. y Álvarez, J.L. (2001). Regularidades sismogénicas de la unidad neotectónica Occidental de Cuba. *Revista Geológica de Chile*, 28(1), 3-24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082001000100001>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2004). Morphotectonics of the Iberian Peninsula. *Pure and Applied Geophysics*, 161(4), 755-815. <https://doi.org/10.1007/s00024-003-2473-2>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2009). Morphostructural analysis of Jamaica. *Geotectonics*, 43(5), 420-441. <https://doi.org/10.1134/S0016852109050069>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2010). Study of the Cuban fractures. *Geotectonics*, 44(2), 176-202. <https://doi.org/10.1134/S0016852110020068>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2011). Comments about tsunami occurrences in the northern Caribbean. En: *Tsunami - a Growing Disaster* (Editor: M.Mokhtari), Cap.c7, 133-160. <https://doi.org/10.5772/23299>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2011a). Study of the earthquake of the January 23, 1880, in San Cristóbal, Cuba and the Guane fault. *Izvestiya Physics of the Solid Earth* (ISSN: 1069-3563), 47(6), 496-518. <http://doi.org/10.1134/S1069351311050028>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2017). Morphotectonic study of the Greater Antilles, *Geotectonics*, 51(1), 89-104. <https://doi.org/10.1134/S0016852117010058>
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2018). Some glimpses of the tsunamigenic potential of the Caribbean region. Google Books, 100 pp. https://play.google.com/books/reader?id=MJV_DwAAQBAJ&pg=GBS.PA1&hl=e
- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1994). Some comments on the seismotectonic activity of Cuba. En: *Z. Geol. Wiss.*, 22 (3/4), 347-352.

- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1999). Validación del mapa sismotectónico de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 110(5), 21-27.
- Cotilla, M. y Udías, A. (1999). Geodinámica del límite Caribe-Norteamérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2), 175-186.
- Cotilla, M., Córdoba, D., Álvarez, L. y Muñoz, A. (2022). [A new seismotectonic model approach to Nicaragua. Google Books, 72 pp. Second Edition.](#)
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Álvarez, L. (2020). Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba. *Google Books*, 87 pp. https://books.google.es/books?id=1997_y8f4DwAAQBAJ
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Álvarez, L. (2020a). Características de las principales áreas sísmicas de Cuba. *GEOS*, 40(1), 15 pp. <https://geos.cicese.mx/index.php/geos/article/view/60>
- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Calzadilla, M. (2007). Morphotectonic study of Hispaniola. *Geotectonics*, 41(5), 368-391. <https://doi.org/10.1134/S0016852107050032>
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Núñez, F. (2019). Caracterización sismotectónica de México. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 103-113. <https://doi.org/10.15359/rgac.63-2.4>
- Cotilla, M., Franzke, H.J. y Córdoba, D. (2007a). Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysics*, 48(6), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.08.004>
- Cotilla, M., González, E., Díaz, J. y Cañete, J. (1991). Estudio complejo geomorfológico-estructural de la zona marítima del sur de Cuba oriental. *Revista Geofísica*, 34, 167-176.
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Álvarez, L. (2021). Evaluación del marco morfotectónico contemporáneo de Honduras. Proyecto KUK-AHPAN-RTI2018-094827-BC21. *Google Books* 85 pp. <https://books.google.com/books?id=xhMIEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Cotilla, M., González, E., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. (1989). Mapa neotectónico complejo del extremo oriental de Cuba y la parte marina meridional. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 19, 18 pp.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, L., Franzke, H.J., Rubio, M. y Pilarski, J. (1998). Cinemática neotectónica de Cuba Oriental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11(1-2), 33-50.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, L., Franzke, H.J., González, E., Grünthal, G., Pilarski, J., Díaz, J. y Aretaga, F. (1991a). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 3, 25 pp.
- Cotilla, M., Franzke, H.J., Pilarski, J., Portuondo, O., Pilarski, M. y Álvarez, L. (1991b). Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Revista Geofísica*, 35, 53-112.
- Cotilla, M., González, E., Franzke, H.J., Díaz, J., Oro, J., Arteaga, F. y Álvarez, L. (1991C). Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 30 pp.
- Cotilla, M., Millán, G., Álvarez, L., González, D., Pacheco, M. y Arteaga, F. (1994). Preparación del esquema neotectogénico de Cuba. *Informe Científico-Técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba*. 300 pp.
- Cotilla, M., Rubio, M., Álvarez, L. y Grünthal, G. (1997). Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores. *Revista Geofísica*, 46, 129-150.
- Cotilla, M., González, E., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. (1988). Estudio morfoestructural de Cuba (1). La red fluvial. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 5, 26 pp.
- Cotilla, M., Córdoba, D., Núñez, F.J., Gómez, A., Pinzón, J.I. y Rivera, L.D. (2017). Morfotectónica de Jalisco y Oaxaca (1), México. *Revista Geográfica de América Central*, 3(59), 196-248. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451751862007>
- Cuevas, J.L. (1998). Estudios sobre isostasia en Cuba. Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas. *Boletín Geológico y Minero*, 109(3), 265-278.
- Cuevas, J.L., Álvarez R., García F., Pacheco M., González D., Ramírez R. y Espinosa J.A. (1992). Investigaciones geofísicas regionales complejas para el estudio de la constitución profunda de la corteza terrestre en la región central de Cuba. *La Habana, Instituto de Geofísica y Astronomía*: 114 pp.

- Cuevas, J.L., Díaz, L.A. y Polo, B. (2001). Regionalización gravimétrica en el Caribe centro occidental (I): Nuevos mapas de anomalías de Bouguer total y aire libre de Cuba, a escala 1:500.000. IV Congreso Cubano de Geofísica. Memorias [CD- ROM], La Habana, Cuba, 19-23 de marzo.
- Cuevas, J.L., Álvarez, R., Pérez, E. y Polo, B. (2009). Corteza Terrestre Profunda en el Caribe occidental (I): Regionalización de los campos gravimétrico, isostático y magnético en Cuba. VIII Congreso de Geología, Taller Proyecto 546 "Zonas de subducción del Caribe"). Memorias [CD- ROM], La Habana, Cuba, 16-20 marzo.
- Cuevas, J.L., Alcaide, J.F., Polo, B., Arango, E.D., Vega, N., Ríos, Y. y Viltres, Y. (2018). Anomalías geofísicas como indicador de posibles fallas en la región centro occidental, Cuba. Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, 81 pp.
- Díaz, J.L. y Lilienberg, D.A. (1989). Nuevos datos sobre los movimientos recientes de Cuba Occidental. Reporte de Investigación del Instituto de Geografía, 4, 11 pp
- Díaz, J.L., Lilienberg, D.A., y Marquez, M.E. (1990). Movimientos recientes de Cuba occidental: nuevas investigaciones geodésicas y geomorfológicas. Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio, 17, 78-91.
- Diez, E., Cutié, M., Montenegro, C., Palau, R., Poveda, V., Zhou, Y., Chen, Y. y Wang, F. (2014): Modernización de la red sísmica cubana. Instalación, calibración y puesta a punto. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 29(2), 69-78.
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/7118/6845
- Diez, E., Priolo, E., Sandron, D., Poveda, V., Cattaneo, M., Marzorati, S. y Palau, R. (2022): Evaluation of the Event Detection Level of the Cuban Seismic Network, Seismol. Res. Lett. 93(4), 2048–2062.
<https://doi.org/10.1785/0220220016>
- Dolan, J. y Wald, D. (1998). The 1943-1953 north-central Caribbean earthquakes: Active tectonic setting, seismic hazards and implications for Caribbean-North America plate motions. En: Active strike-slip and collisional tectonics of the northern Caribbean plate boundary zone. Editores: J.Dolan y P.Mann. Geological Society of America, Special Paper 326, 143-169. <https://doi.org/10.1130/SPE326>
- Dutton, C.E. (1889). The Charleston earthquake of August 31, 1886. Annual Report, USGS, 1887-88, 203-528.
- González, B. y Chuy, T. (1983). Actividad sísmica de la Provincia Pinar del Río. Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba, 4, 53-68.
- González, B.E., Orbera, L. y Chuy, T. (1994). Zonas sismogeneradoras de la región Centro Oriental. Informe Científico Técnico, CENAIIS.
- González, B.E., Álvarez, J., 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. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Filial Occidental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 13 pp.
- González, E.C., Cotilla, M., Cañete, C.C., Díaz, J.L., Carral, R. y Arteaga, F. (2003). Estudio morfoestructural de Cuba. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 26(1), 49-69.
http://www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_26_1/06_GFDQ_26_1_Gonzalez_49_69.pdf
- Gorshkov, A., Kuznetsov, I., Panza, G. y Soloviev, A. (2000). Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure and Applied Geophysics*, 157(1), 79-95. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-8415-0_5
- Gorshkov, A.I., Panza, G.F., Soloviev, A.A. y Aoudia, A. (2002). Morphostructural zonation and preliminary recognition of seismogenic nodes around the Adria margin in peninsular Italy and Sicily. *Journal Seismology and Earthquake Engineering*, 4(1), 1-24. http://www.jsee.ir/article_240466.html
- Gorshkov, A.I., Soloviev, A.A., Jiménez, M.J., García, M. y Panza, G.F. (2010). Recognition of earthquake-prone areas (M>5,0) in the Iberian Peninsula. *Rendiconti Lincei*, 21(2) (2010), 131-162. <https://doi.org/10.1007/s12210-010-0075-3>
- Gubbins, D. (1992). *Seismology and plate tectonics*. 2nd edition. Cambridge University Press. ISBN: 9780521379953

- Gutenberg, B. y Richter, Ch.F. (1954). *Seismicity of the Earth*. Princeton University Press, Princeton, New York.
- Gvishiani, G., Zelevinsky, A., Keilis-Borok, V. y Kosobokov, V. (1980). Reconocimiento de las áreas donde pueden ocurrir los terremotos más fuertes ($M_s > 8,2$). Métodos y algoritmos para la interpretación de datos sismológicos. *Vichislitl'naya Seismologiya*, 13, 30-43 (en Ruso).
- Hernández, J.R., Blanco, P. y Díaz, J. (1988). Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. Editorial Academia, 14 pp. <https://www.worldcat.org/es/title/243615139>
- Imaeva, I.P., Imaev, V.S. y Koz'min, D.M. (2011). Seismotectonic analysis of the Yana-Inchigirka segment of the Chersky zone. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 47(12), 1045-1060.
- ISC (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
- Johnston, A.C. (1996). Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions I: Instrumental seismicity. *Geophysical Research Journal*, 124(2), 381-414. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb07028.x>
- Johnston, A.C. y Kanter, L.R. (1990). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 262(3), 68-75.
- 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: *Investigación de la sismicidad de las zonas de baja actividad sísmica (Cuba Central)*. Editorial Nauka, Moscú, 81-85 pp. (en Ruso).
- Lane, E. (1991). Earthquakes and seismic history of Florida. Florida Geological Survey, Open File report 40, 11 pp. <https://doi.org/10.35256/OFR40>
- Leonov, Yu.G. (1995). Esfuerzos en la litosfera y geodinámica de interior de placa. *Geotektonika*, 6, 3-22.
- Leroy, S. y Mauffret, A. (1996). Intraplate deformation in the Caribbean region. *Journal of Geodynamics*, 23(1), 113-122. [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(95\)00037-2](https://doi.org/10.1016/0264-3707(95)00037-2)
- Levchenko, V.A. y Riabujin, A.G. (1971). Block structure of the northern shelf of Cuba (en Ruso). *Geotektonika*, 5.
- Liu, L. y Zoback, M.D. (1977). Lithospheric strengths and intraplate seismicity in the New Madrid seismic zone. *Tectonics*, 16(4), 585-595. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/97TC01467>
- Mann, P. y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean. *Review of Geophysics and Space Physics*, 22(4), 309-392. <https://doi.org/10.1029/RG022i004p00309>
- Mann, P., Taylor, F.W., Lawrence, E. y Teh-Lung, K.U. (1995). Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults. An example from the Northeastern Caribbean Plate Margin. *Tectonophysics*, 246(1-3), 1-69. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00268-E](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00268-E)
- McCann, W.R. y Pennigton, W.D. (1990). Seismicity large earthquakes and the margin of the Caribbean plate. *The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region, Chapter 4*, 291-305. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-H.291>
- McClain, W.C. y Meyer, O.H. Seismic history and seismicity of the southeastern region of the United States. ORNL-4582; UC-51, Oak Ridge National Lab., Oak Ridge, Tenn., 1970, 46 pp.
- Middleton, T.A., Walker, R.T., Parsons, B., Lei, Q., Zhou, Y. y Z. Ren, Z. (2015). A major, intraplate, normal-faulting earthquake: The 1739 Yinchuan event in northern China. *Journal of Geophysical Research*, 121(B1), 293-320. <https://doi.org/10.1002/2015jB012355>
- MINBAS (1987). Ministerio de la Industria Básica. Sobre los trabajos geofísicos complejos regionales y prospección en las aguas profundas del Shlef en 1986 por la Expedición soviética del barco «Académico Golitzin» (en Ruso). En: *Fondos Geológicos de Cuba*.
- MINBAS (1989). Ministerio de la Industria Básica. Investigaciones geofísicas complejas regionales y búsquedas en las aguas profundas de la República de Cuba, durante los años 1986-88. Informe de la 3ª etapa del Contrato 55-044/5700 (en Ruso). En: *Fondos Geológicos de Cuba*.

- MINMCM (1968). Ministerio de Minería, Combustible y Metalurgia. Sobre investigaciones sísmicas marinas realizadas en aguas profundas adyacentes, por la Expedición soviética del barco «Vladimir Obruchev» y las conclusiones geológicas. Dirección de Petróleo, Instituto Científico Investigativo de Geología y Geofísica Marina de toda la Unión (en Ruso). En: Fondos Geológicos de Cuba.
- Moreno, B. (2002). The new Cuban seismograph network, *Seismol. Res.Lett.* 73(4), 504–517. <https://doi.org/10.1785/gssrl.73.4.504>
- Novikova, O.V. y Gorshkov, A.I. (2018). High seismicity intersections of morphostructural lineaments: The Black Sea-Caspian region. *Journal Volcanology and Seismology*, 12(6), 378-385. <https://doi.org/10.1134/S0742046318060064>
- Orbera, L. (1983). Estudio sismotectónico de la región occidental de Cuba Informe Científico-Técnico, Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica de Cuba, 62 pp.
- 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, Vol. 1, 344 pp.
- Reagor, B.G., Slover, C.W. y Algermissen, S.T. (1988). Seismicity map of the State of North Carolina. Miscellaneous Field Studies Map, USGS. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/mf1988>
- Rivera, L. y Cisternas, A. (1989). Stress tensor and fault plane solutions for a population of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(3), 600-644. <https://doi.org/10.1785/BSSA0800030600>
- Rosencrantz, E. (1990). Structure and tectonics of the Yucatan Basin, Caribbean Sea, as determined from seismic reflection studies. *Tectonics*, 9(5), 1037-1059. <https://doi.org/10.1029/TC009i005p01037>
- Rosencratz, E. y Sclater, J.G. (1986). Deep and age in the Cayman trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 79(1-2),133-144. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(86\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(86)90046-4)
- Rosencratz, E. y Mann, P. (1991). Sea MARC II mapping transform faults in the Cayman trough Caribbean Sea. *Geology*, 19, 690-693. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0690:SIMOTF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0690:SIMOTF>2.3.CO;2)
- Rosencratz, E., Ross, M.I. y Sclater, J.G. (1988). Age and spreading history of the Cayman trough as determined from depth, heat flow and magnetic anomalies. *Journal of Geophysical Research*, 93(B3), 2.141-2.157. <https://doi.org/10.1029/JB093iB03p02141>
- Rubio, M., Cotilla, M. y Álvarez, L. (1994). Evidencias sobre la existencia de la Microplaca Gonave. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 20 pp.v
- Scholz, C.H., Aviles, C. y Wesnousky, S.G. (1986). Scaling differences between large interplate and intraplate earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76(1), 65-67. <https://doi.org/10.1785/BSSA0760010065>
- Serrano, M. y Álvarez, L. (1984). Desarrollo de la sismología instrumental en Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4, 5-10.
- Shein, V.S. (1979). Tectonics of Cuba and its shelf, *International Geology Review*, 21(5), 540-552, <https://doi.org/10.1080/00206818209467090>
- Shein, V.S., Smirnov, V.N., Klechov, K.A. y Orbera, L. (1975). Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:1.000.000. Informe del Ministerio de Geología y Minería de Cuba
- Soloviev, A., Gvishiani, A., Gorshkov, A., Dobrovolsky, M. y Novikova, O. (2014). Recognition of earthquake prone areas: Methodology and analysis of the results. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 50(2), 151-168. <https://doi.org/10.1134/S1069351314020116>
- Sykes, L.R. (1978). Intraplate seismicity reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism and tectonic postdating continental fragmentation. *Review of Geophysics Space Physics*, 16(4), 621-688. <https://doi.org/10.1029/RG016i004p00621>
- Sykes, L.R. y Ewing, M. (1965). The seismicity of the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research*, 70(20), 5.065-5.074. <https://doi.org/10.1029/JZ070i020p05065>
- Taber, S. (1914). Seismic activity in the Atlantic Coastal Plain near Charleston, South Carolina, *Bulletin Seismological Society of America*, 4(3), 108-160. <https://doi.org/10.1785/BSSA0040030108>

- Talwani, P y Rajendran, K. (1991). Some seismological and geometric features of intraplate earthquakes". *Tectonophysics*, 186(1-2), 19-41. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90383-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90383-4)
- USGS (2023). Earthquake Hazards Program. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Van Dusen, S.R., y Doser, D.I. (2000). Faulting process of historic (1917-1962) $M > 6,0$ earthquake along the North-Central Caribbean margin. *Pure applied Geophysics*, 157(5), 719-736. <https://doi.org/10.1007/PL00001115>
- Viñes, B. y Salterain, P. (1880). Excursión a Vuelta Abajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880. Editorial La Voz de Cuba, La Habana, 68 pp.
- Vega-Garriga, N., Cuevas-Ojeda, J.L., Arango-Arias, E.D., Alcaide-Orpi, J.F. y Ríos-Martínez, Y. (2022). Evaluación de las causas de la sismicidad originada en las provincias centrales de Cuba. *Minería y Geología*, 38(1), 24-38. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1980>
- Weiran, Y., Zuoxun, Z., Dewei, L., Jishan, X., Jie, W. y Wenxing, L. (2009). Three level tectonic model for intraplate earthquakes. *Earth Science Frontiers*, 16(1), 206-217 [https://doi.org/10.1016/S1872-5791\(08\)60073-1](https://doi.org/10.1016/S1872-5791(08)60073-1)
- Wiggins-Grandison, M. y Atakan, K. (2005). Seismotectonics of Jamaica. *Geophysical Journal International*, 160(2), 573-580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02471.x>
- Wilson, J.T. y O'Halloran, D.J. (1958). Seismicity of the eastern United States. *Bulletin of Geological Society of America*, 69(1), 710 pp.
- Wyssession, M.E., Wilson, J., Bartkó, L. y Sakata, R. (1995). Intraplate seismicity in the Atlantic Ocean Basin: A teleseismic catalog. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(3), 755-774. <https://doi.org/10.1785/BSSA0850030755>
- Zhidkov, M.P., Rotvain, I.M. y Sadvovskii, A.M. (1975). Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes. Intersecciones múltiples de lineamientos de la Meseta Armenia. *Vichislitielnaya Seismologiya*, 8, 53-70 (en Ruso).
- Zoback, M.L. (1992). First -and second- order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8), 11.703-11.728. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1470&context=usgsstaffpub>

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



Mario Ovtavio Cotilla Rodríguez: Doctor en Ciencias Geográficas [especialidad Sismotectónica, Cuba] y Doctor en Ciencias Físicas [especialidad Geofísica, España]. Profesor Asociado de la Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas; Cursos de post-grado impartidos 15; Colaboraciones científicas con Instituciones Internacionales (Alemania, España, Francia, México, Noruega, Portugal, República Dominicana, y otras); Participación en Proyectos científicos (>20); Publicaciones científicas en: Revistas (>200), Libros (6), Capítulos de libros (5); Participación en Congresos: Internacionales (>30) y Nacionales (>30)); Revisor (árbitro) de 8 Revistas Científicas; Reconocimientos científicos (4)



José Leonardo Álvarez Gómez. Doctor en Ciencias Físico-Matemáticas de la Academia de Ciencias de la ex-URSS (especialidad Geofísica). Investigador Titular del Instituto de Geofísica y Astronomía y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba. Asesor de Sismología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua. Asociado Regular y Titular del Centro Internacional de Física Teórica de Trieste, Italia. Colaboraciones científicas con instituciones internacionales (Unión Soviética, Italia, Noruega, Venezuela, CERESIS y otras)