

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba

M.O. Cotilla-Rodríguez¹, D. Córdoba-Barba¹ y L. Álvarez-Gómez²

¹-Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas. Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica. Plaza de Ciencias 1. 28040, Madrid. España

²- Ministerio de Transporte e Infraestructuras, Managua. Nicaragua
Autor para contacto: macot@ucm.es

Madrid
2020

PREFACIO

Esta obra científica tiene tres objetivos principales bien diferenciados: el primero confirmar la existencia y la actividad sísmica de la falla Nortecubana; el segundo demostrar la sismicidad inducida en dos sectores diferentes de esta falla, por trabajos de investigación y producción de petróleo y gas; y el tercero desmontar, con argumentos y documentos publicados, la manipulación falsaria de un individuo que ha pretendido arrogarse resultados de otros autores y ha afirmado, erróneamente, que la falla Septentrional de La Española (Haití y República Dominicana) se extiende al norte de Cuba Oriental.

La obra, inédita, es un complemento oportuno y necesario a las contribuciones que, durante tres décadas, este grupo de autores ha dedicado al estudio sismotectónico de Cuba y sus fallas activas.

En cuanto a la estructura del texto es la habitual para la literatura científica: título, resumen, *abstract*, palabras claves, *key words*, Introducción, Conclusiones, Agradecimientos, Referencias, Figuras, Tablas y Capítulos (Neotectónica y actividad sísmica, Fallas sismogénicas, Sismicidad inducida, y Discusión).

Se dice que “en política todo vale” y la Historia así lo demuestra. Sin embargo, en Ciencia se trabaja con hechos, experimentos y datos; por eso, siempre se descubre al embustero y al fantoche. En la Ciencia no se opina, ella es la verdad, relativa y temporal, nos guste o no. En el campo científico no caben los atajos, ni el plagio, y tampoco el ostracismo. No es posible, en modo alguno, situar barreras a la Ciencia y su difusión. Cabe concluir con una frase de Don M. de Cervantes Saavedra (España, 1547 - 1616): ***“Ninguna ciencia, en cuanto a ciencia, engaña; el engaño está en quien no la sabe”***.

ÍNDICE

| | Página |
|--------------------------------------|---------------|
| Créditos | 1 |
| Prefacio | 2 |
| Resumen | 4 |
| <i>Abstract</i> | 5 |
| Introducción | 6 |
| -1- Neotectónica y actividad sísmica | 11 |
| -2- Fallas sismogénicas | 41 |
| -3- Sismicidad inducida | 45 |
| -4- Discusión | 55 |
| Conclusiones | 69 |
| Agradecimientos | 72 |
| Referencias | 74 |
| Relación de figuras (12) | 85 |
| Relación de tablas (17) | 86 |
| Relación de abreviaturas | 87 |

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba

Nortecubana, the main intra plate fault in Cuba

M.O. Cotilla-Rodríguez¹, D. Córdoba-Barba¹ y L. Álvarez-Gómez²

1-Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas. Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica. Plaza de Ciencias 1. 28040, Madrid. España

2- Ministerio de Transporte e Infraestructuras, Managua. Nicaragua

Autor para contacto: macot@ucm.es

Resumen: La falla Nortecubana es una estructura geológica marina compleja y segmentada en cuatro partes, entre el Cabo de San Antonio (W) y la Punta de Maisí (E). Su extensión lineal, de aproximadamente 1.200 km, tiene dos direcciones SW-NE y NW-SE. Se caracteriza por su figura cóncava al S que responde a una zona de deformación en las inmediaciones de La Habana-Península de Hicacos (Matanzas). Constituye el límite septentrional del megabloque Cuba en el borde meridional de la placa de Norteamérica, con sismicidad de interior de placa. Es responsable de al menos 380 terremotos y 2 tsunamis locales (años: 1931 y 1939). La $M_{\text{máx}}$ registrada es 6,2 ($I_{\text{máx}}=7$ MSK) en el año 1914. La profundidad de los segmentos sismogénicos varía en 10-75 km. El segmento Central (FNC2, Punta de Hicacos-Nuevitas) es el más extenso. El segmento (FNC3) Nuevitas-Bahía de Nipe, en las inmediaciones de Gibara, tiene el mayor nivel. Esta falla no tiene ligazón de continuidad con la falla Septentrional de La Española ($M_{\text{máx}}=8,0$ / más de 10 tsunamis locales/ ~500 fallecidos). En los años 1981 y 2014-2017 se produjeron, por actividad antrópica, dos series de terremotos sobre la falla Nortecubana.

Palabras clave: Cuba, falla Nortecubana, sismicidad, placa de Norteamérica, terremoto

Abstract: The Nortecubana fault is a complex marine geological structure and segmented in four parts, between Cabo de San Antonio (W) and Punta de Maisí (E). Its linear extension, approximately 1.200 km, has two directions SW-NE and NW-SE. It is characterized by a concave figure to the S that responds to the deformation zone in the vicinity of Havana-Hicacos's Peninsula (Matanzas). It is the northern limit of the megablock Cuba on the southern edge of the North American plate, with intraplate seismicity. It is responsible for at least 380 earthquakes and 2 local tsunamis (years: 1931 and 1939). The registered M_{\max} is 6,2 ($I_{\max}=7$ MSK) in 1914. The depth of seismogenic segments varies by 10-75 km. The Central segment (FNC2, Punta de Hicacos-Nuevitas) is the largest. The segment (FNC3) Nuevitas-Nipe Bay, in the vicinity of Gibara, has the highest level. This fault has no continuity link with the Northern Hispaniola fault ($M_{\max}=8,0$ / more than 10 local tsunamis/ ~500 deaths). In the years 1981 and 2014-2017 were produced, by anthropic activity, two series of earthquakes on the Northern Cuban fault.

Key words: Cuba, earthquake, Nortecubana fault, seismicity, North American plate

INTRODUCCIÓN

Hipócrates de Cos (Grecia, 460 a.C. - 370 a.C.): *“La ciencia es el padre del conocimiento, pero las opiniones son las que engendran la ignorancia”.*

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

Introducción

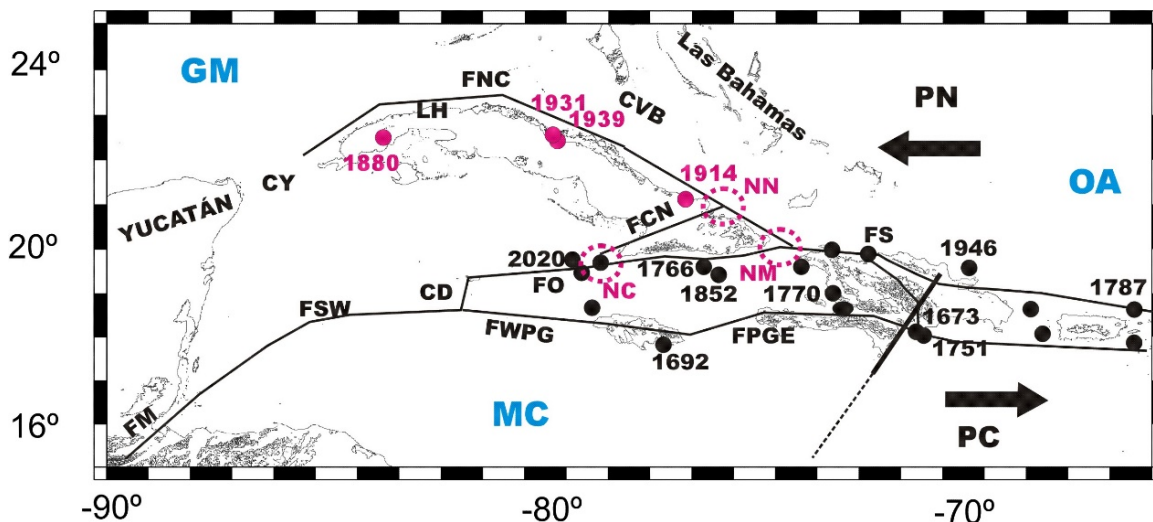
Cuba es una estructura insular del norte caribeño de 110.922 km², que de conjunto con otras islas vecinas se conocen como Arco de las Antillas Mayores (longitud de ~4.800 km) (**Figura 1A**). En sus 528 años de historia, desde el arribo de los españoles y el paulatino poblamiento de la Isla (**Tabla 1** y **Figura 1B**), la sismicidad ha sido motivo de no pocas controversias. La ocurrencia, en 2014, de terremotos en la costa norte Centro-Occidental, provincias de Matanzas y Las Villas, lo confirma (**Figura 1B**). Estos eventos, de poca magnitud, se localizaron sobre el trazo de la falla Nortecubana [FNC], en las inmediaciones de Corralillo (**Figura 2**). Ésta es una estructura marina de la parte septentrional de Cuba (longitud ~1.200 km) entre el Cabo de San Antonio (al W) y la Punta de Maisí (al E). En la parte occidental la FNC tiene una acentuada concavidad al sur relacionada con una zona de cambio estructural. El primer sismo perceptible en la Isla se reportó en el año 1528 (**Figura 1B**), en la ciudad primada de Baracoa, región noreoriental, y se asocia con la FNC.

En Cuba hay dos tipos de sismicidad, de interior de (o intra) placa [SIP] (Norteamericana) y de entre placas, Norteamérica-Caribe, la más importante (**Figura 2**). La mayor parte de Cuba, incluida la región de nuestro interés, Cuba Septentrional, tiene el primer tipo, que es de menor nivel en cuanto a frecuencia de ocurrencia y energía de los terremotos que la zona de contacto directo de las placas en el sur de Cuba Oriental, Cabo Cruz-Punta de Maisí (**Figura 1B**). Lo significativo, para la sociedad cubana, de los terremotos en Corralillo, es que el evento principal se sintió en Florida, USA ($I=3$ (escala MSK)/ ~100 km de distancia). Sin embargo, esa situación ya se produjo con el terremoto de 1880.01.23 San Cristóbal ($M_{\text{máx}}=6,2/ I_{\text{máx}}=8$), provincia de Pinar del Río (**Figura 2**), también de la región Occidental. Hasta este momento no se había considerado que los fenómenos sísmicos de 2014-2017 sean una serie de eventos inducidos por exploraciones geofísicas. Algo similar ocurrió en 1981 en la parte más Occidental de la misma estructura, al norte de la provincia Pinar del Río. Esa actividad fue registrada por la estación de Soroa y el primer autor recorrió entonces los territorios de Pinar del Río y La Habana para la evaluación sismotectónica.

Tabla 1.- Datos de algunas de las primeras villas (o ciudades) cubanas (siglos XVI-XVII)

| Denominación inicial (actual) | Región | Fundada (año) |
|--|----------|---------------|
| Nuestra Señora de la Asunción de Baracoa (Baracoa) | Oriental | 1511 |
| San Salvador de Bayamo (Bayamo) | | 1513 |
| Santiago de Cuba (Santiago de Cuba) | | 1515 |
| San Antonio del Sur | | 1539 |
| La Santísima Trinidad (Trinidad) | Central | 1514 |
| Sancti Spíritus (Sancti Spíritus) | | |
| Nuevititas (Nuevititas) | | 1515 |
| San Juan de los Remedios (Remedios) | | |
| Santa María de Puerto Príncipe (Camagüey) | | 1528 |
| Minas de Jobabo (Jobabo) | | 1533 |
| Puerto Padre (Puerto Padre) | | 1541 |
| Morón (Morón) | | 1543 |
| Esmeralda (Esmeralda) | | 1628 |
| Gloriosa Santa Clara (Santa Clara) | | 1689 |
| La Habana (Batabanó) | | Occidental |
| San Cristóbal de La Habana (Ciudad de La Habana) * | 1519 | |
| Guane (Guane) | 1600 | |
| San Diego de los Baños (San Diego de los Baños) | 1632 | |
| Matanzas (Matanzas) | 1693 | |

Notas: 1) * capital de Cuba. Inicialmente estuvo situada al sur; 2) ver **figura 1B**.

**Figura 2.-** Tipos de sismicidad y placas listosféricas (modificada de Cotilla, 2014A)

Aparecen: 1) epicentros (círculo y año en negro y rojo); 2) zonas de fallas (líneas negras continuas: FM=Motagua, FNC=Nortecubana, FO=Oriente, FPGE=Plantain Garden-Enriquillo, FS=Septentrional, FSW=Swan-Walton, FWPG=Walton-Plantain Garden); 3) flecha negra gruesa (sentido de movimiento de las placas: PC=Caribe, PN=Norteamérica); 4) masas de agua (letra azul: GM=Golfo de México, MC=Mar Caribe, OA=Océano Atlántico); 5) localidad y regiones (LH=La Habana, CD=Centro de Dispersión de corteza oceánica, CVB=Canal Viejo de Las Bahamas, CY=Canal de Yucatán); 6) nudos (círculo discontinuo y letra roja: NC=Cabo Cruz, NM=Maisí, NN=Nipe).

La colonización en Cuba comenzó por la parte Oriental y se extendió al Occidente (**Tabla 1** y **Figura 1B**). Con esa información, espacio-temporal, hay posibilidad de valorar la fiabilidad de las observaciones históricas sobre la perceptibilidad de los terremotos. Esto

permite aportar datos e ideas básicas sobre el tema sísmico en Cuba Septentrional, zona de la placa Norteamérica, y en particular su relación con la extensa FNC. Ésta limita con el sur del Golfo de México, región de gran reserva de petróleo y gas, y de Las Bahamas. Las tres estructuras son tectónicamente distintas, pero pertenecen a la placa norteamericana.

-1- NEOTECTÓNICA Y ACTIVIDAD SÍSMICA

Isaac Asimov (Rusia, 1920 - Estados Unidos de Norteamérica, 1992): *“El aspecto más triste de la vida en este preciso momento es que la ciencia reúne el conocimiento más rápido de lo que la sociedad reúne la sabiduría”.*

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

-1- Neotectónica y actividad sísmica

Para el análisis de la neotectónica de Cuba se emplearon datos de los siguientes trabajos: MINCM (1968), Levchenko y Riabujin (1971), Erickson *et al.* (1972), Shein *et al.* (1975, 1985), Cobiella (1983, 1984), Iturralde-Vinent (1984), Mann y Burke (1984), MINBAS (1987, 1989), Hernández *et al.* (1988), Cotilla *et al.* (1989, 1991A, B, 1992, 1993, A, 2007A), González *et al.* (1989, 1990, 2003), Rosencratz (1990), Rosencratz y Mann (1991), Cotilla-Rodríguez (1993), Prentice *et al.* (1993), Prol *et al.* (1993), Quintas *et al.* (1994), Rubio *et al.* (1994), Mann *et al.* (1995, 1998), Dixon *et al.* (1998), Cotilla y Udías (1999), Cotilla y Álvarez (2001) y Cotilla y Córdoba (2010, 2011, A, 2015, 2017). Con ellos se puede argumentar para Cuba sobre su posición y configuración en la etapa neotectónica. Ella constituye un megabloque emergido y en ascenso diferencial entre sus partes que está incorporado tectónicamente al borde meridional de la placa Norteamérica (**Figura 3**). Las particularidades estructurales, complejas y heterogéneas, fueron adquiridas en dos etapas de su desarrollo geológico: orogenia cubana -Eoceno Medio- y neotectónica -Post Eoceno Superior-; caracterizadas, respectivamente, por movimientos compresivos y movimientos verticales oscilatorios. Éstos son los responsables de la diferenciación-división en bloques y del desarrollo de una cobertura sedimentaria poco deformada que cubre, parcialmente, a las estructuras pre neotectónicas, y que se reflejan en el relieve. La división se produjo a partir de los límites tectónicos de la etapa pre Eoceno Superior, como zonas de debilidad favorables a las rupturas nuevas, aunque con otro estilo y tendencia, principalmente vertical. La complejidad estructural se evidencia en los cortes geológicos e investigaciones geofísicas en que aparecen apiladas, mezcladas, desplazadas y dislocadas diferentemente secuencias rocosas de distintas zonas estructuro-formacionales.

Desde el punto de vista geológico, Cuba tiene un conjunto articulado de bloques, regiones y provincias que incluyen a las zonas de:

1) Corralillo y su entorno (**Figura 1B**). Éstas están en una morfoestructura con tendencia al descenso que incluye una serie de llanuras bajas y planas, relacionadas con cayos y manglares, y donde no hay red fluvial superficial. En ese entorno Cotilla *et al.* (1991C) delimitaron dos zonas de alineamientos principales -Cochinos e Hicacos- y que representaron

en su figura 1. Consideraron esos autores que una zona de alineamientos estaba formada por un conjunto de alineamientos de ancho 1-10 km, por lo que la delimitación era fiable. En sus figuras 2 y 3 estaban la zona de densidad de alineamientos (Varadero-Corralillo-Sagua La Grande) y la rosa de direcciones (indicaba la dirección predominante NNE), respectivamente.

2) deformación o cambio estructural indicada en las **figuras 1A, 3 y 4**, que tiene la mayor cantidad de nudos de articulación, siete, del plano morfotectónico (**Figura 4**). Esto fue demostrado, por primera vez, por Cotilla *et al.* (1991C) con su figura 3

3) bolsas de gas y petróleo. En ese entorno se han producido varios eventos sísmicos perceptibles que fueron registrados por estaciones internacionales en 2014-2017.

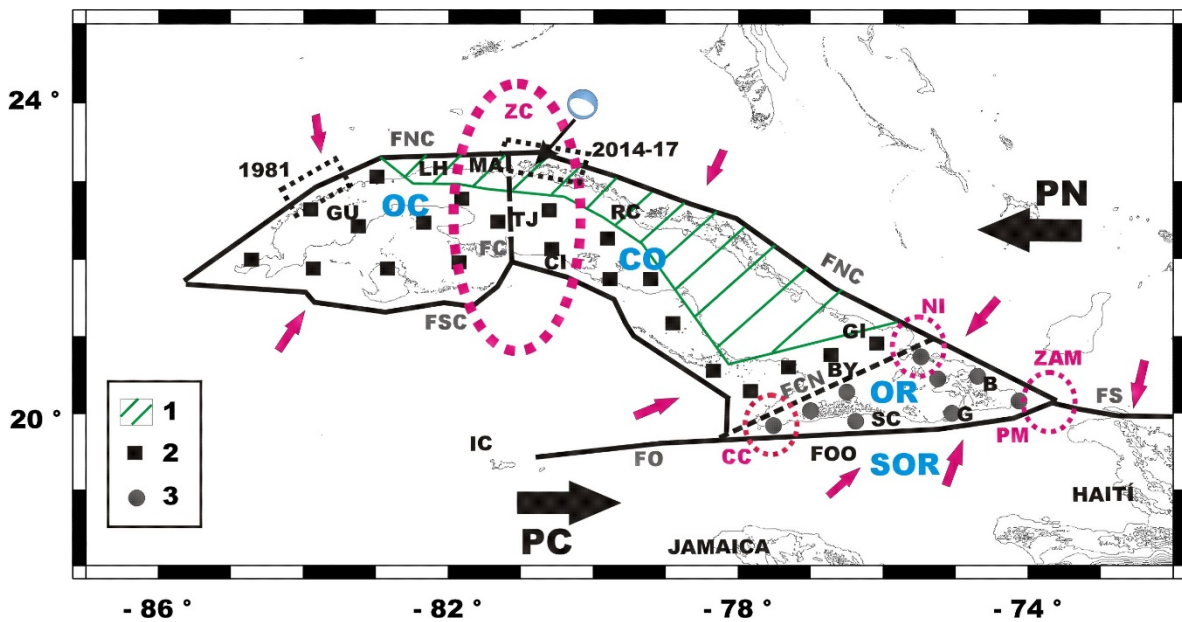


Figura 3.- Unidades neotectónicas de Cuba (modificada de Cotilla-Rodríguez, 2017)

Aparecen: **1)** Unidades neotectónicas (letra azul: OC=Occidental, CO=Centro-Oriental, OR=Oriental); **2)** fallas (línea gruesa negra con letra: FC=Cochinos, FCH=Cauto límite, FNC=Nortecubana, FO=Oriente, FS=Septentrional, FSC=Surcubana); **3)** nudos (círculo y letra rojos: (zona de articulación=ZAM Maisí); **4)** sentido de desplazamiento de las placas (flecha gruesa negra: PC=Caribe, PN=Norteamérica); **5)** tensor $O_{h\max}$ (flecha roja); **6)** tipos de corteza (ver leyenda interior: transicional (1=gruesa, 2=fina), 3=oceánica-modificada); **7)** ZC=zona de cambio estructural (elipse discontinua roja); **8)** localidades y regiones: B=Baracoa, BY=Bayamo, CI=Cienfuegos, FOO=fosa de Oriente, G=Guantánamo, GI=Gibara, GU=Guane, IC=Islas Caimán, LH=La Habana, MA=Matanzas, PM=Punta de Maisí, RC=Remedios-Caibarién, TJ=Torriente-Jagüey Grande; **9)** áreas de sismicidad inducida en 1981 y 2014-2017 (rectángulo discontinuo negro); **10)** Tensor Momento Sísmico (USGS) 2014.09.1 ($M_w=5,0$) en Corralillo.

Los datos de sismicidad en Cuba son muchos y variados (Poey, 1855A, B, 1857; Chuy y González, 1980; Chuy, 1982; Frohlich, 1982; Chuy *et al.*, 1983; González y Chuy, 1983; Álvarez *et al.*, 1985, 1990, 1999; Cotilla, 1985, 1998, A, B, 1999, A, 2007, 2011, 2014, A,

2016; Cotilla *et al.*, 1988, 1990, A, 1991, 1997, A, 1998, 2007; Cotilla-Rodríguez, 1993, 2017; Cotilla y Franzke, 1994, 1999; Rubio *et al.*, 1994; Cotilla y Álvarez, 1997, 1998, 1999, 2001; Dixon *et al.*, 1998; y Cotilla y Córdoba, 2011, A, 2015, 2017, 2018). A partir de ellos se distingue una significativa y regular disminución de la sismicidad desde la zona de contacto de las placas Caribe-Norteamérica, en la parte suroriental, hacia el interior del territorio en la parte occidental (**Figuras 3 y 5**). Esto se corresponde, directamente, con la situación neotectónica y la influencia de los sistemas de placas que sustentan la existencia de cuatro Unidades Sismotectónicas [US] independientes: Occidental [USOC], Centro-occidental [USCO], Oriental [USOR] y Suroriental [USSOR] (Cotilla *et al.*, 2007) (**Figura 4**). Las mismas se diferencian atendiendo a las características geomorfológicas, la relación actividad / extensión territorial; destacando el mayor valor en la USOR. Esto último se justifica por su inmediata cercanía a la falla activa de Bartlett-Caimán, segmento Swan-Oriente, donde se define a la falla sismoactiva Oriente. Adyacente, y en paralelo -a la falla- está la estructura oceánica profunda, fosa de Oriente (**Figuras 1B y 3**), con un desnivel relativo de ~10 km, entre la Sierra Maestra (1.974 m de altitud), y el fondo marino (~8.000 m de profundidad), para un gradiente de relieve ~150 m/km, y un campo de anomalías gravimétricas positivas. Se ha especulado mucho sobre la posible generación de tsunamis locales en este segmento, Pílon-Baconao, de la falla Oriente; pero, esto se descarta, simplemente, con los datos de sismicidad, de más 500 años.

Con los resultados de Cotilla y Córdoba (2010), Cotilla *et al.* (1989, 1991, A, B, 1993) y González *et al.* (1989, 1990, 2003) se sostiene que:

1) el extremo occidental de Cuba es una continuación geomorfológica, interrumpida, de la Península de Yucatán (**Figura 2**; 181.000 km²). Esas estructuras tienen la misma dirección SW-NE y litología, predominante de calizas con drenaje mayoritariamente subterráneo

2) la Península de Yucatán es de tipo continental y divide dos mares interiores:

2.1) Golfo de México

2.2) Mar Caribe (2.718.200 km²/ 9°-22° N 60°-89° W). Entre ellos está el Canal de Yucatán (ancho=217 km/ h_{máx}=-1.800 m) con un relieve abrupto e irregular

3) en el extremo oriental de Cuba hay otro canal transversal, El Paso de los Vientos (**Figura 1A**), entre Cuba y La Española (ancho=80 km/ $h_{m\acute{a}x}$ =-1.700 m). Este canal conecta al Mar Caribe y al Océano Atlántico

4) en el norte de Cuba y La Florida está un tercer canal, El Estrecho de La Florida (**Figura 1A**; ancho=160 km/ $h_{m\acute{a}x}$ =-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 (**Figura 2**; ancho=24 km/ largo=161 km/ h =- 400-600 m)

5) la Depresión o Cuenca de Yucatán limita al norte con Cuba, a través de dos tipos de estructuras diferentes:

5.1) Isla de la Juventud, con figura aproximadamente circular (2.419 km^2 / $h_{m\acute{a}x}$ =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 este

5.2) Golfo de Batabanó (**Figura 1A**; h_{media} =- 6 m/ 20.850 km^2)

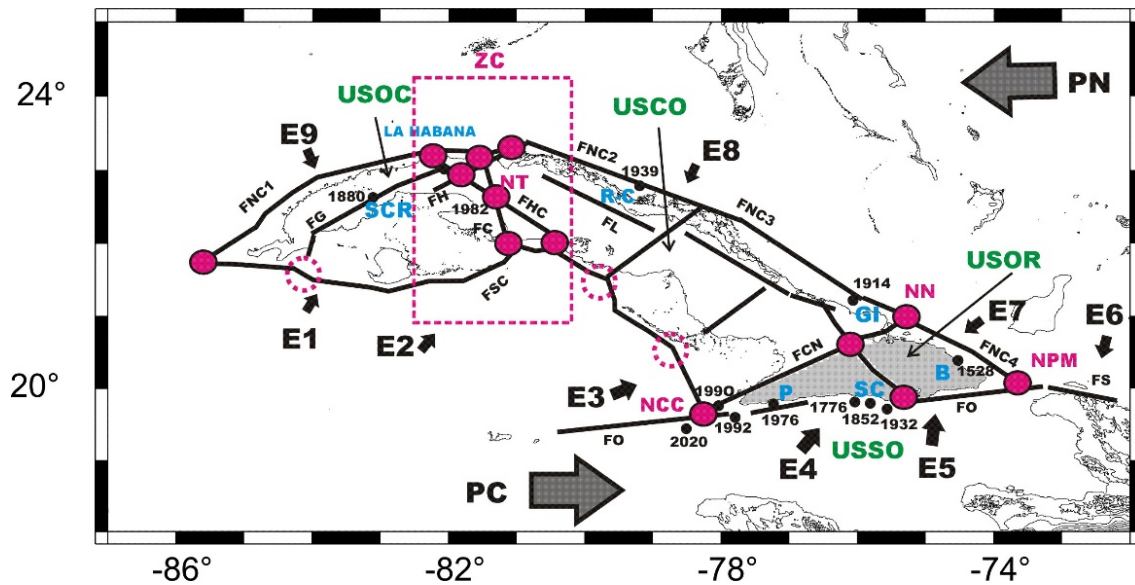


Figura 4.- Mapa sismotectónico de Cuba (modificada de Cotilla, 2014))

Aparecen: 1) Unidades sismotectónicas (letra verde: USOC=Occidental, USCO=Centro-Occidental, USOR=Oriental, USSOR=Suroriental); 2) fallas (línea negra: FC=Cochinos, FCN=Cauto-Nipe, FG=Guane. FH=Hicacos, FHC=Habana-Cienfuegos, FL=Las Villas, FNC=Nortecubana (con letra azul, segmentos: FNC-1), FO=Oriente (con letra azul, segmentos: FO), FS=Septentrional, FSC=Surcubana); 3) epicentros (círculo negro con año); 4) tensor $\bar{O}_{h_{m\acute{a}x}}$ (flecha negra gruesa y letra-número E1-9); 5) localidades (letra azul); 6) nudos (círculo y letra rojos: NCC=Cabo Cruz, NN=Nipe, NPM=Punta de Maisí, NT=Torriente-Jagüey Grande); 7) placas (PC=Caribe, PN=Norteamérica); 8) sentido de movimiento de las placas (flecha gruesa gris); 9) ZC=Zona de cambio estructural significativa (rectángulo discontinuo y círculo discontinuo, rojos).

6) al sur de Cuba:

- 6.1) el mencionado cambio del relieve submarino se corresponde con la dirección del alineamiento transversal NNW-SSE de la Bahía de Cochinos (**Figura 1A**), donde se indica el cambio estructural de las **figuras 3 y 4**
- 6.2) el segmento sur de Pinar del Río-Golfo de Batabanó-Isla de la Juventud es prácticamente a-sísmico, aunque tiene muchas deformaciones
- 6.3) 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 NW-SE, entre los Golfos de Ana María y Guacanayabo. Éste último se acuña sobre la dirección Caimán (**Figura 1B**)

7) las zonas de fracturas marinas principales tienen la dirección del megabloque cubano (**Figura 3**) y en ellas se ha determinado actividad sísmica:

- 7.1) SW-NE en Cuba norte occidental
- 7.2) NW-SE en el norte y el sur Cuba Centro-Oriental
- 7.3) NW-SE en el norte de Cuba Oriental
- 7.4) E-W en Cuba Suroriental

8) asociadas con esas fracturas hay sistemas de fallas transversales que definen segmentos e intersecciones activos (**Figura 4**):

- 8.1) 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
- 8.2) 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.

La mayoría de los terremotos registrados, por la red cubana de estaciones sísmicas, tiene un importante nivel de incertidumbre y éste es muy alto en las zonas occidental y septentrional (Cotilla *et al.*, 1991, 1996, 1997, 1998, 2007A; Cotilla-Rodríguez, 2013, 2017; y Cotilla, 2014, 2014A). Sin embargo, muchas de las localizaciones espaciales de los epicentros confirman la certidumbre de coincidir con la FNC, como se recoge en las figuras:

No. 4 de Cotilla (1998); No. 6 A-B-C de Cotilla (2014A); No. 2 de Cotilla y Álvarez (2001); No. 7 de Cotilla y Córdoba (2010); y No. 7 de Cotilla y Córdoba (2011A). Para la región nortoriental de Cuba, periodo 1984-1990, Cotilla-Rodríguez (1993) realizó un análisis sobre las determinaciones de la red cubana. Argumentó y representó en una serie de figuras la sismicidad de los segmentos:

1) Nuevitas-Puerto Padre-Bahía de Nipe

2) este de la Bahía de Nipe. El autor argumentó sobre la significativa diferencia de la sismicidad en ambos tramos de la FNC. Sostuvo que esta gran diferencia, incluido el “vacío” del este de la Bahía de Nipe, era “un espejismo”; ya que, eso fue por decisiones administrativas que excluyeron el análisis de los eventos de esa zona. Cotilla *et al.* (1998) utilizaron los registros de la red cubana (1988-1995) y determinaron que:

1) en la zona de la FNC, Nuevitas-Maisí, se habían producido 92 eventos (1988=19, 1989=12, 1990=17, 1991=8, 1992=5, 1993=14, 1994=9, 1995=8)

2) en los años 1988-1990 se registró la mayor parte de los eventos que aparecían en los catálogos cubanos. La explicación estaba en el funcionamiento de una importante red de estaciones sísmicas permanentes y temporales con el objetivo de investigar las áreas de posibles emplazamientos de una central electronuclear en las regiones Centro-Oriental y Oriental de Cuba

3) la profundidad de ocurrencia de los terremotos era de 2-40 km, con una variación en la frecuencia, cantidad, muy distinta por intervalos (0-10 km=51; 10-30 km=18; >30 km=3);

4) en los registros destacaba la importante cantidad de eventos someros

5) las magnitudes registradas fueron:

5.1) máxima=3,2

5.2) predominante <2,0. Esto confirma que son eventos débiles y someros. Chuy (1982) presentó un catálogo (1768-1980) que había tres sismos al norte de la provincia Holguín, inmediaciones de Cayo Moa-Punta Gorda (**Tabla 2**). Esos datos demuestran que la M es baja y la profundidad, con incertidumbre, puede ser >50 km. Moreno-Toirán (2002) estudió las determinaciones de la red cubana, para el periodo 1998-2000, y confirmó, sin mencionar, el argumento de

Cotilla *et al.* (1991) y Cotilla-Rodríguez (1993) en cuanto a que existe mayor sismicidad en el segmento oriental de la FNC, Bahía de Nipe-Punta de Maisí. En el entorno Moa, es un segmento donde, históricamente, han ocurrido algunos eventos y series sísmicas perceptibles en Holguín y Guantánamo. Esos terremotos se asociaron a la FNC. Cotilla *et al.* (1991C) determinaron, por primera vez, un nudo alineamientos principales (No. XXVI), en las inmediaciones de Moa, de tipo cortical y con $I_{m\acute{a}x}=5$ (su figura 4).

Tabla 2.- Terremotos de Cuba Septentrional (Chuy, 1982).

| Nº | Clase Energética (K)* | Profundidad (km) |
|----|-----------------------|------------------|
| 1 | 11 | >50 |
| 2 | 10 | 25-34 |
| 3 | 9 | ≤12 |

Nota: * (K=log E) fue usada en la URSS (Rautian, 1960) y equivale a magnitud (Rautian *et al.*, 2007). En la región cubana sus valores son bajos ($M \leq 3$).

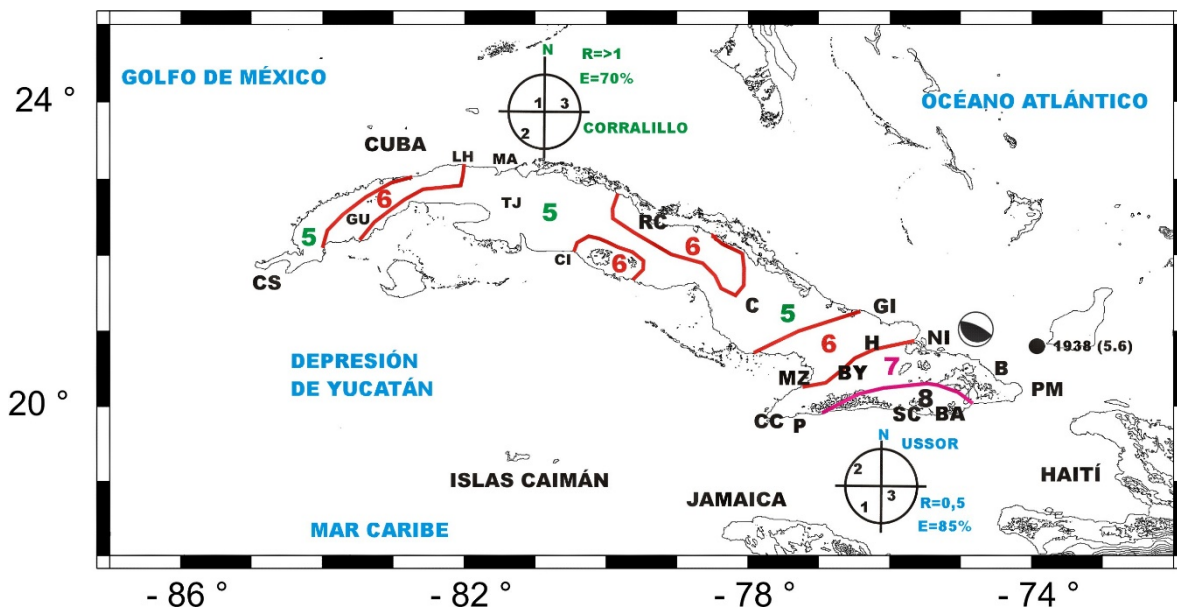


Figura 5.- Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba (modificada de Cotilla *et al.*, 1988)

Aparecen: 1) zonas de intensidad sísmica MSK (5-8); 2) localidades: B=Baracoa, BA=Baconao, BY=Bayamo, C=Camagüey, CC=Cabo Cruz; CI=Cienfuegos, CS=Cabo de San Antonio, GI=Gibara, GU=Guane, H=Holguín, LH=La Habana, MA=Matanzas, MZ=Manzanillo, NI=Nipe, P=Pilón, PM=Punta de Maisí; RC=Remedios-Caibarién, SC=Santiago de Cuba, TJ=Torriente-Jagüey Grande; 3) mecanismo de 1998 en Moa; 4) epicentro del 1938.11.10/ 15:23:30/ 5,6/ 20,70 74,10/ Grand Inagua; 5) Representación del tensor de esfuerzos principales (método de Rivera y Cisternas, 1989); Eje principal: 1=vertical, 2=máximo horizontal, 3=mínimo horizontal; Razón de esfuerzos: $R=O_2-O_1 / O_1-O_3$ (condición: $O_1 > O_3$); 5.1) Corralillo (color verde, Extensión Triaxial); 5.2) USSOR (color azul, Compresión Uniaxial-Cizalla).

Es de importancia indicar que Cristóbal Colón llegó a Moa (**Figura 1B**) el 21.11.1492:

- 1) denominó a la bahía como Santa Catalina
- 2) constató, sobre el terreno, que no había pobladores, y así lo reflejó en su Diario.

También es seguro que no hay datos de poblamiento, permanente, en Moa hasta fines del siglo XVIII; tampoco hubo habitantes en otras dos localidades vecinas:

1) Mayarí (1757)

2) Guantánamo (1796). Éste no es el caso de Baracoa (**Tabla 1**), por lo que todos los reportes de sismicidad perceptible en el sector norte, al menos hasta el siglo XVIII, no provinieron de Moa; pero, sí fueron atribuidos a Baracoa.

En un conjunto de tablas están agrupados los terremotos de dos periodos (histórico (**Tablas 3A-3C**) e instrumental (**Tablas 3D-3F**)) que se relacionan con la FNC. La datación de los históricos no es completa, por lo que su certidumbre es baja; mientras que para los del instrumental se tienen:

1) dos posibilidades con relación a las determinaciones por la red sísmica:

1.1) internacional (años 1914 y 1939)

1.2) de Cuba (1964-2014). Con la primera red se registraron los dos terremotos más fuertes, Gibara y Remedios-Caibarién; con la segunda se registraron los terremotos de 1914 y 1998, y la mayor cantidad de terremotos, todos de baja energía

Tabla 3A.- Terremotos históricos del segmento Occidental de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- |
|----|-----------|----------|-------------|----|------------|----------|-------------|----|----------|----------|-------------|
| 1 | 1810 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 8 | 1854 | - | 23,13 82,40 | 15 | 1879.08. | 4,2/-/20 | 22,78 83,45 |
| 2 | 1812 | 3,1/-/10 | 23,05 81,58 | 9 | 1859.10.4 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 16 | .09. | 4,2/-/20 | 22,78 83,45 |
| 3 | 1835 | - | 23,10 82,40 | 10 | 1862 | - | 22,79 83,42 | 17 | .12. | 4,2/-/20 | 22,78 83,45 |
| 4 | 1843.03.8 | - | 21,13 82,40 | 11 | | 2,5/-/10 | 23,13 82,40 | 18 | 1880 | - | 23,13 82,40 |
| 5 | .8 | - | 21,13 82,40 | 12 | 1862.08. | 2,5/-/10 | 23,13 82,40 | 19 | | 4,2/-/20 | 22,90 83,33 |
| 6 | 1849 | 3,3/-/15 | 22,71 83,06 | 13 | 1864.04.28 | - | 22,85 83,27 | 20 | 1895 | - | 22,34 84,39 |
| 7 | 1852 | 3,7./10 | 23,05 81,58 | 14 | 1878.12.1 | - | 22,85 83,27 | 21 | 1896 | 4,2/-/20 | 22,75 83,56 |

Notas: **1)** -1=-Fecha; -2=-M/ I (MSK)/ h (km); -3=-Coordenadas (N W). La leyenda se mantiene en las **tablas 3A-3F**; **2)** el símbolo * en las **tablas 3B y 3E** se corresponde con la localidad de Corralillo (provincias de Matanzas y Las Villas); **3)** el símbolo ** en la **tabla 3F** indica que el evento ocurrió en tierra emergida (Moa).

2) no se incluyen 31 réplicas del evento de 2014 en la **Tabla 3E**, por las importantes imprecisiones de las determinaciones (Cotilla-Rodríguez, 2017). Esto reafirma la presencia de la FNC y su actividad.

Tabla 3B.- Terremotos históricos de los dos segmentos Centrales de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- |
|----|------------|----------|-------------|----|------------|----------|-------------|-----|------------|----------|-------------|
| 1* | 1824 | 3,1/-/10 | 22,81 80,08 | 6 | 1853.12.28 | 3,2/-/15 | 21,00 76,20 | 10 | 1873.08.12 | 4,5/6/- | 22,48 79,55 |
| 2 | 1837.04.22 | 3,7/-/15 | 21,72 77,86 | 7 | 1858.03.7 | 3,5/-/10 | 22,48 79,55 | 11* | 1886 | 3,1/-/10 | 22,81 80,08 |
| 3 | 1852.02.14 | - | 21,00 76,20 | 8 | 1858.08.14 | 3,5/-/10 | 22,48 79,55 | 12* | .08.31 | 3,8/-/15 | 22,94 80,01 |
| 4 | .19 | - | 21,00 76,20 | 9 | 1859.08.15 | 3,1/-/10 | 22,48 79,55 | 13* | .09.3 | 3,4/-/15 | 22,94 80,01 |
| 5 | .27 | - | 21,00 76,20 | | | | | | | | |

Tabla 3C.- Terremotos históricos del segmento Oriental de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Observación |
|----|------|----------|-------------|-------------------------------------|
| 1 | 1528 | 5,0/6/10 | 20,50 74,50 | Primer reporte de terremoto en Cuba |

Tabla 3D.- Terremotos instrumentales del segmento Occidental de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- |
|----|------------|----------|-------------|----|------------|----------|-------------|----|------------|----------|---------------|
| 1 | 1907.02.19 | 3,7/-/10 | 23,13 82,40 | 10 | 1959 | - | 22,30 83,55 | 18 | 1978 | 2,5/-/- | 23,05 81,58 |
| 2 | .04.15 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 11 | .01.1 | - | 22,30 83,55 | 19 | .01.1 | 2,5/-/10 | 23,05 81,58 |
| 3 | 1919 | 2,9/-/20 | 22,29 84,29 | 12 | 1965 | - | 22,78 83,45 | 20 | .05.31 | 2,8/-/- | 23,50 82,10 |
| 4 | 1932 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 13 | 1970.04.27 | 3,1/-/10 | 23,05 81,58 | 21 | 1980.10.18 | 2,7/-/20 | 22,60 83,71 |
| 5 | 1941 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 14 | 1970.07.24 | 3,0/3/20 | 22,90 83,16 | 22 | 1981 | 2,8/-/20 | 22,90 83,16 |
| 6 | 1942.08.18 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 15 | .10.16 | 3,6/-/10 | 23,10 82,90 | 23 | .01.1 | 2,8/-/20 | 22,90 83,16 |
| 7 | .12.18 | 3,1/-/10 | 23,13 82,40 | 16 | 1973 | 2,8/-/20 | 22,66 83,58 | 24 | .11.11 | 3,9/-/15 | 22,16 84,10 |
| 8 | 1944.10.12 | 4,0/-/15 | 22,71 83,06 | 17 | .01.1 | 2,8/-/20 | 22,66 83,58 | 25 | 2003.10.10 | 4,4/-/10 | 23,149 84,966 |
| 9 | 1946 | 3,3/4/15 | 22,60 83,31 | | | | | | | | |

Tabla 3E.- Terremotos instrumentales de los segmentos Centrales de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- |
|-----|------------|-----------|-------------|----|-----------|----------|-------------|-----|-----------|----------|-------------|
| 1 | 1914.02.28 | 6,2/7/20 | 21,30 76,20 | 57 | .07.21 | 2,9/-/7 | 21,72 76,28 | 112 | 1089.9.29 | 1,8/-/5 | 21,83 76,19 |
| 2 | 1916.02.11 | 3,6/5/10 | 21,10 76,48 | 58 | .09.13 | 2,6/-/- | 24,07 76,97 | 113 | 1990.04.2 | 3,1/-/15 | 21,19 75,55 |
| 3 | 1939 | 3,0/-/15 | 21,12 76,13 | 59 | .18 | 1,2/-/1 | 20,97 76,62 | 114 | .07.19 | 2,4/-/5 | 22,47 78,47 |
| 4 | 1939.08.15 | 5,6/7/15 | 22,50 79,25 | 60 | .10.29 | 1,4/-/7 | 21,21 75,44 | 115 | .09.13 | 1,8/-/10 | 21,50 76,98 |
| 5 | 1947.05.9 | 3,2/-/10 | 22,66 76,03 | 61 | .31 | 2,6/-/7 | 21,96 76,13 | 116 | .10.4 | 1,2/-/2 | 21,39 76,47 |
| 6 | 1952.08 | 3,0/-/10 | 21,55 77,27 | 62 | .11.17 | 1,6/-/22 | 21,58 76,22 | 117 | 1991.2.17 | 2,6/-/05 | 21,90 76,11 |
| 7 | 1954.12.16 | 4,4/3/25 | 20,86 76,36 | 63 | .17 | 1,8/-/10 | 21,62 76,31 | 118 | .03.19 | 2,0/-/- | 21,56 76,30 |
| 8 | 1960.05.25 | 4,0 /-/15 | 22,58 79,48 | 64 | 1986.4.17 | 1,9/-/10 | 21,65 76,78 | 119 | .08.23 | 2,1/-/- | 21,45 76,10 |
| 9* | 1968 | 3,1/-/10 | 22,98 80,59 | 65 | .17 | 1,8/-/10 | 21,60 76,92 | 120 | 1992.8.18 | 1,8/-/5 | 22,08 77,07 |
| 10* | .01.1 | 3,1/-/10 | 22,98 80,59 | 66 | .18 | 2,4/-/5 | 21,16 76,47 | 121 | .09.25 | 3,5/5/15 | 22,65 79,40 |
| 11 | 1973.08.7 | 2,8/-/- | 21,55 77,27 | 67 | .09.6 | 0,1/-/2 | 21,24 76,40 | 122 | .25 | 2,5/4/15 | 22,69 79,30 |
| 12 | .10.8 | 4,3/-/- | 21,58 76,60 | 68 | .6 | 0,7/-/10 | 21,47 76,92 | 123 | 1993.3.22 | 3,0/-/20 | 21,24 76,38 |
| 13 | 1974.05.28 | - | 22,48 78,50 | 69 | .6 | 0,3/-/10 | 21,37 76,13 | 124 | .23 | 1,7/-/15 | 21,40 76,58 |
| 14 | .28 | - | 22,47 78,50 | 70 | .10.26 | 1,6/-/7 | 21,38 76,28 | 125 | .06.2 | 2,1/-/- | 21,80 77,70 |
| 15 | .08.28 | - | 21,50 76,50 | 71 | .11.10 | 0,7/-/12 | 21,83 76,08 | 126 | .3 | 2,3/-/3 | 21,68 77,67 |
| 16 | .28 | - | 21,90 78,15 | 72 | .12 | 0,9/-/5 | 21,32 76,23 | 127 | .17 | 2,0/-/- | 21,80 76,98 |
| 17 | .28 | - | 21,90 78,15 | 73 | .29 | 0,9/-/10 | 21,35 76,68 | 128 | .27 | 2,2/-/- | 21,76 77,49 |
| 18 | .28 | - | 21,50 76,50 | 74 | .12.24 | 2,0/-/5 | 21,81 77,63 | 129 | .11.10 | 1,5/-/5 | 21,05 76,05 |
| 19 | .28 | - | 21,90 78,15 | 75 | .24 | 1,8/-/7 | 21,93 77,60 | 130 | .30 | 1,9/-/40 | 21,50 76,57 |
| 20 | .28 | - | 21,90 78,15 | 76 | .25 | 0,9/-/2 | 21,83 77,57 | 131 | 1994.3.27 | 1,2/-/- | 21,40 77,16 |
| 21 | .28 | - | 21,90 78,15 | 77 | .25 | 1,8/-/5 | 21,87 77,58 | 132 | .09.28 | 1,4/-/10 | 21,58 76,90 |
| 22 | .28 | - | 21,90 78,15 | 78 | .25 | 1,8/-/2 | 21,89 77,70 | 133 | 1995.1.25 | 1,2/-/30 | 21,31 76,08 |
| 23 | .09.7 | - | 21,90 78,10 | 79 | .27 | 1,7/-/2 | 21,84 77,51 | 134 | .04.5 | 2,0/-/3 | 22,05 77,80 |
| 24 | .12 | - | 21,90 78,10 | 80 | 1987.2.21 | 0,9/-/5 | 20,51 76,16 | 135 | .06.29 | 1,9/-/8 | 21,19 76,08 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------|----------|-------------|-----|----------|----------|-------------|------|-----------|------------|-------------|
| 25 | .12 | - | 21,90 78,10 | 81 | .03.9 | 1,7/-/15 | 21,86 77,53 | 136 | 2000.10.7 | 5,0/-/ | 21,21 76,18 |
| 26 | .13 | - | 21,90 78,15 | 82 | .12 | 1,8/-/15 | 21,88 76,34 | 137 | 2003.02.6 | 1,9/-/ | 21,11 78,22 |
| 27 | .24 | - | 21,95 77,50 | 83 | .25 | 2,0/-/5 | 22,13 77,90 | 138 | .03.17 | 4,4/-/10 | 21,09 75,18 |
| 28 | .27 | - | 21,95 78,15 | 84 | .29 | 2,4/-/5 | 22,17 77,93 | 139 | .18 | 4,0/-/10 | 21,08 75,23 |
| 29 | .10.7 | - | 21,90 78,15 | 85 | .30 | 0,3/-/17 | 21,91 76,09 | 140 | .03.27 | 1,9/-/10 | 21,89 77,50 |
| 30 | .16 | - | 21,90 78,15 | 86 | .06.5 | 1,4/-/ | 21,83 77,26 | 141 | .04.1 | 2,2/-/ | 21,53 75,68 |
| 31 | .12.8 | - | 21,25 76,30 | 87 | .07.8 | 1,6/-/ | 21,97 77,44 | 142 | 2004.3.27 | 1,9/-/ | 21,50 75,65 |
| 32 | .18 | - | 21,20 76,45 | 88 | .8 | 1,6/-/ | 21,91 77,59 | 143 | .04.3 | 2,2/-/ | 21,51 75,63 |
| 33 | 1975 | 3,1/4/10 | 22,70 79,69 | 89 | .15 | 1,1/-/5 | 21,66 76,26 | 144 | 2005.3.18 | 4,0/-/10 | 21,08 75,23 |
| 34 | 1977.06.26 | - | 23,03 77,80 | 90 | .08.14 | 0,5/-/20 | 21,55 76,63 | 145 | 2006 | 4,0/-/ | 21,53 75,65 |
| 35 | .08.8 | 1,1/-/74 | 21,56 77,99 | 91 | .09.17 | 1,6/-/12 | 22,02 76,08 | 146 | .10 | 2,5/-/2 | 21,54 76,98 |
| 36 | .9 | 3,2/-/ | 21,08 76,28 | 92 | .28 | 1,6/-/ | 21,69 77,52 | 147 | .10 | 1,2/-/2 | 21,56 76,97 |
| 37 | 1977.10.7 | - | 22,35 76,10 | 93 | 1988.1.4 | 3,2/-/20 | 22,32 78,94 | 148 | .12 | 1,3/-/2 | 21,55 76,98 |
| 38 | 1980.03.11 | 3,6/-/12 | 21,28 76,48 | 94 | .14 | 2,7/-/10 | 21,15 76,01 | 149 | .20 | 0,9/-/5 | 21,58 76,98 |
| 39 | .07.12 | 1,4/-/27 | 21,11 75,59 | 95 | .03.8 | 1,5/-/2 | 21,56 76,99 | 150 | .11.14 | 2,6/-/12 | 21,15 76,07 |
| 40 | 1981.01.1 | 2,9/-/5 | 21,77 76,35 | 96 | .12 | 1,3/-/5 | 21,58 76,63 | 151 | .22 | 1,2/-/15 | 21,10 76,04 |
| 41 | .03.4 | 2,0/-/15 | 21,69 75,78 | 97 | .08.25 | 0,5/-/42 | 21,11 76,28 | 152 | .23 | 1,2/-/10 | 21,30 75,49 |
| 42 | 1982.08.25 | 1,2/-/2 | 21,30 76,65 | 98 | .31 | 0,9/-/7 | 21,61 76,99 | 153 | .23 | 1,9/-/2 | 21,10 76,05 |
| 43 | 1983.11.30 | 2,8/-/5 | 22,24 77,85 | 99 | .09.2 | 1,8/-/7 | 21,92 77,87 | 154 | .26 | 0,9/-/15 | 21,34 76,32 |
| 44 | .30 | 3,0/-/5 | 22,24 77,85 | 100 | .21 | 1,4/-/7 | 21,96 76,72 | 155 | 2007.6.10 | 4,0/-/21,1 | 21,42 75,31 |
| 45 | .30 | 3,1/-/5 | 22,20 77,83 | 101 | .21 | 1,1/-/5 | 21,59 76,96 | 156 | 2012 | 4,0/-/ | 21,50 75,63 |
| 46 | .30 | 3,0/-/5 | 22,20 77,83 | 102 | .22 | 1,7/-/2 | 21,61 76,91 | 157 | - | - | 21,51 75,65 |
| 47 | .30 | 2,4/-/5 | 22,20 77,83 | 103 | .23 | 3,2/-/2 | 21,62 76,76 | 158* | 2014.01.9 | 5,1/6/10 | 23,19 80,68 |
| 48 | .30 | 2,4/-/5 | 22,20 77,84 | 104 | .24 | 2,8/-/7 | 21,61 76,97 | 159* | .10 | 5,1/-/19 | 23,21 80,70 |
| 49 | 1984.08.6 | 1,3/-/10 | 21,01 76,63 | 105 | .24 | 1,6/-/7 | 21,56 76,97 | 160* | .10 | 3,9/-/ | 23,20 80,69 |
| 50 | .11.7 | 2,6/-/ | 22,51 79,47 | 106 | .10.9 | 1,3/-/2 | 21,56 76,93 | 161* | .14 | 3,7/-/ | 23,18 80,72 |
| 51 | .16 | 2,7/-/27 | 23,01 79,32 | 107 | 1989.6.7 | 1,4/-/27 | 21,26 76,81 | 162* | .02.5 | 4,3/-/12,6 | 23,17 80,21 |
| 52 | .22 | 3,1/-/20 | 22,96 79,64 | 108 | .07.6 | 2,3/-/7 | 21,53 77,00 | 163* | .03.9 | 4,7/-/ | 23,18 80,75 |
| 53 | 1985.05.13 | 0,9/-/12 | 21,65 76,23 | 109 | .08.7 | 1,6/-/10 | 21,66 76,95 | 164* | .30 | 4,2/-/15,7 | 23,11 80,70 |
| 54 | .14 | 0,9/-/7 | 21,52 76,36 | 110 | .09.11 | 1,5/-/5 | 22,00 76,15 | 165* | 2015.8.16 | 4,3/3/14 | 23.24 80,64 |
| 55 | .20 | 1,5/-/10 | 21,57 76,35 | 111 | .26 | 0,9/-/10 | 21,01 77,25 | 166* | 2017.7.30 | 4,4/5/10 | 23,15 81,45 |
| 56 | .06.13 | 1,8/-/5 | 21,68 76,28 | | | | | | | | |

Tabla 3F.- Terremotos instrumentales del segmento Oriental de la falla Nortecubana.

| Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- | Nº | -1- | -2- | -3- |
|----|------------|----------|-------------|----|------------|----------|-------------|------|------------|----------|-------------|
| 1 | 1920.11.4 | 2,8/4/10 | 20,66 75,27 | 38 | .30 | 1,6/-/20 | 21,20 75,37 | 75 | .26 | 2,7/-/20 | 22,50 75,20 |
| 2 | 1928.06.5 | 4,2/4/20 | 20,21 75,13 | 39 | 1987.01.23 | 1,4/-/10 | 21,12 74,00 | 76 | .12.3 | 2,4/-/8 | 20,90 74,72 |
| 3 | 1944.12.15 | 4,5/5/25 | 20,58 75,26 | 40 | .30 | 0,8/-/2 | 20,70 75,65 | 77 | 1992.1.6 | 0,5/-/18 | 19,80 75,40 |
| 4 | 1967.02.16 | -/4/- | 20,70 75,40 | 41 | .02.21 | 0,9/-/22 | 20,68 75,62 | 78 | .02.18 | 0,7/-/ | 22,73 75,57 |
| 5 | .16 | - | 20,70 75,40 | 42 | .05.2 | 0,7/-/5 | 20,93 75,60 | 79 | .03.4 | 1,0/-/10 | 21,26 75,44 |
| 6 | .16 | - | 20,70 75,40 | 43 | .2 | 0,6/-/2 | 20,85 75,79 | 80 | .20 | 1,5/-/5 | 20,62 74,62 |
| 7 | .16 | - | 20,60 75,30 | 44 | .06.5 | 0,6/-/27 | 20,80 75,70 | 81** | .20 | 4,2/4/18 | 20,60 74,83 |
| 8 | .16 | -/-/10 | 20,58 75,26 | 45 | .5 | 0,5/-/5 | 20,64 75,64 | 82 | .09.19 | 2,0/-/25 | 21,21 75,39 |
| 9 | .16 | -/-/10 | 20,58 75,26 | 46 | .08.12 | 1,0/-/5 | 20,57 74,38 | 83 | .11.6 | 1,2/-/20 | 21,62 75,88 |
| 10 | .16 | -/-/10 | 20,58 75,26 | 47 | .10.11 | 1,1/-/7 | 20,85 75,38 | 84 | 1993.1.23 | 1,4/-/ | 21,07 75,04 |
| 11 | .16 | - | 20,60 75,20 | 48 | .12.12 | 0,5/-/5 | 20,85 75,69 | 85 | .24 | 1,9/-/ | 20,96 75,29 |
| 12 | .17 | -/-/10 | 20,58 75,26 | 49 | 1988.02.10 | 2,0/-/10 | 21,43 75,94 | 86 | .04.9 | 2,2/-/20 | 21,26 75,38 |
| 13 | 1970.07.11 | 3,3/-/ | 21,60 74,10 | 50 | .06.7 | 1,4/-/15 | 21,93 75,61 | 87 | .06.8 | 2,9/-/5 | 21,09 75,68 |
| 14 | 1972 | 2,3/-/10 | 21,08 76,28 | 51 | .08.1 | 1,1/-/10 | 21,64 75,96 | 88 | .08.8 | 2,0/-/18 | 21,78 75,89 |
| 15 | 1973.02.21 | 1,7/-/14 | 20,07 75,87 | 52 | .29 | 0,6/-/5 | 21,11 75,92 | 89 | .10.8 | 2,3/-/40 | 21,30 75,50 |
| 16 | .22 | 1,5/-/12 | 20,12 75,83 | 53 | 1989.03.6 | 1,0/-/7 | 20,99 75,95 | 90 | 1994.11.29 | 2,3/-/13 | 21,20 74,40 |
| 17 | .11 | 4,3/-/ | 22,60 74,00 | 54 | .08.9 | 2,2/-/2 | 21,19 75,46 | 91 | 1995.3.20 | 1,1/-/ | 20,07 75,95 |
| 18 | 1974.08.28 | - | 21,90 75,60 | 55 | 1989.11.3 | 1,9/-/7 | 21,52 75,78 | 92 | .20 | 0,2/-/ | 20,10 75,96 |
| 19 | .28 | - | 21,90 75,60 | 56 | .12.1 | 1,6/-/5 | 21,55 75,98 | 93 | .07.10 | 1,9/-/8 | 21,17 75,79 |
| 20 | .09.29 | - | 21,50 75,30 | 57 | .2 | 1,4/-/10 | 21,06 75,33 | 94 | .11.22 | 1,2/-/5 | 21,09 76,14 |
| 21 | .12.6 | - | 21,90 74,35 | 58 | .3 | 1,4/-/10 | 21,15 75,17 | 95 | 1998.12.28 | 5,6/5/10 | 20,78 74,67 |
| 22 | 1977.08.25 | 3,8/-/74 | 21,18 74,90 | 59 | 1990.01.4 | 0,9/-/15 | 21,09 75,32 | 96 | .28 | - | Réplica |
| 23 | 1983.03.8 | 0,9/-/27 | 20,60 75,91 | 60 | .6 | 0,8/-/5 | 21,02 75,31 | 97 | .28 | - | Réplica |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------|----------|-------------|----|-----------|----------|-------------|-----|-----------|----------|-------------|
| 24 | .10.1 | 3,8/-/10 | 20,66 75,85 | 61 | .7 | 1,4/-/10 | 21,07 75,47 | 98 | .28 | - | Réplica |
| 25 | .23 | 2,1/-/5 | 21,05 75,37 | 62 | .9 | 1,4/-/2 | 20,91 75,35 | 99 | .28 | - | Réplica |
| 26 | 1985.06.12 | 1,6/-/10 | 21,56 75,63 | 63 | .11 | 1,3/-/32 | 21,01 75,23 | 100 | .28 | - | Réplica |
| 27 | .07.13 | 1,4/-/15 | 21,26 75,55 | 64 | .19 | 0,8/-/2 | 20,82 75,20 | 101 | .28 | - | Réplica |
| 28 | .08.7 | 1,4/-/10 | 21,00 75,47 | 65 | .19 | 0,5/-/1 | 20,74 75,00 | 102 | .28 | - | Réplica |
| 29 | .15 | 1,2/-/10 | 21,57 75,83 | 66 | .03.1 | 1,4/-/2 | 21,52 75,90 | 103 | .28 | - | Réplica |
| 30 | .09.1 | 1,9/-/10 | 21,00 75,48 | 67 | .27 | 1,5/-/2 | 20,52 74,00 | 104 | .28 | - | Réplica |
| 31 | 1986.01.10 | 1,2/-/12 | 21,50 75,70 | 68 | .04.2 | 1,2/-/10 | 20,64 76,81 | 105 | .30 | 3,6/-/13 | 21,05 74,61 |
| 32 | .02.15 | 1,2/-/1 | 20,59 75,59 | 69 | .06.25 | 1,4/-/2 | 21,52 75,93 | 106 | 1999.1.5 | 4,9/-/10 | 20,81 74,77 |
| 33 | .08.2 | 0,9/-/7 | 21,84 76,00 | 70 | .11.9 | 1,9/-/20 | 23,11 75,11 | 107 | .5 | 4,7/-/10 | 20,81 74,80 |
| 34 | .24 | 0,7/-/10 | 21,42 75,00 | 71 | .12.26 | 2,2/-/15 | 21,54 75,88 | 108 | 2005.3.18 | 4,0/-/10 | 21,08 75,23 |
| 35 | .10.6 | 0,5/-/5 | 21,20 75,59 | 72 | 1991.5.12 | 2,1/-/3 | 21,84 75,66 | 109 | 2007.6.10 | 4,0/-/21 | 21,42 76,31 |
| 36 | .8 | 1,6/-/7 | 20,98 74,99 | 73 | .08.6 | 2,2/-/10 | 20,74 75,52 | 110 | 2015.3.17 | 4,4/-/10 | 21,09 75,18 |
| 37 | .12.26 | 1,5/-/5 | 21,62 75,97 | 74 | .09.21 | 2,2/-/5 | 20,95 74,90 | 111 | .18 | 4,0/-/10 | 21,08 75,23 |

Las **tablas 3A-F y 4** muestran que la zona Central, en Corralillo, inmediaciones de las provincias de Matanzas y Las Villas (**Figura 1B**) tiene ocho terremotos, igual cantidad de históricos e instrumentales. Los datos históricos indican que el segmento occidental FNC1, Cabo de San Antonio-Punta de Hicacos, es el de mayor actividad sísmica. Pero, en el periodo instrumental es ése el de menor valor; mientras que los otros tres segmentos:

1) Central, Punta de Hicacos-Nuevitas FNC2

2) Centro-Oriental, Nuevitas-Bahía de Nipe FNC3

3) Oriental, Bahía de Nipe-Punta de Maisí FNC4, son los más activos. Los estimados del total de eventos respecto a los ocurridos por segmentos muestra los siguientes valores (históricos / instrumentales): FNC1=0,14; FNC2 y FNC3=0,52; FNC4=0,34. Así, son los dos segmentos centrales, Matanzas-Bahía de Nipe, con diferencia, los de más actividad. Las diferencias se justifican con:

1) la desigual interacción del Golfo de México y la Plataforma de Las Bahamas sobre el segmento FNC1

2) los tres tipos de corteza indicados en la **figura 3**. En el sector de la FNC1, Díaz-Aguirre (2011) asume una zonación tectónica de la Zona Económica Cubana (o área de trabajos) del Golfo de México [**ZEC-GM**] (su figura 1.2) que considera una secuencia paralela de bandas entre el oeste de Cuba y las inmediaciones de la provincia Las Villas. Sus elementos más relevantes son: el Cinturón Cabalgado de Cuba, la Cuenca de Antepaís, la Cuenca Sigsbee y el Talud de la Plataforma. Además, usa los resultados de Moretti *et al.* (2003) y Prol y Rifá (2006) del sector de Pinar del Río para mostrar, con dos perfiles paralelos SE-NW, la variación de estructural de la región, en los sentidos transversal y lateral. Ahí se

identifican las zonas mencionadas (su figura 3.2) y se observa que la complejidad es mayor de oeste a este. En particular su anexo A3 tiene el cambio de dirección de los plegamientos del NW-SE al W-E (inmediaciones de Habana-Matanzas). Esto coincide con nuestros datos sobre la modificación del proceso de deformación lateral de la FNC.

Tabla 4.- Resumen (**Tablas 3A-F**) de los terremotos asociados con la falla Nortecubana.

| Segmento/ rango M/ rango h (km) | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------|
| Terremotos | Occidental | Central | Oriental | Total | Años |
| Históricos | 21/ 2,5-4,2/ 10-20 | 13/ 3,1-4,5/ 10-15 | 1/ 5,0/ 10 | 35 | 408 |
| Instrumentales | 25/ 2,5-4,4/ 10-20 | 166/ 0,1-6,2/ 2-74 | 111/ 0,2-5,6/ 2-74 | 302 | 123 |
| Total | 46 | 179 | 112 | 337 | 530 |

Muy probablemente, Cuba ha sido el primer País en América donde se preparó un catálogo de terremotos (Poey, 1855). Cotilla (1999) evaluó la fiabilidad de los datos de Poey. Históricamente, se han publicado diferentes compilaciones de terremotos fuertes que sería prolijo enumerar. Aquí se destaca el catálogo de Álvarez *et al.* (1999), que cubre el periodo 1502-1999 para la región (16-24°N 67-86°W). Ésta es una evaluación crítica de las informaciones anteriores, incluidas las instrumentales y que luego se amplía hasta 2012 (Álvarez *et al.*, 2017). Los procedimientos usados para la actualización son parecidos a los del catálogo de base; pero aún no han sido publicados y están contenidos en Álvarez *et al.* (2015). Ahora se extiende el período, 2013-2018, pero limitado sólo a la zona de Cuba, donde las determinaciones de la red cubana son más fiables. Sin embargo, no se han realizado comparaciones con otras fuentes, por lo que se usa el número de estaciones que registraron los eventos, y como una medida de la precisión de las determinaciones. El procesado incluye el uso de técnicas para análisis con 1-3 y más estaciones; manual en los 3 primeros casos y manual o automatizado para el caso de más estaciones. Evidentemente, hay un importante error azimutal en los eventos de una sola estación, que son los de menor magnitud. Mientras que las determinaciones con 2-3 estaciones son más precisas. En general, ellos se usan para definir, aproximadamente, una macrozona fuente; pero no para el trazado, preciso, de fallas sismogeneradoras. Así, en la **figura 6** se presentan cuatro mapas de epicentros con igual cantidad de posibilidades de detección:

- A) 1 o más estaciones
- B) 2 o más
- C) 3 o más

D) 4 o más. Por lo tanto, es factible apreciar que:

- 1) las determinaciones están situadas únicamente en la banda septentrional de Cuba, donde la FNC
- 2) la cantidad de epicentros disminuye cuando aumenta el número de estaciones de registro
- 3) en todos los casos la mayor cantidad de epicentros está en el norte de la USOR, en el segmento FNC4
- 4) para el segmento FNC1, norte de la USOC, se evidencia que tiene el de menor nivel de magnitud.

La interpretación realizada de la ampliación del catálogo para la FNC (**Figuras 6A-D**) permite constatar que:

1) se mantiene todo lo comentado sobre las **tablas 3A-F** (500 años/ periodos histórico e instrumental) en cuanto a la magnitud, localización (coordenadas y profundidad) y densidad

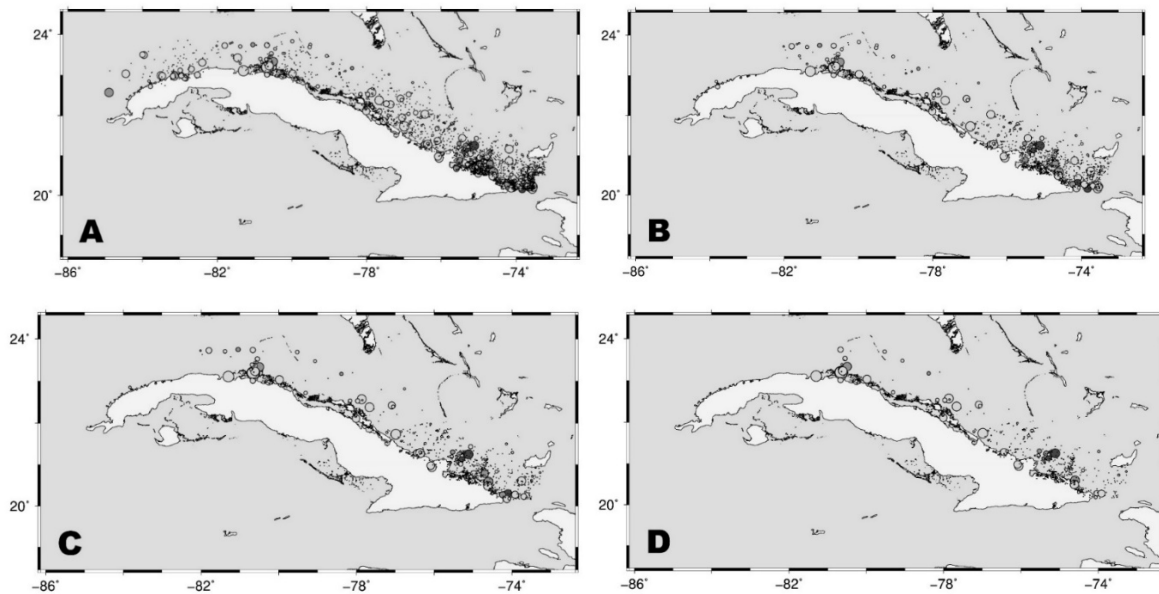


Figura 6.- Mapas de la sismicidad registrada (hasta 2018, CENAIIS)

Aparecen 4 posibilidades de determinación: **A)** 1 o más estaciones; **B)** 2 o más; **C)** 3 o más; **D)** 4 o más.

2) es una “ilusión” la interpretación de que es muy superior la actividad sísmica en el norte de la USOR (Comisión *Ad hoc*, 1991), ya que hay muchas más estaciones (**Figura 7**),

por lo que la detección es mucho mayor

3) la sismicidad se dispone sobre el trazo de la FNC

4) no es lo mismo la colisión de la provincia sismotectónica de Cuba con el Golfo de México, que con la Plataforma de Bahamas. Aunque en las interacciones participa la microplaca Caribe se diferencian por:

4.1) la interposición de la Cuenca de Yucatán (20° - $21,5^{\circ}$ N 81° - 84° W/ $220,5$ km²/ $h_{\text{máx}}=-4.600$ m) para el primer caso. Así se justifica la mayor cantidad de epicentros en los tres segmentos, FNC2-FNC4, comparados con el segmento pinareño, FNC1

4.2) las curvaturas SW-NE en Pinar del Río y NW-SE desde el este de La Habana

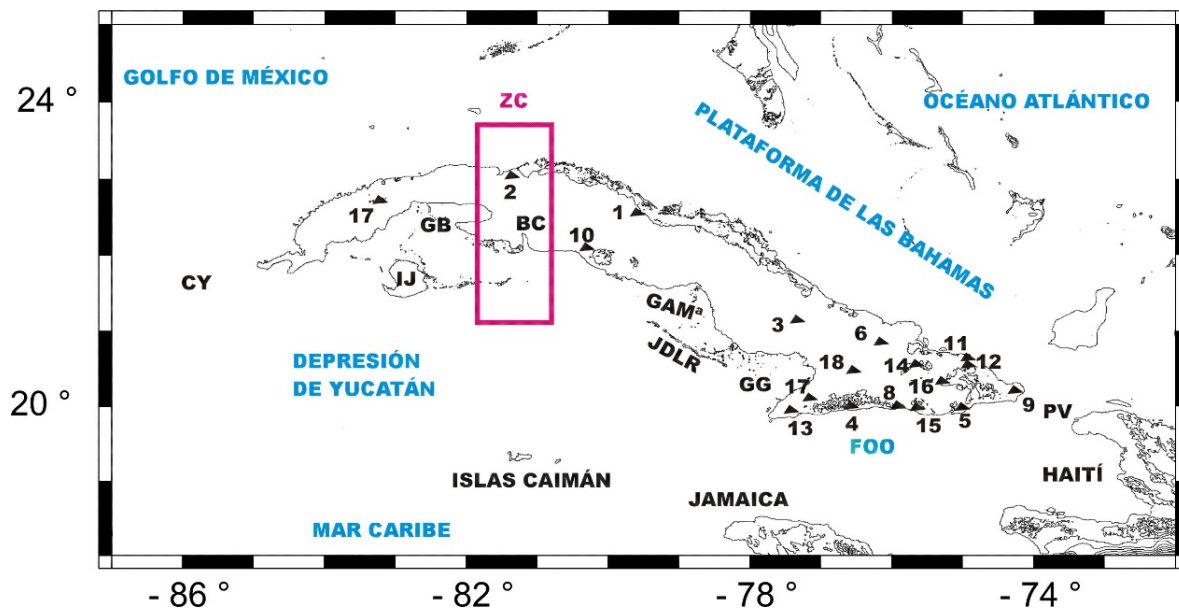


Figura 7.- Mapa de ubicación de las estaciones sismológicas permanentes (CENAI, 2018) Aparecen: 1) estaciones como triángulos negros y números (ver [Tabla 7](#)); 2) regiones: BC=Bahía de Cochinos, CY=Canal de Yucatán, FOO=Fosa de Oriente (color azul), GAMª=Golfo de Ana María, GB=Golfo de Batabanó, GG=Golfo de Guacanayabo, IJ=Isla de la Juventud, JDLR=Jardines de la Reina, PV=Paso de los Vientos; ZC=Zona de cambio estructural (color rojo con rectángulo).

5) se confirma la significativa actividad sísmica en la intersección de las fallas Cauto-Nipe y Nortecubana en Bahía de Nipe

6) es probable que desde el trasvase y el llenado embalse del sistema hidro-energético Toa-Duaba (norte de la USOR), en los años 90, haya actividad sísmica inducida en la zona

7) la [figura 6A](#) tiene muy alta densidad de epicentros al norte de la USOR. En ese

segmento FNC4 hay 3 agrupaciones significativas de epicentros

8) la **figura 6B** tiene igual tendencia de representación epicentral que la anterior. Los epicentros al norte de las provincias de Pinar del Río-La Habana “desaparecieron”, por ser en su inmensa mayoría registrados por una sola estación, Soroa. Desde La Habana y hacia el este se mantiene la actividad sísmica, que interpretamos está justificada por el cambio de dirección estructural y el importante número de fallas y fracturas en el sector La Habana-Matanzas

9) la **figura 6C** muestra una tendencia similar que la **figura 6B**, pero con menos actividad

10) la **figura 6D** mantiene, en la USOR, sólo la agrupación epicentral de Bahía de Nipe, como muy significativa, sobre el trazo de FNC4.

Los autores consideran que la sismicidad de Cuba:

1) puede interpretarse a partir de:

1.1) los datos, verificados, del poblamiento de la Isla

1.2) la posible asociación errónea de la perceptibilidad de terremotos históricos en la USOR, caso del segmento FNC4; pero, con origen en la USSOR, Cabo Cruz-Punta de Maisí, donde se produce el contacto directo de las placas Norteamérica y Caribe (**Figura 4**)

1.3) la, ya mencionada, incorrecta decisión administrativa durante el periodo instrumental 1988-1993, de excluir del análisis los registros del segmento FNC4 (Cotilla-Rodríguez, 1993)

2) se justifica por la transmisión de esfuerzos desde la zona límite de placas [ZLP] Caribe-Norteamérica hacia el norte (**Figura 4**). Como vimos anteriormente, hay importantes diferencias estructurales en perfiles transversales, sur-norte (Cotilla *et al.*, 1989; Cotilla y Álvarez, 1997; Cotilla y Córdoba, 2017) en el segmento:

2.1) Occidental están la Depresión de Yucatán (**Figuras 1A y B**), las morfoestructuras de Pinar del Río-La Habana, y la zona de colisión del Golfo de México

2.2) Central, la longitud del perfil es menor, y cubre desde el Centro de Dispersión de Corteza de Islas Caimán hasta la Plataforma de Bahamas (**Figura 1B**), cruzando las morfoestructuras de Matanzas-Las Villas-Camagüey

2.3) Oriental, es el más cercano a la zona de contacto de las placas y alcanza a la zona del este de Bahamas-Océano Atlántico, cruzando sobre las más morfoestructuras deformadas y con mayores niveles hipsométricos y actividad neotectónica, la USOR

3) define y decide en la placa de Norteamérica la actividad diferencial de la FNC, una neoestructura que se impone sobre las paleoestructuras -ya comentadas-.

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. En esa misma línea de razonamientos, 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 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 a la concentración-transmisión de esfuerzos desde las ZLP, como la USSOR (Cotilla *et al.*, 1991, 1997A, 2007; Cotilla-Rodríguez, 1993; Cotilla y Franzke, 1994; Cotilla y Udías, 1999; y Cotilla-Córdoba, 2017, 2018). 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 a la de las ZLP. Esto ha sucedido en Cuba (Cotilla, 1993, 1999; Cotilla *et al.*, 1997A, 1998, 2007; Cotilla y Franzke, 1999; Cotilla y Álvarez, 2001; y Cotilla y Córdoba, 2011). Esos especialistas configuraron 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.

Cotilla y Álvarez (1998), Cotilla y Córdoba (2010) y Cotilla *et al.* (1991A, 1993, 2019), entre otros especialistas, consideran que las estructuras de interior de la placa norteamericana

(región de Carolina del Sur-Golfo de México-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° - $29,5^{\circ}$ N 85° - 98° W/ 1.500 km^2 / $h_{\text{máx}}=-3,7 \text{ km}$) de figura aproximadamente circular y sismicidad de nivel bajo. La Florida-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 sureste de la placa de Norteamérica 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 $24^{\circ} 14' \text{ N } 76^{\circ} 00' \text{ W}$ ($\sim 14.000 \text{ km}^2$ / $h_{\text{máx}}=63 \text{ m}$ / largo=850 km/ ancho=270 km). El territorio insular de Las Bahamas se diferencia en dos segmentos longitudinales de oeste a este:

1) Plataforma de Bahamas, en la parte septentrional de Cuba Centro-Oriental

2) Banco de Bahamas al este de Cuba Oriental. El primero tiene la dirección NW-SE en la costa septentrional de Cuba Centro-Oriental 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.*, 1999). 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 de Norteamérica 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 de Norteamérica, 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, $h < 4,0 \text{ km}$. Ellas no guardan relación alguna con la Fosa de Oriente.

La selección de 22 referencias (**Tabla 5**) tiene estudios fiables (1907-2019), para distintas regiones, sobre:

1) los conjuntos de fallas, fracturas, configuración de bloques, transmisión de esfuerzos, ocurrencia de terremotos, y relación de terremotos con fallas y alineamientos

2) las particularidades energéticas de los terremotos y los segmentos de falla en las zonas de interior de placa y de entre placas

3) la segmentación de las fallas activas en arreglos espacio-temporales sobre la traza principal

4) la existencia de intersecciones de fallas y su vínculo con terremotos. Esto se ajusta, muy bien, a los datos de la FNC que Cotilla (2014), Cotilla y Córdoba (2010) y Cotilla *et al.* (1991) consideran los mejores. Con ellos sustentan, para el caso de Cuba, la ocurrencia de terremotos en zonas de intersecciones múltiples de alineamientos y fallas, y la transmisión de los esfuerzos tectónicos desde la ZLP Caribe-Norteamérica para conformar los bloques y celdas geodinámicas, como los mencionados anteriormente (Cotilla, 2014).

Tabla 5.- Selección de publicaciones con análisis sismotectónico.

| Nº | Autor (es) / (año) | Título y medio |
|----|--|---|
| 1 | Davison, C. (1907) | Seismotectonic lines ? <i>Nature</i> , 76, 18-19. |
| 2 | Mogi, K. (1967) | Earthquakes and fractures. <i>Tectonophysics</i> , 5(1), 35-55. |
| 3 | Zhidkov, M.P., Rotvain, I.M. y Sadowskii, A.M. (1975) | Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes. Intersecciones múltiples de lineamientos de la Meseta Armeniana. <i>Vichislitielnaya Seismologiya</i> , 8, 53-70 (en Ruso). |
| 4 | Segall, P. y Pollard, D.D. (1980) | Mechanics of discontinuous faults. <i>Journal of Geophysical Research</i> , 85(B8), 4.337-4.350. |
| 5 | Spiridonov, H. y Grigorova, E. (1980) | On the interrelation between seismicity and fault structures identified by space images interpretation. <i>Space Review in Bulgaria</i> , 3, 42-46. |
| 6 | Ouged, M., Meghraoui, M., Cisternas, A., Deschamp, A., Dorell, J., Frechet, J., Gaulon, R., Hatzfeld, D. y Philip, H. (1981) | Seismotectonics of the El Asnam earthquake. <i>Nature</i> , 292 (5818), 20-31. |
| 7 | López-Casado, C., Estevez, A., Pina, J.A. y Sanz de Galdeano, C. (1987) | Alineaciones sismotectónicas en el sureste de España. Ensayo de delimitaciones de fuentes sísmicas. <i>Estudios Geológicos</i> , 6, 5-38. |
| 8 | Philip, H., Rogozhin, E., Cisternas, A., Bousquet, J.C., Borisov, B. y Karakhanian, A. (1992) | The Armenian earthquake of 1988, December 7: Faulting and folding, neotectonics and paleoseismicity. <i>Geophysical Journal International</i> , 110, 141-158. |
| 9 | Schenckova, Z., Schenck, V., Pospissil, C. y Kottbauer, P. (1995) | Seismogeological pattern of transition area between the eastern Alps and the western Carpathians. <i>Tectonophysics</i> , 248, 235-245. |
| 10 | Leroy, S. y Mauffret, A. (1996) | Intraplate deformation in the Caribbean region. <i>Journal of Geodynamics</i> , 21(1), 113-122. |
| 11 | Cisternas, A. y Philip, H. (1997) | Recent great earthquakes of the Caucasus Region. En: Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus. Editores: D.Giardini y S.Balassanian. Kluwer Academic publishers, 39-77 pp. |

| | | |
|----|--|---|
| 12 | Arefiev, S., Rogozhin, E., Tatevossian, R., Rivera, L. y Cisternas, A. (2000) | The Neftegorsk (Sakhalin Island) 1995 earthquake: A rare interplate event. <i>Geophysical Journal International</i> , 143, 595-607. |
| 13 | Backmanov, D.M. y Rasskazov, A.A. (2000) | Recent faults in the junction area between the southern and central Urals. <i>Geotectonics</i> , 4, 25-31. |
| 14 | Polat O., Haessler, H., Cisternas, A., Philip, H., Eyidogan, H., Aktar, M., Frogneux, M., Comte, D. y Gurbuz, C. (2001) | The Izmit (Kocaeli) Turkish earthquake of August 17, 1999: Previous seismicity, aftershocks and seismotectonics. <i>Bulletin of the Seismological Society of America</i> , Special Izmit Issue, 92(1), 361-375. |
| 15 | Bankwitz, P., Schneider, G., Kämpf, H. y Bankwitz, E. (2003) | Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: Study case Cheb Basin (Czech Republic). <i>Journal of Geodynamics</i> , 35, 5-32. |
| 16 | Gracia, E., Pallas, R., Soto, J.I., Comas, M., Moreno, X., Masana, E., Santanach, P., Diez, S., Garcia, M. y Dañobeitia, J. (2006) | Active faulting offshore SE Spain (Alboran Sea): Implications for earthquake hazard assessment in the Southern Iberian Margin. <i>Earth Planetary Science Letters</i> , 241, 734-749. |
| 17 | Reicherter, K.R. y Hübscher, Ch. (2007) | Evidence for a seafloor rupture of the Carbonera fault zone (southern Spain): Relation to the 1522 Almeria earthquake? <i>Journal of Seismology</i> , 11, 15-26. |
| 18 | Trifonov, V.G. y Kozhurin, A.I. (2010) | Study of active faults: Theoretical and applied implications. <i>Geotectonics</i> , 44(6), 510-528. |
| 19 | Sherman, S.I. y San`kov, V.A. (2010) | Faulting and seismicity: Discussion of topical interdisciplinary. <i>Izvestiya, Physics of the Solid Earth</i> , 46(4), 364-366. |
| 20 | Imaeva, L.P., Imaev, V.S., y Koz'min, B.M. (2011) | Seismotectonic analysis of the Yana-Indigirka segment of the Chersky Zone. <i>Izvestiya Physics of the Solid Earth</i> , 47(12), 23-36. |
| 21 | Feld, Ch., Haberland, Ch., Schurr, B., Sippl, Ch., Wetzell, H-U., Roessner, S., Ickrath, M., Abdybachaev, U. y Orubaev, S. (2015) | Seismotectonic study of the Fergana region (southern Kyrgystan): Distribution and kinematics of local seismicity. <i>Earth, Planets and Space</i> , 40. |
| 22 | Imaneva, L.P., Imaev, V.S. y Koz'min, B.M. (2019) | Dynamics of the zones of strong earthquake epicenters in the Arctic-Asian seismic Belt. <i>Geosciences</i> , 9(4). |

Hemos determinado que las USOC y USCO (**Figura 4**) tienen registros documentados, de más de 900 terremotos perceptibles, en 1492-2017. En ese periodo hay sólo dos eventos de $M=6,2$, los más fuertes de los tramos histórico e instrumental, en la zona de SIP (**Tabla 4**). Ellos ocurrieron en San Cristóbal/ 1880 y Gibara/ 1914 (**Figura 2** y **Tabla 6**) (Cotilla, 2014). La distancia (km)/ tiempo (años) entre ellos es $\sim 825/ 34$. De considerar los terremotos más fuertes de Cuba Septentrional sobre la FNC (1914/ Gibara y 1939/ Remedios-Caibarién, **Figura 2** y **Tabla 6**) se tiene un menor valor de la relación $450/ 25$.

Tabla 6.- Datos de los tres terremotos más fuertes de Cuba Occidental y Cuba Central.

| Fecha/ Región | M/ I (MSK) | Coordenadas (N W) | Réplicas | Isosistas/ Epicentro en | Tipo/ Índice forma | Área (10^3 km^2) | Ruptura (km) | Falla |
|-----------------------------|------------|-------------------|----------|-------------------------|--------------------|------------------------------|--------------|-------|
| 1880.01.23/ Occidental | 6,2/ 8 | 22,70 83,00 | 65 | SI/ Tierra | completa/ 0,68 | 40 | 35 | G |
| 1914.02.28/ Centro-Oriental | 6,2/ 7 | 21,30 76,20 | 9 | SI/ Mar | media/ 0,75 | 25 | 15 | NC |
| 1939.08.15/ Central | 5,6/ 7 | 22,50 79,25 | 24 | SI/ Mar | media/ 0,71 | 19 | 20 | NC |

Nota: G=falla Guane, NC=falla Nortecubana.

Los terremotos de San Cristóbal y Gibara se asocian con dos estructuras activas diferentes: la falla Guane (Cotilla y Córdoba, 2011; Cotilla, 2016) y la FNC, respectivamente

(Figura 4). Ellos fueron perceptibles en la Florida (distancia en km: San Cristóbal~600 y Gibara~900). Pero, se diferencian por:

1) estar en las Unidades Neotectónica Occidental y Central, respectivamente (Figura 3)

2) tener los epicentros en dos zonas geomorfológicas distintas (Figuras 1B, 2 y 4):

2.1) en el interior de la Isla (San Cristóbal)

2.2) en la zona marina septentrional (Gibara)

3) estar en 2 bandas de perfiles transversales distintos con relación a la ZLP, el Occidental y el Central, respectivamente; ya antes comentados

4) las isosistas confeccionadas (Álvarez *et al.*, 1985) se ajustan, perfectamente, a las zonas de fallas (Guane y Nortecubana), aunque se distinguen por la figura; completa en San Cristóbal y de mitad sur en Gibara

5) las áreas de perceptibilidad. En San Cristóbal es mayor que en Gibara (Cotilla, 2016; Cotilla y Córdoba, 2011A)

6) la cantidad de réplicas. Gibara tiene menor número que San Cristóbal

7) el valor estimado para la ruptura del foco. Así resulta ser que el de 1914 es inferior al de 1880 (Tabla 6)

8) las pérdidas económicas en San Cristóbal fueron muy importantes (~10⁶ USD) e insignificantes en el de Gibara.

De otra parte, los terremotos de 1931.10.1 y 1939.08.15 (Figuras 3 y 4) en la FNC produjeron sendos tsunamis locales en las costas de Playa Panchita y Remedios-Caibarién (Cotilla, 2011; Cotilla y Córdoba, 2011, 2018). Esta información es una guía, aproximada, para considerar un mecanismo de falla normal o inversa en el segmento FNC2. Sin embargo, el terremoto de Gibara con magnitud (M=6,2) muy superior a los dos antes mencionados sobre la misma falla, pero en el segmento FNC3, no produjo tsunami.

La ausencia y poca cantidad de estaciones sísmicas permanentes en Cuba Occidental y Central ha limitado, siempre, la detección de terremotos débiles (Cotilla, 1998; Cotilla *et al.*, 1991). En la tabla 7 hay una relación de 18 estaciones que funcionaban en 2018 (Figura 7).

Tabla 7.- Estaciones sismológicas permanentes de Cuba (diciembre 2018; modificado de <http://www.cenais.cu>).

| Nº | Siglas | Fecha | Localidad (Provincia) | Coordenadas (N / W) | Equipamiento |
|----|--------|-------|------------------------------|---------------------|------------------------------|
| 1 | SOR | 1964 | Soroa (Artemisa) | 22,7932 83,008598 | BBVS-60s (EDAS-24IP) |
| 2 | RCC | 1965 | Río Carpintero (S. de Cuba) | 19,995001 75,696503 | Trillium 120P (Taurus) |
| 3 | LMGC | 1979 | Las Mercedes (Granma) | 20,0646 77,004501 | BBVS-60s (EDAS-24IP) |
| 4 | MASC | 1979 | Maisí (Guantanamo) | 20,175501 74,231201 | BBVS-60s (EDAS-24IP) |
| 5 | PIN | 1979 | Pinares de Mayarí (Holguín) | 20,4856 75,791603 | FSS-3M 2s (EDAS-24IP) |
| 6 | CCCC | 1982 | Cascorro (Camagüey) | 21,193399 77,417297 | Trillium 120P (Centaur) |
| 7 | HLG | 1985 | El Paraíso (Holguín) | 20,920046 76,236176 | Trillium 120P (Centaur) |
| 8 | MGV | 1999 | Manicaragua (Villa Clara) | 22,1194 79,979599 | BBVS-60s (EDAS-24IP) |
| 9 | MOAC | 1999 | Universidad de Moa (Holguín) | 20,6654 74,955002 | FSS-3M 2s (EDAS-24IP) |
| 10 | SAB | 1999 | Sabaneta (Guantánamo) | 20,362301 75,313599 | FSS-3M 2s (EDAS-24IP) |
| 11 | YAR | 1999 | El Yarey (Granma) | 20,357862 76,36306 | FSS-3M 2s (EDAS-24IP) |
| 12 | GTMO | 2001 | Malones (Guantánamo) | 19,9583 75,059097 | FSS-3M 2s (EDAS-24IP) |
| 13 | CHIV | 2002 | Chivirico (Santiago de Cuba) | 19,97648 76,415131 | Trillium Comp.120s (Centaur) |
| 14 | CAIB | 2016 | Caibarién (Villa Clara) | 22,497055 79,47097 | Trillium Comp.120s (Centaur) |
| 15 | CAMR | 2016 | Camarioca (Matanzas) | 23,061737 81,370857 | Trillium 120P (Taurus) |
| 16 | NMDO | 2016 | Nuevo Mundo (Holguín) | 20,55982/ 74,982674 | Trillium 120P (Centaur) |
| 17 | PILO | 2016 | Pilón (Granma) | 19,91395 77,408806 | Trillium Comp.120s (Centaur) |
| 18 | MARV | 2017 | Mar Verde (S. de Cuba) | 20,005285 75,906555 | Trillium Comp.120s (Centaur) |

Notas: **1)** Todas las estaciones se modernizaron y sustituyeron los equipos originales, soviéticos y alemanes; **2)** hay 5 periodos de instalaciones (decadas: 1960 (2), 1970 (3), 1980 (2), 1990 (4), y 2000 (7)); **3)** es significativo el incremento de la inversión económica; **4)** destaca la mejora de la detección de terremotos; **5)** en la *web* citada se presentan varias estaciones por instalar.

Sin embargo, aunque la red del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas [CENAI] ha mejorado no es suficiente para cubrir por completo el territorio cubano. Al analizar la [tabla 4](#) se observa que:

1) los intervalos de magnitud y profundidad:

1.1) son similares en los periodos histórico e instrumental para FNC1

1.2) difieren en los otros tres segmentos de la FNC

2) la mayor cantidad de eventos determinados, 179, está en los dos segmentos centrales, FNC2 y FNC3. Esto coincide con los resultados de Cotilla-Rodríguez (1993) comentados anteriormente. El valor, de 179 eventos, supera al determinado en FNC4, donde ha estado, siempre, la mayor cantidad de estaciones sísmicas

3) el número de eventos asociados con la FNC1 es muy bajo, 46. Sin embargo, se aprecia, muy bien, que hay diferencias en la actividad sísmica de la FNC.

Se puede asegurar, sobre la FNC ([Tabla 4](#)), que:

- 1) hasta el momento no se ha producido un terremoto similar al de 1914
- 2) existe una anomalía sismogénica que se interpreta a partir de la comparación:
 - 2.1) del orden de la magnitud del evento principal: Moa (1998.12.28/ $M=5,6$) y Corralillo (2014.01.9/ $M=5,0$)
 - 2.2) de la magnitud, la cantidad y el área de las réplicas del evento principal, en 2 zonas diferentes FNC4 (Moa) y FNC2 (Corralillo) (**Figura 1B**): $M \leq 0,5$ / 9 réplicas/ $\sim 90 \text{ km}^2$ y $M=0,5-3,9$ / 39 réplicas/ $\sim 170 \text{ km}^2$, respectivamente
- 3) en las inmediaciones de Corralillo se trabaja en las tareas de petróleo y gas, pero no en Moa
- 4) los eventos de Corralillo son de naturaleza antrópica, mientras que los de Moa resultan por la actividad natural. A esto se dedicará un epígrafe.

Está constatado que los territorios de Las Bahamas y las Islas Caimán tienen mayor peligro por ciclones y huracanes que por terremotos (Cotilla *et al.*, 1997B; Cotilla y Córdoba, 2018). 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 (**Tabla 8**). 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 (Cotilla *et al.*, 2019). 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 Pensacola (**Tabla 9**)
- 1.2) otros eventos cercanos y recientes son: 2002/ 4,2 y 3,5; 2006.09.10/ 5,8/ $h=10 \text{ km}$ / W-SW 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.* (1987) 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 N de Cuba y la Plataforma-Banco de Las Bahamas-La 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/ 5:47:56/ 20,378 72,197/ 25,0/ 6,6/ VI/ epicentro N de Haití. Esto es un hecho indiscutible y de importancia sismotectónica. Sin embargo, de Gutenberg y Richter (1954) se ubica el terremoto de 1938.11.10/ 15:23:30/ 5,6/ 20,70 74,10 en *Grand Inagua*. Este evento tiene el mismo valor de magnitud que el terremoto de Moa de 1998.

Tabla 8.- Algunos terremotos de Las Bahamas (USGS).

| Fecha | M | Coordenadas (N / W) | h(km) | Fecha | M | Coordenadas (N / W) | h(km) |
|------------|-----|---------------------|-------|------------|-----|---------------------|-------|
| 1992.02.22 | 3,2 | 26,356 78,888 | 10 | 2018.10.26 | 4,5 | 23,079 79,468 | 10 |
| 2012.11.12 | 3,8 | 22,947 70,252 | 10 | 1978.04.15 | 4,6 | 29,690 67,392 | - |
| 2003.10.28 | 4 | 21,256 70,806 | 10 | 2007.12.27 | 4,6 | 27,679 71,076 | - |
| 2001.04.21 | 4,1 | 29,689 67,542 | - | 1987.02.8 | 4,7 | 29,737 67,500 | - |
| 2016.04.16 | 4,1 | 20,908 72,405 | 10 | 1998.06.30 | 5,1 | 22,265 69,830 | 39,7 |
| 2008.07.8 | 4,2 | 20,413 71,936 | 27 | 2002.01.12 | 5,4 | 28,279 69,566 | - |

Tabla 9.- Resumen de los terremotos de La Florida.

| Fecha | M | Coordenadas (N / W) | h(km) | Fecha | M | Coordenadas (N / W) | h(km) |
|------------|-----|---------------------|-------|-----------|-----|---------------------|-------|
| 2019.03.13 | 2,2 | 31,012 87,178 | 5 | 2019.03.7 | 2,7 | 30,943 87,194 | 5 |
| .13 | 2,3 | 31,011 87,227 | 5 | .24 | 2,7 | 30,973 87,232 | 5 |
| .04.11 | 2,5 | 31,082 87,216 | 7 | .04.11 | 2,8 | 31,091 87,194 | 8 |
| .04.12 | 2,6 | 30,099 87,342 | 5 | .03.11 | 3,1 | 31,016 87,208 | 5 |

Otra estructura lineal de interior de placa en Cuba es la falla Surcubana, que:

1) se extiende, por el S, desde el Cabo de San Antonio (en el oeste) a las inmediaciones de Manzanillo y Cauto-Nipe (en el este) en paralelo a la FNC, y con una longitud similar (**Figuras 3 y 4**)

2) es también una estructura de la placa de Norteamérica, y el límite sur del megabloque en sus partes Occidental y Central

3) tiene una morfología muy irregular con la presencia de una inflexión, muy importante, en las inmediaciones de la falla Cochinos, donde está la principal zona de cambio estructural. Algunas de las inflexiones se relacionan espacialmente con fallas transversales

4) tiene asociados 81 terremotos del periodo 1824-1985 (entre ellos: $M_{\text{máx}}=5$ / 1846.04.28, 1846.09.10, 1847.04.18, 1909.01.24, 1943.07.-, 1943.07.30, 1946.04.28, y 1949.11.23 (Álvarez *et al.*, 1999)); y uno registrado por el USGS: 2005.10.22 ($M=4,1$ / 12:13:15/ 21,843 80,918/ $h=10$ km/ ninguno con tsunami local/ sin fallecidos)

5) en comparación con la FNC una actividad sísmica asociada muy inferior y se localiza, la mayor parte, al este de la zona del cambio estructural (**Tablas 3A-F y 4**).

Otras zonas aledañas a Cuba (Depresión de Yucatán, Golfo de México y Las Bahamas) también están en la placa de Norteamérica (**Figuras 1A y B**). Según Rosencratz (1990) el margen de Yucatán no tiene movimiento relativo, respecto a Cuba, desde el Post Terciario y es asísmico. Cotilla-Rodríguez (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 78,888/ 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 (**Tabla 10**). Los datos demuestran que la SIP de la FNC no es una excepción.

Tabla 10.- Selección de terremotos del sur y sureste de Estados Unidos de Norteamérica (USGS).

| Fecha | M / I (Mercalli) | Localidad | Fecha | M / I (Mercalli) | Localidad |
|------------|------------------|---|------------|------------------|--------------------|
| 1886.08.31 | 7,3/- | Charleston/ 60 muertos/ 5-6.10 ⁶ USD | 1913.01.1 | -/ VII | Summerville |
| 1903.01.23 | -/ VI | Carolina del Sur | 1914.09.22 | -/ V | Summerville |
| 1907.04.19 | -/ VI | Anguita | 1914.10.20 | -/ VI | Condado de Pickens |
| 1912.06.12 | -/ VI | Summerville | 1945.07.26 | -/ V | Lago Murray |

Álvarez *et al.* (1985, 1990) y Cotilla-Rodríguez (1993) estudiaron las determinaciones epicentrales, de las agencias internacionales, para Cuba. Desde los inicios y hasta la década de 1980 las determinaciones fueron imprecisas. Esto se ejemplificó, principalmente, con dos terremotos 1976.02.19/ $M_s=5,7$ / Pión, USSOR, y 1982.12.16/ $M_s=4,5$ / Torriente-Jagüey Grande, USOC (**Figura 4**). En la actualidad hay un gran desarrollo instrumental y de programas de cómputo que repercuten en la mejora de las determinaciones; pero esto aún es insuficiente para los eventos de baja energía que se producen en Cuba Occidental y Cuba Central, como se dijo anteriormente. En el caso del terremoto de 2014 en Corralillo se preparó la **tabla 11**, con los datos de tres redes internacionales (USGS, GEOFON y EMSC), y en la **figura 3** se ha representado la solución del Tensor Momento Sísmico del USGS.

Tabla 11.- Datos de tres fuentes internacionales para tres terremotos del año 2014 en Corralillo.

| Fuente | Mes.Día | Hora | M | h (km) | Coordenadas (N W) | Fuente | Mes.Día | Hora | M | h (km) | Coordenadas (N W) |
|--------|---------|----------|-----|--------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|--------|-------------------|
| USGS | 02.05 | 3:19:32 | 4,3 | 12 | 23,168 80,821 | USGS | 09.01 | 20:57:43 | 5,0 | 10 | 23,182 80,728 |
| GEOFON | | :38 | 4,4 | 12 | 23,21 80,70 | GEOFON | | :44 | 5,0 | 10 | 23,23 80,76 |
| EMSC | | :31 | 4,4 | 14 | 23,25 80,69 | EMSC | - | - | - | - | - |
| USGS | 03.09 | 11:26:18 | 4,7 | 9 | 23,183 80,751 | Fuente | Mes-Día | Plano N1 | Plano N2 | | |
| GEOFON | | :18 | 4,7 | 10 | 23,27 80,69 | USGS* | 09.01 | 113 25 -88 | 291 65 -91* | | |
| EMSC | | :18 | 4,8 | 10 | 23,17 80,77 | GEOFON | | 107 38 -93 | 281 52 -93 | | |

Nota: * aparece en la **figura 3**.

En: 1) Cotilla (1998) hay un análisis de 28 mecanismos focales de los terremotos en Cuba (su tabla 4) realizados por distintos autores, incluido el autor, como: Sykes y Ewing (1965), Molnar y Sykes (1969), Kafka y Weidner (1980), Mocquet (1984) y Perrot *et al.* (1997)

2) Álvarez *et al.* (1999A) se hizo una compilación de ellos hasta 1984

3) Van Dusen y Doser (2000) se presenta un conjunto de nuevas determinaciones de mecanismos focales.

En ninguno de ellos aparecen mecanismos de la falla Nortecubana; los únicos están en Moreno (2002) para el segmento FNC4, y que fueron determinados por:

1) GCMT con el terremoto de 1998.12.28 (de tipo normal, orientado paralelo a la costa) **(Figura 5)**

2) Moreno-Toirán (2002) en su figura 10, con tres mecanismos de falla inversa y dirección del eje principal 200° - 220° . Pero, esa dirección no se ajusta, exactamente, a la del segmento FNC4.

Posteriormente, sobre esa misma falla, pero en la parte occidental FNC2, inmediaciones de Corrarillo, se produjo la serie de terremotos de 2014-2017. Esa actividad sísmica propició tres resultados:

1) USGS (2014A) dio un mecanismo de falla normal, con dirección, aproximada, de la estructura principal de 280° , que se corresponde con la falla FNC2. Las determinaciones de USGS y GEOFON coinciden, plenamente, en el mecanismo (**Tabla 10**). Esa fue la propuesta teórica de Cotilla *et al.* (1991) y Cotilla-Rodríguez (1993) en cuanto al tipo de falla para ese segmento de la FNC

2) Arango-Arias *et al.* (2017) determinan el tensor de momento del terremoto principal

3) Braunmiller *et al.* (2019) determinan el tensor de momento del evento principal y sus seis réplicas principales, así como de otros cuatro eventos, dos de ellos en la falla Nortecubana. Esos dos grupos de autores no publicaron las informaciones sobre las componentes del tensor, sino que indicaron la solución del mejor doble par de fuerzas asociado. Los datos en ambos casos fueron obtenidos, por cortesía, de J.Braunmiller y O.González. En la **figura 8** están las soluciones de nuestro interés. Nuestra opinión es que la variedad de soluciones focales se justifica por el cambio estructural de la zona y la red de estructuras secundarias asociadas. También consideramos que:

1) el evento de 2012.11.20 no forma parte de la serie por:

1.1) estar muy alejado, al este, del evento principal, y del resto de la serie de réplicas; casi al doble de distancia del más alejado al oeste, inmediaciones de la bahía de Matanzas

1.2) localizarse en tierra firme, inmediaciones de la localidad de Perucho Figueredo (entre Rancho Veloz y Sagua la Grande) (**Figura 1B**), y aparentemente estar, espacialmente, más relacionado con la falla Las Villas (**Figura 4**)

1.3) no lo registraron las redes internacionales

2) de acuerdo con la tabla IV de Arango-Arias *et al.* (2017) -Comparación de los resultados obtenidos utilizando el modelo de velocidades de la estación de Manicaragua (SSN 1), Cuba Oriental (SSN 2), el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y programa GEOFON del GFZ)- se ve que los cuatro resultados son similares para el terremoto de 2014.09.1.

Cotilla (1998), Cotilla y Córdoba (2011B, 2017), Cotilla *et al.* (2007, A, 2019) aplicaron el método de Rivera y Cisternas (1989) a las poblaciones de mecanismos en diferentes zonas del Caribe. Ahora para la USSOR de Cuba (**Figura 5**) se presenta el dato de Cotilla *et al.* (2007A) de la solución única correspondiente del tensor de esfuerzos y de su forma. En la misma figura está el resultado obtenido para Corralillo que es de tipo falla normal y dirección NW-SE. Las dos esferas muestran, entre otras cosas:

- 1) diferentes regímenes tectónicos
- 2) que el plano de falla asociado para Corralillo se corresponde con la FNC.

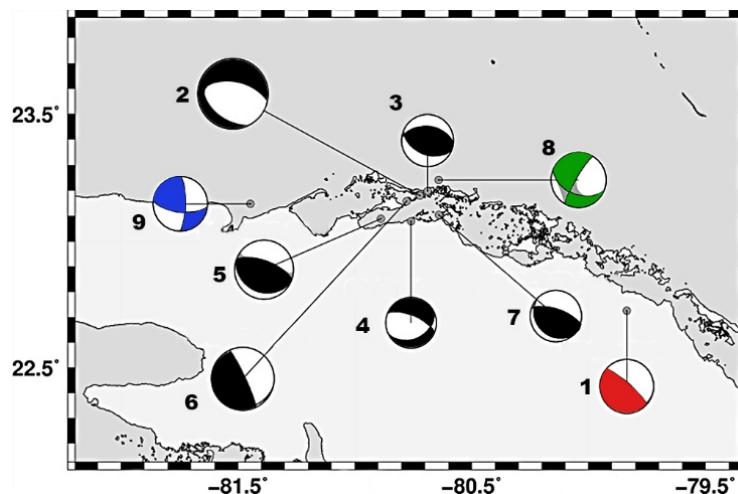


Figura 8.- Tensores de momento y planos de fallas (modificada de Braunmiller *et al.*, 2019) Aparecen: **1)** ocho tensores de momento con soluciones de plano de falla superpuestas asociados a la falla Nortecubana, inmediaciones de Corralillo (2-9); **2)** cada uno tiene la fecha y el tiempo (1=2012.11.20_00:19 (color rojo)/ en color negro: 2=2014.01.09_20:57, 3=2014.01.10_02:25, 4=2014.01.10_11:23, 5=2014.02.05_03:09, 6=2014.03.09_11:26, 7=2014.03.30_21:50/ 8=2015.08.16_11:47 (color verde)/ 9=2017.07.30_03:41 (color azul)); **3)** la solución del terremoto de 2014.01.9 es de Arango-Arias *et al.* (2017) y las otras 8 soluciones son de Braunmiller *et al.* (2019).

La **figura 5** es una regionalización de la sismicidad de Cuba en ocho zonas y cuatro niveles de intensidad sísmica (MSK), de 5 a 8 grados, para T=100 años. Los valores de intensidad:

1) 7-8 están en la USOR

2) 5 aparecen, extensamente, en las USOC y USCO, al oeste de la estructura transversal Cabo Cruz-Nipe. Los valores I=7-8 se explican por la gran influencia de los terremotos de la zona de entre placas. Hay cuatro zonas con I=6 que se corresponden con las fallas:

2.1) Cauto-Nipe, Nortecubana y Oriente en el segmento Gibara-Manzanillo

2.2) Nortecubana y Las Villas, en el segmento de Remedios-Caibarién

2.3) Guane, en la falla homónima

2.4) Habana-Cienfuegos y Surcubana, en el segmento sur entorno a Cienfuegos.

Sobre la base de los datos y el análisis anterior, se considera que, dados:

1) la muy baja sismicidad del entorno de Baracoa, desde 1528

2) la significativa y demostrada sismicidad (magnitud y frecuencia) de Moa y su entorno (M=5,1)

3) los terremotos de Moa se han percibido en Holguín y Guantánamo

4) Moa estuvo prácticamente deshabitada hasta fines del siglo XVIII

5) la distancia de ~70 km entre Moa y Baracoa, es posible “relocalizar” el evento de 1528 (**Tabla 3C**) de Baracoa en Moa (**Figura 9**).

De acuerdo con nuestros estudios se destacan varios terremotos perceptibles en la historia del interior de Cuba:

1) Occidental, 1880.01.23 (6,2/ h=20 km/ 22,70 83,00/ San Cristóbal)

2) Centro-Oriental:

2.1) 1982.12.16 (4,5/ h=20 km/ 22,61 81,23/ Torriente-Jagüey Grande)

2.2) 1995.03.9 (2,5/ h=10 km/ 22,90 82,21/ San José de las Lajas)

2.3) 2015.01.21 (4,1/ h=16 km/ 22,216 81,422/ Bahía de Cochinos)

2.4) 1943.07.30 (4,6/ h=15 km/ 21,85 80,10/ S. Spíritus)

- 2.5) 1909.01.24 (4,3/ h=km/ 21,80 79,58/ Esmeralda)
- 2.6) 1996.08.08 (3,8/ h=10 km/ 22,110 80,184/ Trinidad)
- 3) Oriental, USOR:
- 3.1) 1954.01.30 (5,6/ h=km/ 20,0 77,5/ Cabo Cruz)
- 3.2) 2001.11.19 (4,2/ h=33 km/ 20,610 76,096/ falla Cauto-Nipe)
- 3.3) 2003.10.13 (4,6/ h=10 km/ 20,284 75,649/ Mayarí). Éstos son parte de las evidencias de la SIP en Cuba.

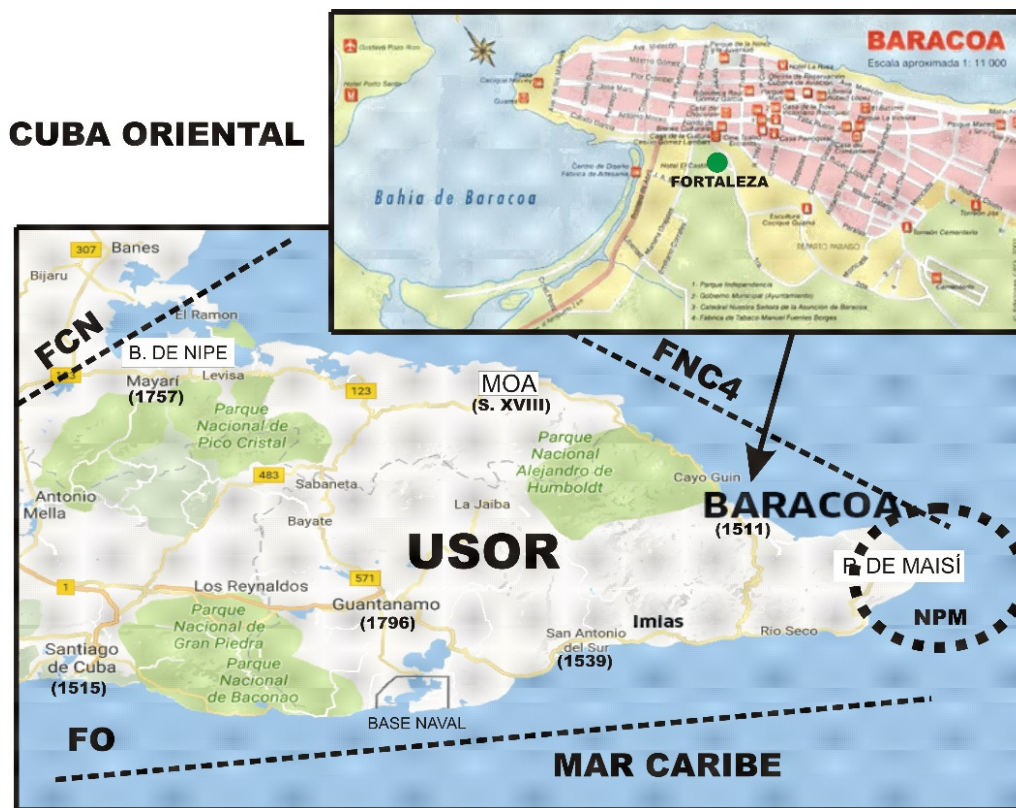


Figura 9.- Localización de las ciudades de Moa y Barcoá, en Cuba Oriental
 Aparecen: **1)** fallas principales (líneas discontinuas negras): FCN=Cauto-Nipe, FNC4=Nortecubana (segmento 4), FO=Oriente; **2)** USOR=Unidad Sismotectónica Oriental; **3)** nudo de articulación (círculo discontinuo negro, NPM=Punta de Maisí); **4)** en algunas localidades se sitúa el año de fundación (número entre parentésis); **5)** recuadro con la Fortaleza colonial de Barcoá, círculo verde. Ella nunca ha sido dañada por terremotos.

-2- FALLAS SISMOGÉNICAS

Leonardo da Vinci (Italia, 1452 - Francia, 1519): *“La ciencia más útil es aquella cuyo fruto es el más comunicable”*.

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

-2- Fallas sismogénicas

A nivel internacional hay muchos estudios sobre fallas activas (Lawson, 1908; Bukart, 1978; White, 1985; Martínez-Reyes y Nieto-Samaniego, 1990; Powell y Weldon, 1992; Martínez-Díaz, 1999; Titus *et al.*, 2005; Authemayou *et al.*, 2011; Sunye-Puchol *et al.*, 2015; Vargas-Easton *et al.*, 2018; y Witze, 2019). En particular, las zonas activas de Cuba se han presentado y discutido, principalmente, en las siguientes publicaciones: Cotilla *et al.* (1991, 1997, 2007); Cotilla-Rodríguez (1993); Cotilla (1998, A, B, 1999A, 2014, A, 2017); Cotilla y Álvarez (1998, 1999, 2001); Cotilla y Franzke (1999); y Cotilla y Córdoba (2010). Se puede resumir que existen 13 zonas sismoactivas (Baconao, Bartlett-Caimán (Oriente), Camagüey, Cauto-Nipe, Cochinos, Cubitas, Guane, Habana-Cienfuegos, Hicacos, La Trocha, Las Villas, Nortecubana y Surcubana) (**Figura 4**), algunas de las cuales han sido comentadas en los epígrafes anteriores. Todas ellas, excepto la de Oriente, están relacionadas, directamente, con la SIP. Aquí se presta atención a la mayor estructura cubana con ese tipo de sismicidad, la FNC. En la Introducción y el epígrafe Neotectónica y actividad sísmica se indican algunas de sus características, y ahora se añaden otras como:

- 1) ser una extensa estructura que limita por el norte al megabloque Cuba
- 2) su concavidad al sur
- 3) los coeficientes de sinuosidad de 0,74 y 0,93, de los segmentos Cabo de San Antonio-Península de Hicacos (Matanzas) y Matanzas-Punta de Maisí, respectivamente (**Figura 1B**)
- 4) el cambio estructural en cuanto a dirección en las inmediaciones de Matanzas
- 5) la menor deformación de la FNC con relación a la falla Surcubana (**Figura 4**) (coeficiente de sinuosidad 0,63). La concavidad también está en otras estructuras como la Depresión de Yucatán y el entorno de Colombia-Venezuela (Cotilla y Udías, 1999).

Una vía alternativa, empleada en Cuba, para el estudio de la SIP ha sido la confección de modelos con celdas geodinámicas. Para las regiones Occidental y Oriental se relacionan algunas de las fallas activas e intersecciones, o nudos, con el tensor de esfuerzos generado en la interacción de las placas Caribe-Norteamérica (Cotilla-Rodríguez, 1993, 1999; Cotilla *et al.*, 1998; Cotilla y Álvarez, 2001). El modelo Occidental (provincias de Pinar del Río, La

Habana, Ciudad de La Habana, y Matanzas) (Figura 5 de Cotilla y Álvarez, 2001) relaciona a la FNC para conformar dos nudos principales, donde hay agrupaciones de terremotos, a modo de grupos. Esos nudos son:

1) N5 (Bahía de La Habana) constituido por las fallas FNC y Habana-Cienfuegos

2) N7 (Varadero) con las fallas FNC e Hicacos (**Figura 4**). Esa configuración se corresponde con la zona de deformación mencionada anteriormente. Mientras que la figura 8 de Cotilla *et al.* (1998) tiene el modelo para Cuba Oriental donde aparece la FNC. Aquí hay tres nudos:

1) ND (compuesto por falla Baconao y FNC)

2) NE (compuesto por falla Cauto-Nipe y FNC)

3) NF (compuesto por falla Oriente y FNC) (**Figura 4**).

Esto permite relacionar a la FNC con cinco nudos y varios segmentos activos. Las magnitudes en los nudos más activos son diferentes en el modelo:

3.1) Occidental <5,5

3.2) Oriental <6,0). El tensor de esfuerzos tiene el eje principal representado en la **figura 3** (Cotilla, 1993; Cotilla y Udías, 1999; Cotilla *et al.*, 2007).

El análisis de poblaciones de fallas en la USOC (Cotilla y Córdoba, 2010) en el marco cinemático prevalente de la placa de Norteamérica sustenta la dirección WNW-SE en el norte de Habana-Matanzas. Esto justifica:

1) la deformación de la FNC

2) la configuración de varias celdas geodinámicas.

Cotilla *et al.* (1991) y Cotilla y Álvarez (1998) consideran que en la provincia sismotectónica Cuba la FNC está definida en una zona de SIP, y tiene categoría de orden 2 y dos subniveles:

1) 2A (hay tres tramos: Cabo de San Antonio-La Habana; oeste de Punta Hicacos-La Trocha; y Nipe-Punta de Maisí (con corteza fina, **figura 3**))

2) 2B (hay dos tramos: La Habana-Punta Hicacos; y La Trocha-Nipe (con corteza gruesa, **figura 3**)) (**Figura 4**). A partir de la dirección y configuración de la FNC se determinan cuatro segmentos:

- 1) Oeste=FNC1 (Cabo de San Antonio-Península de Hicacos)
- 2) Central=FNC2 (Península de Hicacos-Nuevitas)
- 3) Centro-Oriental=FNC3 (Nuevitas-Gibara)
- 4) Oriental=FNC4 (Bahía de Nipe-Punta de Maisí (con corteza oceánica modificada, **figura 3**)). La longitud de cada uno es diferente, siendo el más corto, pero el más cercano a la ZLP, el tercero (FNC4). Éste es aledaño a la Plataforma de Bahamas y al Océano Atlántico. También se enlaza en el nudo NF con las fallas Oriente y Septentrional (norte de La Española) (**Figura 4**). El segmento FNC1 es adyacente a la estructura del Golfo de México por el norte, y el FNC2 colinda con la parte más estrecha de la Plataforma de Bahamas. Cada uno de ellos está asociado con terremotos perceptibles de los periodos histórico e instrumental (Occidental: serie de 1981/ Central: 1914.02.28 ($M_s=6,2$), 1939.08.15 ($M_s=5,9$), 1960.05.25 y 1986.12.18/ Oriental: 1990.01.5, 1992.03.20, 1992.09.24 y 1998.12.28). Indiscutiblemente, la FNC tiene la sismicidad:

- 1) más fuerte en los segmentos FNC2 y FNC3 en Remedios-Caibarién-Bahía de Nipe;
- 2) menor en el segmento más occidental, FNC1. Además, se ha determinado que la mayoría de las fallas en la parte insular de Cuba son espacialmente análogas, en cuanto a dirección y escalonamiento, a la FNC (Cotilla *et al.*, 2007; y Cotilla y Córdoba, 2010) (**Figura 4**). En Pinar del Río la falla Guane tiene dirección noreste y es paralela al segmento FNC1, USOC; pero, las fallas Las Villas y Cubitas, que pertenecen a la USCO son paralelas al segmento FNC2, de dirección noroeste. Todas son activas y responden al mismo patrón de esfuerzos trans compresivos del sur. En la USOR no hay datos fiables sobre la existencia de alguna estructura activa paralela a la FNC.

-3- SISMICIDAD INDUCIDA

Nikola Tesla (Croacia, 1856 - Estados Unidos de Norteamérica, 1943): *“La historia de las ciencias nos demuestra que las teorías son perecederas. Con cada nueva verdad revelada, tenemos una mejor comprensión de la naturaleza y nuestras concepciones, y nuestros puntos de vista, se modifican”.*

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

-3- Sismicidad inducida

La sismicidad inducida [SI] es un tema conocido desde 1870 en EEUU. Entonces se relacionó con el almacenamiento de grandes cantidades de agua en embalses artificiales del sur de California. De hecho en 1936 la “Presa Hoover” en Nevada-Arizona lo demostró con 10.000 sismos/ $M \sim 5$ / en 35 años. La región era considerada antes del llenado sin sismicidad. A nivel internacional hay más de cien casos documentados. El trabajo de Esteban-Pérez (2018) recuerda el desastre asociado con el Embalse de Koyna, India. Ésto se produjo en 1965.12.11 con un terremoto: $M=6,6$ / $I=8$ (escala MM)/ 180 fallecidos/ 80% de la ciudad de Koyanangan destruido. Más recientemente, según El Periódico (M.Catanzarro, 21.10.2017, <https://www.elperiodico.com/es/ciencia/20171021/los-mayores-terremotos-inducidos-6361651>) en al menos dos casos, diferentes, con terremotos fuertes:

- 1) 2008/ $M=8$ / 90.000 muertos/ epicentro a 20 km de la presa Zipingpu, Wenchuan, China
- 2) 2016/ $M=5,8$ / ciudad de Pawnee, en Oklahoma/ inyección de de agua en campos de petróleo.

La SI puede producirse por distintas actividades antrópicas: explosión nuclear subterránea, construcción de gran escala, establecimiento de campos de hidrocarburos con inyección y extracción de fluidos (agua, petróleo y gas), y actividad minera incluida la extracción de agua (Evans, 1966; Drakopoulos, 1974; Milne y Berry, 1976; Nikolaev, 1977; Allen, 1980; Simpson y Negmatulaev, 1981; Segall, 1989; Grasso, 1992; Krenienetskaya y Triapitsin, 1995; Adushkin *et al.*, 2000; Van Eck *et al.*, 2006; De las Doblás, 2013; Smirnov *et al.*, 2013; McGarr, 2014; USGS, 2014A; Vinogradov *et al.*, 2016; De Simone *et al.*, 2017; Foulger *et al.*, 2017; Vadillo-Fernández *et al.*, 2017; Wilson *et al.*, 2017; Pérez-López y Giner-Robles, 2018; y Baranov *et al.*, 2020). Luego, este fenómeno es peligroso porque deforma el relieve y parte de la corteza, y produce fracturas, con modificaciones del campo de tensiones. Por todo eso hay que prestarle atención en las investigaciones e incluirle en las normas sísmicas; incluso asumir la posibilidad del *triggering* (anticipación del momento de ocurrencia de terremotos en preparación).

Recientemente, en España, Aretxabala (2013) y El Mundo (2013), entre otros, informaron sobre la manipulación de gas en bolsas naturales, bajo el subsuelo marino, que provocaron una serie de eventos sísmicos perceptibles que en las localidades de Vinarós y Peñíscola (Golfo de Valencia, al este de España). Los datos para este caso se resumen así: profundidad=3-5 km/ $M_w=0,8-4,2$ / distancia, entre el área de la serie y las poblaciones mencionadas, ~20 km/ registrados más de 350 terremotos, en menos de un mes/ concentración de los sismos entorno al evento principal/ alineados con grandes estructuras geológicas. Por ello, se suspendieron todas las actividades mineras.

Los ejemplos mencionados (China, España, India, y USA) demuestran que hay una relación plausible, pero no del todo conocida, entre la sismicidad y la acción antrópica sobre un objeto geológico con el propósito de investigación o explotación. Además, se conoce que:

- 1) no hay aún posibilidad de anticipar la generación de eventos inducidos
- 2) no existe un tiempo definido entre estímulo y reacción
- 3) la SI ha ocurrido en zonas previamente falladas, con y sin sismicidad
- 4) la magnitud de los terremotos, por lo general, es $<5,0$
- 5) la profundidad de los terremotos es <10 km
- 6) el terremoto principal y las réplicas están agrupadas
- 7) hay siempre réplicas
- 8) no hay evidencias de relación de fallas con SI y los terremotos fuertes; aunque puede ocurrir el efecto de *triggering*, ejemplo China.

Ahora se traen a colación tres Proyectos (o Tareas Especiales) que la dirección del Instituto de Geofísica y Astronomía [IGA] asignó al primer autor (Cotilla, 1998A, 1999, 2007). Los Proyectos fueron solicitados directamente y financiados por el Ministerio de la Industria Básica [MINBAS]. Se pidió, expreseamente, que el primer autor dirigiera, personalmente, las investigaciones y la formación del personal de la Empresa Integral de Proyectos, en tareas sismotectónicas de campo y gabinete en dos Proyectos:

- 1) Hidrotécnico Toa-Duaba (año 1991)
- 2) Re-análisis de las Condiciones Sismotectónicas del Emplazamiento de la Central Electronuclear de Juraguá, Cienfuegos (años 1992-1994). A su vez el IGA pidió colaboración

al MINBAS para apoyar, con el personal del Instituto de Geología y Paleontología, al autor en el Proyecto Investigaciones de las Condiciones Tectónicas y Sismicidad de la Región de Cuba Centro Oriental para Emplazamientos Nucleares (año 1992). De esas colaboraciones hubo tres resultados principales (Cotilla *et al.*, 1992, 1993, A). En ellos quedó patente que:

1) era imprescindible densificar la red de estaciones sismológicas permanentes. Se dieron los sitios y plazos para acometer esa tarea que debía ser conjunta entre la Academia de Ciencias de Cuba y el MINBAS

2) había discrepancias, significativas, en los varios trabajos de corte sismotectónico realizados en el País. Por lo que la, entonces, nueva Dirección de la Empresa Integral de Proyectos desmontó sus distintos resultados anteriores, en las regiones central y oriental de Cuba, incluido el modelo de consenso de la Comisión *Ad hoc* (1991) para Cuba Oriental, y estableció el propuesto en Toa-Duaba

3) la sismotectónica debe ser abordada, inicialmente, desde una perspectiva regional y luego local

4) se imponía la realización de estudios de microtectónica en todo el País, y de trincheras para estudios de paleosismicidad, en 3 áreas específicas (San Cristóbal, Remedios y Gibara)

5) la localidad de Cienfuegos tiene una relación espacial con el alineamiento Habana-Cienfuegos y es un nudo activo. En ese entorno era necesaria una red, de tres estaciones, operativa con tres componentes, cada una, en La Habana, Matanzas y Cienfuegos

6) la región de Cuba Oriental, entre las fallas Cauto-Nipe, Bartlett-Caimán (Oriente) y Nortecubana, constituye una Unidad Sismotectónica activa (**Figura 4**)

7) se descartan, totalmente, los sismo-deslizamientos en la Sierra Maestra con producción de tsunamis en la zona de Santiago de Cuba

8) el entorno de Cabo Cruz (**Figura 2**) es significativamente activo en el cruce de las fallas Oriente y Cauto-Nipe

9) el segmento aledaño Pilón-Bacoano (**Figura 1B**), de la falla sismogeneradora Bartlett-Caimán, constituye la principal línea sismoactiva de Cuba

10) no existen “paleo sismo-dislocaciones” en el entorno de San Antonio del Sur (**Figura 1B**)

11) era muy probable que el llenado y trasvase de agua en el Complejo Toa-Duaba produjese actividad sísmica inducida, perceptible, en las inmediaciones de Moa-Baracoa (**Figura 1B**). Esto se fundamentó en los análisis de los tipos litológicos, la fracturación del terreno y las rocas, el volumen de agua, la determinación de un nudo de zonas de alineamientos en Moa y la documentada sismicidad de fondo

12) debía realizarse, imperativamente, la instalación de dos redes, en las inmediaciones de Moa-Baracoa, para complementar los registros de la estación sismológica de Pinares de Mayarí:

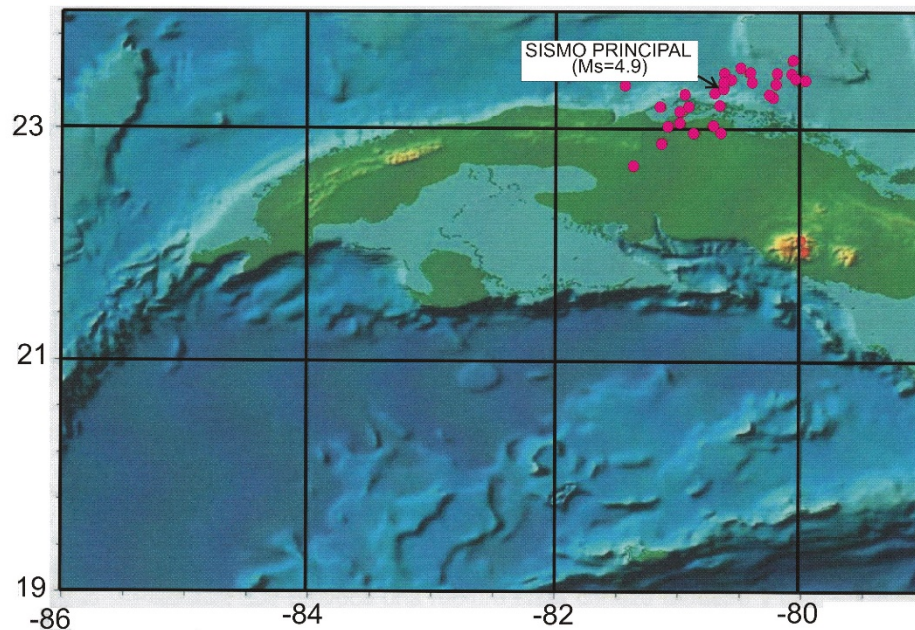
12.1) de estaciones sísmicas. Se adjuntaron las localizaciones

12.2) de puntos geodésicos de primer orden. Se argumentó sobre la colaboración con el Instituto de Geodesia y Cartografía.

De acuerdo con el Boletín Informativo Especial, No. 2 /2014 del CENAIIS (Santiago de Cuba, 10 de Enero del 2014) se tienen los siguientes datos: **A)** Esta actividad sísmica en esta región del país no es frecuente, pero si es normal por su ocurrencia por la presencia de zonas sismogeneradoras...en localidades como Varadero, Sagua La Grande, Remedios y Caibarién...las zonas sismogeneradoras a las que pueden estar asociados estos sismos son las conocidas como Norte Cubana e Hicacos...; **B)** La presencia de agrupamientos de terremotos en esta área es producto de que después de ocurrir un sismo con magnitud significativa que provoca una ruptura en la corteza terrestre y como parte del proceso de reacomodo de las fallas se continua liberando energía manifestada en terremotos...; **C)** De los sismos instrumentales recientes tenemos reportes de perceptibilidad en el **2000** en la zona de **Varadero (Ms=5.0)**, el cual tuvo además tres réplicas perceptibles por la población, en los años **2006, 2007 y 2012** hubo reportes en la localidad de **Encrucijada, Villa Clara (M=3.0, 4.0, 2.5)**, respectivamente, en **2008 en Sagua La Grande (M=4.0)** y finalmente en el **2012 en Caibarién (M=3.3)** que también tuvo un premonitor y 2 réplicas; **D)** Adjuntan el mapa que aquí reproducimos (**Figura 10**).

De eso es factible deducir que: **1)** el CENAIIS consideró al terremoto de 2014 y sus réplicas como eventos naturales asociados a la falla sismogeneradora Nortecubana; **2)** hubo otra actividad sísmica, perceptible, en el entorno de ese terremoto, en tres localidades:

Varadero (2000/ $M_s=5,0$), Encrucijada (2006/ $M=3,0$; 2007/ $M=4,0$; 2012/ $M=2,5$) y Sagua La Grande (2012/ $M=3,3$).



Distribución del sismo principal y sus réplicas desde el 9-01-2014 al 10-01-2014

Hora de cierre 11:44 AM.
Estación Central Servicio Sismológico Nacional de Cuba
CENAIIS-CITMA.

Figura 10.- Figura modificada del Boletín Informativo Especial No. 2 /2014 (CENAIIS)

En Cuba hay dos casos de SI, 1981 y 2014-2017, cercanos al español, ya mencionado. En el año 1981 la zona noroeste, provincia de Pinar del Río, sobre la FNC; y como consecuencia, de la actividad antrópica -prospección geofísica en busca de petróleo y gas- ocurrieron varios sismos perceptibles (Álvarez *et al.*, 1985). En 2014-2017 también en Cuba septentrional, pero al este de la anterior serie, en las inmediaciones de Corralillo se produjeron eventos perceptibles. El sismo principal y las réplicas están vinculados con las investigaciones geofísicas que tienen el mismo objetivo de 1981. Hay una, evidente, cercanía geográfica entre las áreas de investigaciones, exploración-explotación petrolífera con los sismos sobre la FNC (**Figura 3**). Para justificar nuestra posición se presenta una selección de informaciones publicadas, sobre Cuba y el petróleo: Elmundo.es (2008); Telesurtv (2012);

Flores-García (2013); Batistas (2014); Caféfuerte (2014); USGS (2014B); Público (2016); Cibercuba (2017); y tres digitales:

- 1) <http://www.opinion.com.bo> (Cuba-en-un-mar-de-petróleo,-23.02.2012)
- 2) <http://www.ultimasnoticias.com.ve/noticias/actualidad/mundo/Cuba> (Cuba-planea-perforar-en-2014-su-pozo-petrolero-más-largo,-21.01.2014)
- 3) <http://www.Elnuevoherald.com/2014/02/09/675929/cuba-puede-aumentar-en-50-produccion.html>.

A partir de esas fuentes se conoce que la ZEC-GM:

1) tiene una superficie de $\sim 112.000 \text{ km}^2$, y está definida, principalmente, en aguas profundas de muy difícil acceso, entre el Cabo de San Antonio y Matanzas (**Figura 1B**), aproximadamente. El coste por los trabajos de prospección de REPSOL, en profundidades de hasta 4,8 km, es de $\sim 200 \times 10^6 \text{ USD}$

2) fue dividida en 60 bloques por las autoridades cubanas

3) se estima una reserva de barriles:

3.1) $6-8 \times 10^9$ por especialistas de EEUU

3.2) 20×10^9 por especialistas cubanos

4) tiene como reservas:

4.1) probables un volumen de 50%

4.2) posibles $< 10\%$

5) son crudos pesados y el 95% se extrae desde la franja costera norte

6) se asegura que la producción en 1995 alcanzó 10^6 TM (con 180 pozos) y actualmente $\sim 4 \times 10^6 \text{ TM/año}$ (3×10^6 de petróleo crudo y 10^6 de gas natural)

7) las investigaciones y explotación es con participación internacional.

En CubaDebate (16.09.2016/ María del Carmen Ramón) publicó: **“Petróleo en Cuba: ¿dónde está el oro negro?”** Asegura, en ese artículo, entre otras cosas, que: “...*López Corzo, en 18 años de experiencia como geólogo y trabajando en temas de petróleo nunca ha visto la aplicación de la llamada fracturación hidráulica en Cuba... que los países líderes en esta técnica son Canadá y Estados Unidos, ya que tienen la peculiaridad de que el crudo está muy cercano al manto freático; y que Cupet ha comprobado que en los campos petroleros*

cubanos hay otros métodos que funcionan más que el fracturamiento hidráulico, como por ejemplo la inyección de vapor o la inyección de aditivos químicos...”. Además, incorpora la siguiente imagen (**Figura 11**) que al compararla con la **figura 8**:

- 1) sorprende por la coincidencia espacial de la sismicidad observada y el área de trabajos de petróleo-gas
- 2) confirma nuestra decisión de excluir al terremoto de 2012.11.20.

Es importante apuntar que:

- 1) en Minas de Motembo (**Figuras 11 y 12**) según narró Diego Velázquez de Cuellar (España, 1465 - Cuba, 1524) los primeros habitantes de Cuba la conocían como “tierra de fuego”. Sin embargo, el primer hallazgo de petróleo (nafta) en Cuba fue en el año 1880, por una familia de origen chino que buscaba agua. De inmediato, se ejecutaron cuatro pozos, profundidad de ~1.000 pies (1 pie=30,48 cm). Especialistas norteamericanos comenzaron a explotar gas natural; y en el año 1927 el entonces Presidente Gerardo Machado y Morales (Cuba, 1869 - Estados Unidos de Norteamérica, 1939) visita la zona. En la década de 1940 se producían $>7.10^6$ galones (1 galón=3,785 litros) de nafta. Para 1959 operaron tres compañías que explotaban 30 pozos y extraían ~12.000 galones/mes. Actualmente la producción, estatal, alcanza ~1.500 galones/mes

- 2) la zona de Motembo es aledaña a la de Corralillo (**Figura 12**), donde sostenemos hubo SI

- 3) ella está situada en las cercanías del área de tsunamis locales de Cuba, Caibarién-Playa Panchita (**Figura 12**)

- 4) todas las zonas mencionadas están en el área de cambio estructural principal de Cuba (**Figura 12**)

- 5) el proceso continuado e ininterrumpido de explotación en Motembo, lógicamente justifica la disminución de las reservas y la alteración del campo tensional de la región, por lo que puede ser un elemento más favorable a la generación de sismos.

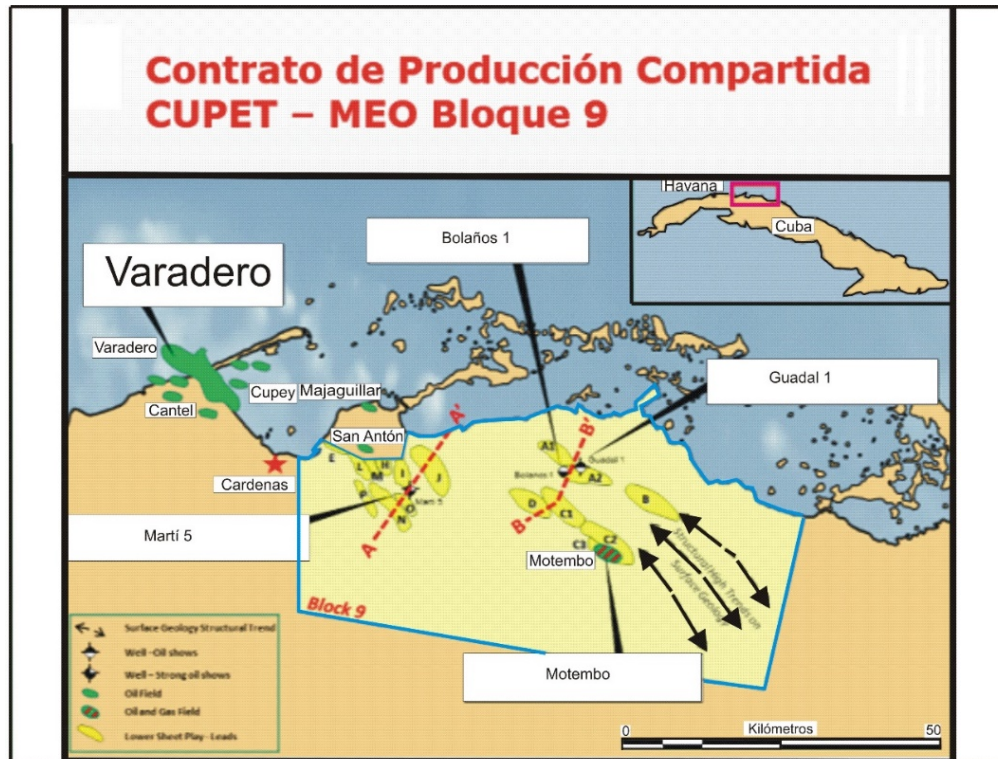


Figura 11.- Imagen modificada del artículo “Petróleo en Cuba: ¿dónde está el oro negro?” (CubaDebate (16.09.2016/ María del Carmen Ramón))

Aparecen, inmediatamente, al oeste de Cárdenas: **1)** el Bloque 9. Rectángulo apaisado y aledaño a la costa N; **2)** cuatro áreas de trabajos (Boloños 1, Guadal 1, Martí 5, Motembo). Todas en los municipios de Corralillo, Quemado de Güines y Sagua La Grande (**Figura 12**); **3)** en color verde están las bolsas de petróleo de Varadero y San Antón, fuera de ese bloque; **4)** MEO=es una empresa australiana que firmó contrato con CUPET para explotar el Bloque 9.

Por consiguiente, los autores del presente artículo consideran la relación, causa-efecto, entre los trabajos geofísicos en la ZEC-GM y los terremotos de: **1)** Pinar del Río de 1981 y **2)** Matanzas-Las Villas, de 2014-2017 en Corralillo. Esos terremotos se explican también a partir de la combinación de intensas investigaciones prospectivas y la continuada actividad extractiva de gas y nafta en los pozos de Motembo por más de 90 años. Esa actividad antrópica alteró el campo de tensiones y fue el detonador de la sismicidad en dos segmentos de la FNC, FNC1 y FNC2, parte occidental (**Figuras 1B, 3 y 8**). Se ha estimado que un “bulbo de deformación” apaisado es de 100 km x 20 km x 20 km para Corralillo y su entorno (23,241-23,107 N 81,45-80,21 W). El evento principal de 2014 ($M_w=5,0$):

1) estuvo acompañado, por primera vez, de una serie de 39 terremotos/ $M_w = < 5,0-2,0/$ $h < 20$ km/ algunos perceptibles) que están en la parte occidental del segmento más extenso, FNC2

2) aparece en el centro del mapa de sacudibilidad-perceptibilidad del USGS, de figura circular. La figura 4 (Mapa de epicentros de los terremotos registrados entre enero y mayo del 2014 por el Servicio Sismológico Nacional (su catálogo) de Arango-Arias *et al.* (2017) confirma esa forma

3) junto a algunas réplicas forma una misma familia de mecanismos (**Figura 8**). Esas son características de SI.

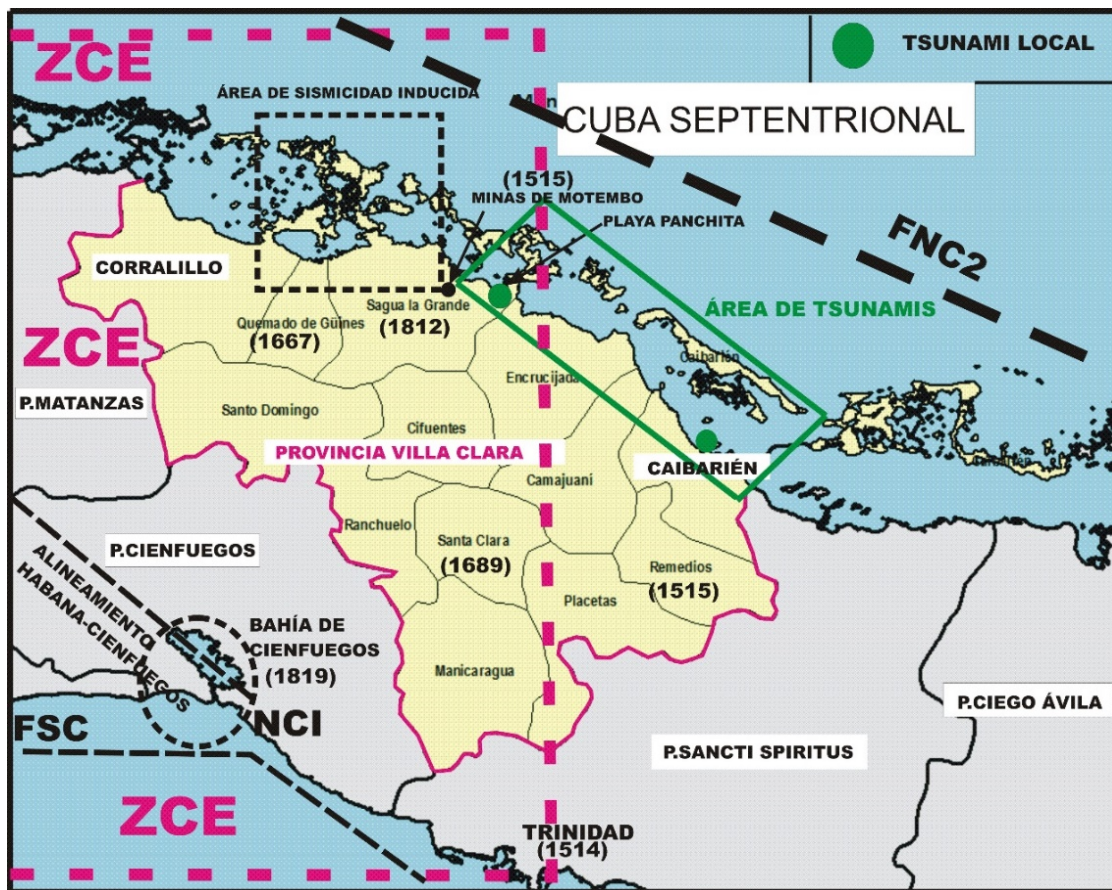


Figura 12.- Esquema de la provincia Villa Clara y sus municipios

Aparecen: 1) área de sismicidad inducida en Corralillo (rectángulo discontinuo negro); 2) localidades de Caibarién y Playa Panchita, con círculos verdes (distancia ~125 km). Algunas localidades tienen el año de fundación (número entre parentésis); 3) área de influencia de tsunamis locales, Caibarién-Playa Panchita (rectángulo verde); 4) ZCE=Zona de cambio estructural principal (letras en rojo y líneas discontinuas rojas); 5) FNC2=falla Nortecubana segmento 2 (línea discontinua negra), FSC=falla Surcubana; 6) alineamiento Habana-Cienfuegos; 7) nudo de alineamientos (círculo discontinuo negro, NCI=Cienfuegos).

-4- DISCUSIÓN

Neil deGrasse Tyson (Estados Unidos de Norteamérica, 1958 -): *“La ciencia es básicamente la inoculación contra los charlatanes”*.

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

-4- Discusión

En los epígrafes precedentes se demuestra que la FNC:

- 1) es una estructura activa del sur de la placa de Norteamérica
- 2) constituye el límite sismotectónico septentrional de Cuba
- 3) tuvo el primer reporte, en Cuba, de actividad sísmica en las inmediaciones de Baracoa, región Noreoriental en 1528
- 4) es la única falla de Cuba con tsunamis locales, dos en la parte central, inmediaciones Remedios-Caibarién y playa Panchita (distancia ~125 km) (**Figura 12**)
- 5) tiene sismicidad histórica e instrumental en toda su traza (~1.200 km de longitud)
- 6) se divide en cuatro segmentos, el de mayor nivel está en Puerto Padre-Gibara-Bahía de Nipe ($M_{\text{máx}}=6,2$)
- 7) se relaciona espacialmente con varias estructuras transversales de Cuba, donde hay cambios estructurales
- 8) posee una importante inflexión estructural en las inmediaciones de La Habana-Matanzas, con dos direcciones SW-NE y NW-SE
- 9) ha tenido, al menos, dos series sísmicas con actividad inducida, 1981 y 2014-2017
- 10) no es, absolutamente, una continuación de la falla Septentrional de La Española. Sin embargo, en dos trabajos del año 2015 de Arango-Arias, se argumenta lo contrario. Por esto se impone rebatirlos para:

- 10.1) evitar que pueda confundir a lectores no familiarizados con la sismotectónica de la región
- 10.2) desmontar especulaciones sin fundamento científico. En este sentido, en la **tabla 12** se incluyen 35 trabajos que han estudiado la región. Ellos se usan para contraponer información y datos publicados y contrastados, de forma diáfana y argumentada contra especulaciones. La primera columna indica las siglas (**1/1933**) que les identifican (**número de orden y año**), y que se usa en el análisis para facilitar la exposición de las ideas.

Tabla 12.- Trabajos de la zona de interés entorno a las fallas Nortecubana-Oriente y Septentrional.

| Sigla | Autor (es) | Trabajo |
|--------------|--|--|
| 1/1933 | Navy-Princeton Exploration [NPE] | <i>Gravity expedition to the West Indies in 1932.</i> U.S. Hydrographic Office, Washington, 54 pp. |
| 2/1968 | Ministerio de Minería, Combustible y Metalurgia [MINCM] | <i>Sobre investigaciones sísmicas marinas realizadas en aguas profundas adyacentes, por la Expedición soviética del barco «Vladimir Obruchev» y las conclusiones geológicas.</i> Dirección de Petróleo, Inst. Científico Investigativo de Geología y Geofísica Marina de toda la Unión. En: Fondo Geológico de Cuba (en Ruso). |
| 3/1971 | Levchenko, V.A. y Riabujin, A.G. | Block structure of the northern shelf of Cuba. <i>Geotectonika</i> , 5 (en Ruso). |
| 4/1972 | Erickson, A.J., Helsley, C.E. y Simmons, G. | Heat flow and continuous seismic profiles in the Cayman trough and Yucatan basin. <i>Geological Society of American Bulletin</i> , 83, 1.241-1.260. |
| 5/1975 | Shein, V.S., Smirnov, V.N., Klechov, K.A. y Orbera, L. | <i>Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:1.000.000.</i> Informe del Ministerio de Geología y Minería de Cuba, |
| 6/1978 | Shein, V.S., Ivanov, S.S. y Klechev, S. | Tectónica de Cuba y su shelf. <i>Geología Soviética</i> , 2104-199 (en Ruso). |
| 7/1983 | Cobiella, J.L. | Algunas consideraciones sobre el origen de la fosa de Bartlett. <i>Revista Minería y Geología</i> , 1(83), 29-56. |
| 8/1984 | Cobiella, J.L. | <i>Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett.</i> Editorial Oriente, Santiago de Cuba. |
| 9/1984 | Iturralde-Vinent, M. | <i>Naturaleza geológica de Cuba.</i> Editorial Científico-Técnica, La Habana, 146 pp. |
| 10/1985 | Cotilla, M. | <i>Tsunamis y la influencia en Cuba.</i> Instituto de Geofísica y Astronomía, A. Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 10 pp. |
| 11/1985 | Shein, V.S., Klishov, K.A., Jain, V.E., Dikenshtein, G.E., Yparraguirre, J.L., García, E. y Rodríguez, R. | <i>Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000.</i> Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS. |
| 12/1986 | Linares, E.; Dovbnia, A.V., Osadchiy, P.G., Judoley, C.M., Gil, S., García, D., Zuazo, A., Furrzola, G., Brito, A., Evdokimov, Y.B., Markovskiy, B.A., Trofimov, V.A. y Vtulochkin, A.L. | Mapa geológico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS. |
| 13/1987 | Ministerio de la Industria Básica [MINBAS] | <i>Sobre los trabajos geofísicos complejos regionales y prospección en las aguas profundas del Shlef en 1986 por la Expedición soviética del barco «Académico Golitzin».</i> En: Fondo Geológico de Cuba (en Ruso). |
| 14/1988 | Hernández, J.R., Blanco, P. y Díaz, J.L. | <i>Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba.</i> Editorial Academia, 14 pp. |
| 15/1989 | Cotilla, M., González, E., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. | Mapa neotectónico complejo del extremo oriental de Cuba y la parte marina meridional. <i>Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía</i> , 19, 18 pp. |
| 16/1989 | Ministerio de la Industria Básica [MINBAS] | <i>Investigaciones geofísicas complejas regionales y búsquedas en las aguas profundas de la República de Cuba, durante los años 1986-88.</i> Informe de la 3ª etapa del Contrato 55-044/5700. En: Fondo Geológico de Cuba (en Ruso). |
| 17/1989 | Mossakovsky, A., Pusharovskiy, Yu., Nekrasov, G.E., Sokolov, S.R., Formell, F., Cabrera, R., Iturralde-Vinent, M., et al. | Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Instituto de Geología y Paleontología, A. de Ciencias de Cuba. |

| | | |
|-----------------|---|---|
| 18/1990 | Cotilla, M., Álvarez, L. y Chuy, T. | <i>Determinación de zonas origen de terremotos La Española-Jamaica.</i> Instituto de Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 20 pp. |
| 19/1990A | Cotilla, M., Álvarez, L. y Chuy, T. | <i>Determinación de zonas sismogeneradoras de la región oriental de Cuba.</i> Instituto Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 18 pp. |
| 20/1991A | Cotilla, M.O., González, E.C., Franzke, H.J., Díaz, J.L., Arteaga, F. y Álvarez, L. | Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. <i>Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía</i> , 22, 37 pp. |
| 21/1991B | Cotilla, M., González, E., Díaz, J. y Cañete, J. | Estudio complejo geomorfológico-estructural de la zona marítima del sur de Cuba Oriental. <i>Revista Geofísica</i> , 34, 167-176. |
| 22/1994 | Quintas, F., Hernández, M. y Campos, M. | Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico de Cuba Oriental y La Española. <i>Revista Minería y Geología</i> , 11, 3-10. |
| 23/1997 | Cotilla, M., Álvarez, L. y Rubio, M. | Sismicidad de tipo intermedio en Cuba. <i>Revista Geología Colombiana</i> , 22, 35-40. |
| 24/1998 | Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, L., Franzke, H.J., Rubio, M. y Pilarski, J. | Cinématica neotectónica de Cuba Oriental. <i>Revista de la Sociedad Geológica de España</i> , 11(1-2), 33-42. |
| 25/1999 | Cotilla, M. y Udías, A. | Geodinámica del límite Caribe-Norteamérica. <i>Revista de la Sociedad Geológica de España</i> , 12(2), 175-186. |
| 26/2007A | Cotilla, M., Córdoba, D. y Calzadilla, M. | Morphotectonic study of Hispaniola. <i>Geotectonics</i> , 41(5), 368-391. |
| 27/2010A | Cotilla, M. y Córdoba, D. | Determination of lineaments in Hispaniola. <i>Revista Geográfica</i> , 147, 133-154. |
| 28/2011 | Cotilla, M. | ¿Tsunamis en Cuba? <i>Revista Física de la Tierra</i> , 23, 173-197. |
| 29/2011 | Cotilla, M. y Córdoba, D. | <i>Comments about tsunami occurrences in the northern Caribbean.</i> En: Tsunamis, ISBN: 978-953-307-431-3. |
| 30/2011B | Cotilla, M. y Córdoba, D. | Análisis morfotectónico de la Isla Puerto Rico. <i>Revista Geofísica</i> , 62, 79-126. |
| 31/2014 | Núñez-Escribano, D. | <i>Seismic structure of the crust across NE Caribbean plate (Dominican Republic).</i> Tesis doctoral, Universidad Complutense Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, 317 pp. |
| 32/2015 | Cotilla, M. y Córdoba, D. | Guantánamo neo-estructura atípica del Caribe Norte. <i>Revista Investigaciones Geográficas de Chile</i> , 50, 51-88. |
| 33/2015 | Núñez, D., Córdoba, D., Cotilla, M.O. y Pazos, A. | Modeling the crust and upper mantle in northern Beata Ridge (Caribe Norte Project). <i>Pure and Applied Geophysics</i> , 1-23. |
| 34/2017 | Cotilla, M. y Córdoba, D. | Morphotectonic study of the Greater Antilles. <i>Geotectonics</i> , 51(1), 89-104. |
| 35/2018 | Cotilla, M. y Córdoba, D. | <i>Some glimpses of the tsunamigenic potential of the Caribbean region.</i> En: Google Books, 100 pp. |

Nuestra afirmación argumentada, en epígrafes anteriores, sobre la no relación de las fallas Oriente y Nortecubana de Cuba con la falla Septentrional de La Española ahora se contrapone al trabajo de Arango-Arias (2015). Este último, con independencia de sus pocas y lamentables deficiencias de forma en cuanto a redacción y manejo de las citas bibliográficas, tiene dos aspectos de interés para el análisis de la FNC.

El primer aspecto se relaciona con su *Tabla 1 (Listado de terremotos tsunamigénicos que con mayor probabilidad han afectado el norte del Caribe)*. De ella se considera que:

1) por la forma de presentación los datos son de Arango-Arias (2015). Pero, ésto es totalmente falso y éticamente inadmisibile

2) ha excluido, sin argumentación, tres referencias: **10/1985, 27/2011 y 28/2011**; dos de las cuales, año 2011, están más actualizadas que las cuatro utilizadas, año 2007.

El segundo aspecto requiere que se reproduzcan, textualmente, dos fragmentos de Arango-Arias (2015). Sobre ellos los autores, del presente trabajo, han indicado tres partes **en negrita y subrayado**. Según Arango-Arias (2015):

A) “...A partir del análisis de la información tectónica y sismológica de la región de Moa, al noreste de la región de estudio, Arango et al. (2009), llegaron a la conclusión de que al norte de la región oriental de Cuba, específicamente al este de la bahía de Nipe, a pocos kilómetros de la costa, **se evidencia la existencia de la continuidad de la falla Norte de la Española** (fig. 2) y no la denominada por estudios anteriores como falla Sabana o Norte Cubana (Orbera et al., 1988; Babaev et al.,1989; Cotilla et al.,1996)...”

B) “...La posible continuidad de la falla Norte de La Española al norte del extremo oriental cubano, **la convierte en el principal elemento sismogénico del nordeste oriental con un buzamiento del plano de falla hacia el sureste**. A esta falla deben estar asociados los sismos principales ocurridos con mayor frecuencia en este sector a partir de diciembre de 1998. **La misma, por las características de su mecanismo inverso en su interacción con el bloque de la parte oriental de Cuba, es potencialmente tsunamigénica a partir de la ocurrencia en ella de terremotos con magnitudes de 7.5 a 8...**”

Esas afirmaciones-comentarios de Arango-Arias (2015) se responden, con argumentos científicos demostrados y no especulativos e indicando las fuentes oportunas y pertinentes (**Tabla 11**), del siguiente modo:

1) el segmento septentrional del Caribe, al este de Punta de Maisí, hacia La Española, forma parte de un límite de trans-presión/ trans-compresión de las placas Norteamérica-Caribe (26/2007A, 30/2011B, 34/2017 y 35/2015). La deformación de sus estructuras se transmite principalmente, desde Norteamérica al Caribe, y absorbe por los sistemas de bloques y fallas. La mayor parte de ellos son relativamente cortos, con segmentos diversos y en escalones (25/2007A y 26/2010A). Haití tiene dos zonas de fallas, en paralelo, activas transcurrentes este-oeste: Septentrional y Enriquillo. En el relieve se aprecia que las deformaciones son mayores en el norte, donde está la Septentrional. Ésta se reconoce al norte de La Española desde el este de El Paso de los Vientos y configura un escalón, discontinuo, en República Dominicana hasta la Península de Samaná. En él se han producido varios terremotos ($M_{\text{máx}}=8,0$) y algunos con tsunamis locales muy fuertes (28/2011 y 35/2018). En las terrazas costeras, emergidas y sumergidas, de Haití, hay daños tectónicos reconocidos (25/1998, 28/2007A, 24/1999; 32/2015, 33/2017 y 34/2015)

2) existen investigaciones paleosismológicas que confirman la fuerte actividad sísmica de la falla Septentrional (Mann *et al.*, 1998)

3) las direcciones predominantes de las fracturas aparecen en la figura 2 (Guantánamo) y la figura 11 (Haití) de 32/2015. De ellas se comprueba que en:

3.1) Guantánamo son mayoritariamente norte-sur y noroeste-sureste

3.2) el noroeste de La Española, en Haití, predominan las direcciones este-oeste y noreste-suroeste. Esto muestra que el sistema de fracturas es muy distinto para cada sector. En Haití, como parte de La Española, la principal estructura es la falla Septentrional que fue y es el límite norte de la placa Caribe (Mann y Burke, 1984; Mann *et al.*, 1995)

4) Cuba como parte de la placa de Norteamérica tiene deformaciones intraplaca, y en específico la FNC; no de entre placas como en La Española. Ahí, según 32/2015 está la falla Septentrional

5) las investigaciones sobre morfotectónica y sismotectónica, de los autores del presente trabajo, argumentan, exhaustivamente, con datos de tensores, microtectónica y mecanismos de foco, la segmentación de estructuras en el Caribe Septentrional y de Cuba, en particular (Figura 4)

6) las estimaciones de M de terremotos fuertes, para 100 años, determinadas por:

6.1) 18/1990 y 19/1990A para La Española-Puerto Rico fueron: $M=8,2$ en el norte de Haití/ $8,0$ en el norte Puerto Rico/ $M=7,5$ en el sur y el Centro Haití/ $M=7,8$ en el norte República Dominicana/ $M=7,3$ en el sur de República Dominicana

6.2) 23/1997 para el Caribe Septentrional fueron: $M>8,0$ (norte de Haití y de Puerto Rico)/ $M=7,8$ (norte de República Dominicana)/ $M=7,5$ (sur y Centro de Haití)

7) los perfiles sísmicos (reflexión, refracción y de gran ángulo) y gravimétricos realizados e interpretados en dos Proyectos científicos internacionales, GEOPRICO y CARIBE NORTE (**31/2014**), muestran, muy bien, la subducción de la placa de Norteamérica bajo la del Caribe en el norte de Puerto Rico-La Española

8) se sostiene que:

8.1) la actividad sísmica:

8.1.1) se diferencia significativamente desde Haití hacia Cuba, en las inmediaciones del Paso de los Vientos

8.1.2) del norte de Haití es mucho mayor que en Cuba

8.1.3) del sureste de Jamaica es mayor que en Cuba

8.1.4) del sur de Haití y el sureste de Jamaica son similares

8.1.5) del norte de Haití es mayor que al norte de República Dominicana

8.1.6) del norte de República Dominicana es menor que al norte de Puerto Rico; pero, esta segunda es menor que al norte de Haití

8.1.7) del centro y sur de República Dominicana es, ligeramente, menor que la del sur de Haití

8.2) las características de la sismicidad se interpretan como respuesta diferencial a la interacción de las placas y la fragmentación de la placa Caribe (en al menos 2 partes: Gonave y La Española-Puerto Rico)

8.3) se han generado tsunamis locales al norte de La Española-Puerto Rico y al sureste de Jamaica; pero, no en Cuba Oriental (ni al norte ni al sur). En Cuba Oriental no hay potencial tsunamigénico demostrado en 500 años

8.4) la menor actividad sísmica de Cuba con relación a Haití y Jamaica se justifica por la pertenencia de la primera a la placa de Norteamérica, de mucha mayor

dimensión y menor deformación que la del Caribe, donde están Jamaica y La Española

8.5) las magnitudes de los terremotos de Cuba Suroriental, USSOR (**Figura 4**), son las mayores de la Provincia Sismotectónica Cuba y se explican por estar en la ZLP Norteamérica-Caribe

8.6) los dos acoples tectónicos, nudos, de las estructuras activas de Cuba Oriental (**Figura 4**) con:

8.6.1) el norte de Haití (nudo de Maisí, NPM/ en el Paso de los Vientos)

8.6.2) las Islas Caimán (nudo de Cabo Cruz, NCC), son muy diferentes. En el segundo caso la sismicidad es, significativamente, mayor ($M_{\text{máx}}=7,7$)

8.7) las características, en cuanto a magnitudes y tsunamis locales, desde el Paso de los Vientos hacia:

8.7.1) el norte de Cuba, Punta de Maisí-Bahía de Nipe

8.7.2) el sur de Cuba, Punta de Maisí-Guantánamo, son similares ($M_{\text{máx}}=5,0$ / sin tsunamis locales/ sin fallecidos por terremotos)

8.7.3) el este de Haití son muy superiores ($M_{\text{máx}}\geq 8,0$ / con generación de tsunamis locales (~10)/ más de 500 fallecidos)

8.8) según **7/1983** y **8/1984**: “...*el sur de Cuba, donde la fosa, estuvo relacionada con el norte Haití hasta el Oligoceno...*”

8.9) la figura 16 de 9/1984 (-*Esquema que nos muestra la separación de Cuba, Jamaica y La Española a consecuencia de la formación de la hoya de Los Caimanes-*) ilustra muy bien la diferenciación entre Cuba y La Española, incluida la falla Septentrional

8.10) **22/1994** aseguran que, en la actualidad, las estructuras del noroeste de Cuba y de La Española están totalmente desarticuladas

9) tres resultados de **15/1989**, **20/1991A** y **21/1991B** con el uso de diferentes métodos confirmaron:

- 9.1)** la diferenciación estructural y morfotectónica de la fosa de Oriente y su entorno marino adyacente. La diferenciación es muy significativa entre Cabo Cruz-Baconao y al este de Baconao-Punta de Maisí. El primer segmento es muy complejo con muchos terremotos y bloques de pequeña dimensión y dirección nordeste; mientras que en el segundo, la sismicidad es muy débil y la estructura cuasi-homogénea con dirección E-W
- 9.2)** un desarrollo neotectónico diferenciado de la mencionada fosa de Bartlett con relación al este de Cuba
- 9.3)** un modelo de evolución, cinemática y tectónica, del Paso de los Vientos desde el Oligoceno al presente (figura D23, página 153, de Calais (1990)). Éste se fundamenta en trabajos de sísmica de reflexión que le permiten sostener:
 - 9.3.1)** la diferenciación lateral y vertical de la zona
 - 9.3.2)** el proceso de separación de las paleo estructuras de Cuba Oriental y del Norte de Haití

10) las mediciones gravimétricas en el entorno del Paso de los Vientos-Maisí (Cuba Oriental)-Las Bahamas-La Española de la expedición norteamericana NPE, **1/1933**, permiten valorar su figura F9 (*-Tendencias estructurales de la región de Bahamas-*). Ella tiene dos sistemas de alineamientos de dirección:

- 10.1)** este-oeste en el norte de La Española-norte de Punta de Maisí
- 10.2)** noroeste-sureste por Bahamas hasta Punta de Maisí, pero sin conexión

11) 1/1993 sostiene también que:

- 11.1)** existe una extensa y definida banda de anomalías negativas (este-oeste) en el norte de Puerto Rico-Haití que se interrumpe, abruptamente, en Punta de Maisí
- 11.2)** las anomalías son muy positivas en la fosa de Bartlett. Concluyeron que no existe relación contemporánea entre esos dos sistemas de anomalías positivas y negativas, y que isostáticamente no hay correspondencia
- 11.3)** en la fosa de Bartlett, segmento de Cuba Oriental, las fallas son de tipo normal y con un arreglo de sistemas de bloques pequeños nordeste y este-oeste

11.4) la Depresión Cul-de-Sac, en el oeste de Haití, al sur del Paso de los Vientos, está sujeta a un campo de esfuerzos compresivo fuerte, muy diferente al determinado en la fosa de Bartlett. Concluyeron que esas dos zonas son de diferente naturaleza

12) los resultados de las mayores investigaciones geológicas y tectónicas, con cooperación internacional, para confeccionar los mapas geológicos (2) y tectónicos (2) de Cuba, no indican que exista relación entre las fallas Oriente y Nortecubana con la Septentrional (**6/1978, 11/1985, 12/1986 y 17/1989**)

13) el siguiente fragmento, mostrado en color rojo, de las afirmaciones de Arango-Arias (1995) sobre **“el buzamiento del plano de falla hacia el sureste”**, debe ser:

13.1) un error, un gazapo, o un lapsus con relación a los puntos cardinales; ya que, de ser esa la dirección del plano de la falla, éste sería perpendicular a la dirección (noroeste-sureste) de la FNC:

13.1.1) pero, la cinemática determinada por la composición vectorial, de los desplazamientos de las placas (Norteamérica y Caribe) (**Figuras 3 y 4**) no le sustenta;

13.1.2) esa dirección, y en ese lugar, no está recogida en los resultados de la tectónica y sísmica marina de: **2/1968, 3/1971, 11/1985, 13/1987 y 16/1989**

Por lo tanto, con todos estos argumentos y datos se descarta, absolutamente, y considera una falacia que exista, actualmente, una relación de continuidad de la falla Septentrional de La Española con las fallas Nortecubana y Oriente.

En otro trabajo de **Enrique Diego Arango-Arias** (Arango-Arias *et al.*, 2015) además de las mencionadas deficiencias de redacción del primero, tiene cuatro aspectos que interesan para la discusión del presente artículo.

Para **el primer aspecto** se reproduce, textualmente, un fragmento: *“Como resultado del análisis de la sismicidad, conjuntamente con la revisión de la manifestación de las fallas activas propuestas anteriormente **en los puntos de nivelación geodésica**, consideramos que la sismicidad que ocurre dentro del territorio emergido está relacionada a pequeñas fallas*

o fracturas. Dado el contexto geodinámico imperante en la región los sismos de mayor energía ocurren en las zonas de fallas Oriente y Norte de La Española y en menor medida en la parte central del área, más alejada de las zonas de fallas principales, **por tanto no hay sismos de interior de placas sino asociados a límites de placas**". En el trabajo de Arango-Arias *et al.* (2015) se obvian, sin argumentar, publicaciones que han discutido, extensamente y con anterioridad, el tema sobre:

1) la validez y alcance de los movimientos recientes para su aplicación en estudios de sismotectónica en Cuba y en la región Oriental, en particular (Marquez *et al.*, 1988; González *et al.*, 1989, 2003; Álvarez *et al.*, 1990; y Cotilla *et al.*, 1991A, 1993, A; Cotilla-Rodríguez, 1993)

2) las características de la sismicidad de Cuba y de la región Oriental, en particular (Álvarez *et al.*, 1985, 1990; Cotilla *et al.*, 1988, 1991A; Cotilla-Rodríguez, 1993 y Cotilla y Álvarez, 1997). Los **otros 3 asuntos** (segundo-cuarto) se relacionan con la misma figura, la N° 17-Modelo sismotectónico para la región oriental de Cuba-.

El segundo aspecto se refiere a la representación, que realizan Arango-Arias *et al.* (2015), del trazo de la falla Norte de La Española:

1) ésta aparece paralela a la costa norte de Cuba Oriental (Maisí-Bahía de Nipe). Esto, consideramos, quedó completamente respondido en el párrafo anterior, por lo que no nos detendremos en ello

2) desde la Bahía de Nipe y hacia el oeste se aprecia que la falla "Norte de La Española" tiene una muy brusca inflexión, de ~70°, que no explican.

El tercer aspecto es delicado de tratar; pero aquí se hace y enfrenta hasta las últimas consecuencias. Esos autores - Arango-Arias *et al.* (2015)- la presentan como original y en parte alguna citan o comentan trabajos, publicados en diferentes revistas y libros, con anterioridad que dan el marco, geodinámico y sismotectónico, que es la Unidad Sismotectónica de Cuba Oriental (**Figura 4**) definida por Cotilla *et al.* (1991) y defendida en una tesis doctoral (Cotilla-Rodríguez, 1993). Aquí, se usa otro fragmento de Arango-Arias *et al.* (2015) donde exponen: "...En este trabajo se propone un modelo sismotectónico que está en correspondencia con el régimen tectónico vigente en la actualidad (fig. 17), **en este**

sentido se considera por primera vez para este territorio la dinámica imperante como consecuencia de los esfuerzos y deformaciones derivados del desplazamiento hacia el Este de la placa de Norteamérica y del contacto con la microplaca de Gonave por medio de la falla transformante Oriente.”

Los autores de este trabajo indicamos (**en rojo y subrayado**) que en el segmento, antes reproducido, hay dos posibilidades con relación al sentido del desplazamiento:

1) **“hacia el ESTE”**, de la placa de Norteamérica, teniendo en consideración lo expuesto, anteriormente, en nuestro punto **13**

2) que sea, por parte de Arango-Arias *et al.* (2015), una errata o un lapsus; ya que está demostrado es hacia el oeste (movimiento a la izquierda) (**Figuras 3 y 4**).

Sobre el meollo del segmento aportado por Arango-Arias *et al.* (2015), los autores del presente artículo remiten al lector, a once publicaciones y las figuras correspondientes indicadas (**hasta el año 2015**, fecha del trabajo de Arango-Arias *et al.*, 2015) que muestran la real autoría sobre la cinemática, la dinámica y la sismogénesis de Cuba Oriental:

- 1) Cotilla *et al.* (1991B) su figura 2
- 2) Cotilla-Rodríguez (1993) su figura 10D
- 3) Cotilla *et al.* (1993) sus figuras 16, 17, 18A y 18B
- 4) Cotilla y Franzke (1994) su figura 2
- 5) Iturralde-Vinent (1994) su figura 24. Este último autor asegura, en la página 25, que: “...En la actualidad en nuestro archipiélago ocurren movimientos tectónicos tanto horizontales como verticales...”
- 6) Cotilla *et al.* (1998) sus figuras 2, 4 y 8
- 7) Cotilla y Udías (1999) su figura 6
- 8) González *et al.* (2003) sus figuras 8A y 8B
- 9) Cotilla *et al.* (2007) su figura 6
- 10) Cotilla (2014) sus figuras 6, 12, 15A y 15B
- 11) Cotilla (2014A) sus figuras 3 y 4.

Otra forma para ilustrar la exposición, y zanjar la discusión, es reproducir dos fragmentos de:

1) Cotilla (2007): “...a partir de los datos de sismicidad, mecanismo focal, neotectónica y sismotectónica se infiere que Cuba está diferentemente afectada por los esfuerzos transpresivos en dirección NE-SO, resultantes de la interacción dinámica de las placas Caribe y Norteamérica...”

2) Cotilla-Rodríguez (2014): “*The seismotectonic complexity of the Cuba region is remarkable, due to the fact that the region corresponds to part of the contact between the plates of North America and Caribbean. Then Cuba is differently affected by the SW-NE transpressive stress, resulting from the interaction of the Caribbean and North American plates. These influences are mainly reflected in the Southeastern and Eastern areas. The active faults are segmented and in their intersections accommodate the regional displacement. In the rest of Cuba there are also some small and moderate intraplate seismic events. They are throughout the country and seem to be associated to the pre-existing zones of crustal weakness*”. Otras publicaciones sobre Cuba también explican la transmisión de los esfuerzos tectónicos, desde la ZLP Caribe-Norteamérica, y la configuración de un conjunto de bloques, fallas con intersecciones, o nudos, y celdas geodinámicas en relación con los terremotos como:

1) Cotilla-Rodríguez (1999A) su figura 8

2) Cotilla y Álvarez (2001) su figura 5

3) Cotilla y Córdoba (2011A) su figura 5. Además, como se expuso en el epígrafe Neotectónica y actividad sísmica el rango de intensidades sísmicas 6-7 grados (**Figura 5**) en la USOR se debe, principalmente, a la perceptibilidad de los terremotos de la USSOR.

Para continuar con nuestras argumentaciones se emplea la definición de Mann y Burke (1984) sobre la ZLP Caribe-Norteamérica. Ésta es una extensa banda apaisada de diferente ancho, ~200 km, que involucra a Islas Caimán-sur de Cuba-Jamaica-La Española-Puerto Rico, e incluye las deformaciones neotectónicas y la sismicidad asociada al proceso de interacción entre las placas. Esa propuesta fue analizada y asumida por González *et al.* (1990), Cotilla *et al.* (1991, 1992) y Cotilla-Rodríguez (1993), indicando que la ZLP no

conlleva ni obliga a la continuación de las fallas en el segmento definido. Posteriormente, Rubio *et al.* (1994) dan los datos que confirman la validez de la definición y su ajuste con la configuración de:

- 1) la microplaca Gonave al sur de Cuba Oriental y su influencia en la USOR de Cuba
- 2) los sistemas de fallas y bloques asociados, en Cuba Oriental, Jamaica y La Española, y las diferencias de sismicidad y mecanismos de focos.

Los autores del presente trabajo consideran que han sido desmontados los “logros”, siempre de otros especialistas y asumidos, indebidamente y muy mal expuestos, como propios, por Arango-Arias (2015) y Arango-Arias *et al.* (2015). Concretamente, la exposición de las ideas de Arango-Arias no es únicamente basta, sino también, carente de originalidad y autoría propia; como demuestran “sus tsunamis y su nueva interpretación sismotectónica de Cuba Oriental”. Sencillamente, ¡esto no es sólo lamentable sino también ofensivo!

CONCLUSIONES

Richard Feynman (Estados Unidos de Norteamérica, 1918 - 1988): *“La religión es la cultura de la fe, la ciencia es la cultura de la duda”*.

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

Conclusiones

Luego de la exposición precedente es factible asegurar que:

1) los terremotos son el reflejo, indiscutible, en la corteza y la superficie terrestre, con fallas, fracturas, bloques y deformaciones, de forma constante y continua de la evolución por procesos endógenos

2) Cuba está localizada en el borde meridional de la placa de Norteamérica e interactúa en su parte suroriental, directamente, con la placa Caribe

3) Cuba tiene dos tipos de sismicidad:

3.1) interior de la placa Norteamérica

3.2) entre placas Norteamérica-Caribe

4) la sismicidad está determinada en:

4.1) la zona suroriental, USSOR, como zona de entre placas, tiene $M_{m\acute{a}x}=7,7$ (inmediaciones de Cabo Cruz (**Figura 4**))

4.2) las USOR, USCO y USOC tienen $M_{m\acute{a}x}=6,2$ (zona de interior de placa)

5) la sismicidad de la Provincia Sismotectónica cubana se debe al proceso de interacción de las placas mencionadas, principalmente, y tiene relación con los sistemas del Atlántico y Pacífico

6) la FNC como parte de Cuba:

6.1) está en la placa de Norteamérica

6.2) tiene una estructura de bloques diversos y basculados y formas del relieve submarino típicas de una zona de plataforma

6.3) constituye el límite norte del megabloque Cuba

6.4) tiene actividad sísmica demostrada en más 500 años ($M_{m\acute{a}x}=6,2$ / tsunamis locales=2/ no fallecidos/ no sismo-dislocaciones)

6.5) no es una continuación la falla Septentrional de La Española ($M_{m\acute{a}x}\geq 8,0$ / 10 tsunamis locales/ ~500 fallecidos/ varias sismo-dislocaciones estudiadas) en la placa Caribe. Esta última falla, como límite activo entre las placas, tampoco se prolonga a través del Paso de los Vientos a la falla Oriente

7) también tiene actividad por influencia antrópica (1981 y 2014).

Finalmente, el estudio confirma, principalmente:

1) la presencia en Cuba septentrional del tipo de sismicidad de interior de la placa Norteamericana

2) la existencia de la FNC con ~1.200 km de longitud

3) la condición de la FNC como el límite septentrional activo del megabloque Cuba en el borde meridional de la placa de Norteamérica

4) la segmentación de la FNC en cuatro partes como sistema sismoactivo heterogéneo; siendo el segmento Centro-Oriental (FNC3) el de más nivel y donde se ha producido el evento más fuerte ($M_{m\acute{a}x}=6,2/ I_{m\acute{a}x}=7$ MSK)

5) la ocurrencia, en los segmentos FNC2 y FNC3, de más 380 terremotos

6) que el segmento FNC2 tiene asociado dos tsunamis locales (1931 y 1939)

7) la profundidad de las zonas sismogénicas de la FNC está entre 10-35 km

8) que la actividad sísmica (2014-2017), en el segmento FNC2, fue provocada por trabajos de investigaciones geofísicas y extracción de gas y petróleo, como sucedió en 1981 en el segmento FNC1, unido a los cambios de tensiones en la corteza producto de más de 90 años de explotación del yacimiento de gas-nafta en la zona de Motembo.

AGRADECIMIENTOS

Aristóteles (Grecia, 385 a.C. - 323 a.C.): *“El ignorante afirma, el sabio duda y reflexiona”*.

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

Agradecimientos: A los Profesores: H.J.Franzke y P.Bankwitz † (Alemania), H.Philip (Francia), E.Nagy (Hungría), A.Ribeiro (Portugal) y V.G.Trifonov (Rusia), por motivar en diferentes momentos, al primer autor, para el estudio de la falla Nortecubana. Los amigos J.Pilarski, H.J.Franzke, G.Millán, E.C.González, L.Llanes, F.Arteaga y O.Portuondo contribuyeron en los estudios de campo dirigidos por el primer autor. La mayoría de las figuras fueron realizadas por A.García-Sarduy. S.Crespillo-Maristegui recopiló muchos de los datos. J.Braunmiller y O.González facilitaron las soluciones completas de los tensores de momento no incluidas en sus respectivas publicaciones. Los Profesores L.Rivera y A.Cisternas facilitaron, al primer autor, el programa para el procesado del Tensor. Los fondos provinieron principalmente de dos Proyectos TSUJAL y KUK-AHPAN RTI2018-094827-B-C21.

REFERENCIAS

William Blake (Reino Unido, 1757 - 1827): *“Energía es deleite eterno”*.

Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba
M.O. Cotilla-Rodríguez, D. Córdoba-Barba y L. Álvarez-Gómez

Referencias

Adushkin, V.V., Rodinov, V.N., Turntaev, S. y Yudin, A.E. (2000). Sismicidad inducida en el campo de petróleo. *Oildfield Review*, 17 pp.

http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish00/aut00/p2_17.pdf

Allen, C.R. (1980). Reservoir-induced earthquakes and ingeneering policy. *Revista Geofísica*, 13, 20-24.

Álvarez, L., Cotilla, M. y Chuy, T. *Informe final del tema 430.03: Sismicidad de Cuba*. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 1990, 400 pp.

Álvarez, L., Vaccari, F. y Panza, G.F. (1999A). Deterministic seismic zoning of Eastern Cuba. *Pure and Applied Geophysics*, 156, 469-486.

Álvarez, L., Lindholm, C. y Villalón, M. (2017). Seismic hazard for Cuba: A new approach. *Bulletin of the Seismological Scoeity of America*, 107(1), doi: 10.1785/0120160074.

Álvarez, L., Rubio, M., Chuy, T. y Cotilla, M. *Informe final del tema 31001: Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba*. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 1985.

Álvarez, L., Villalón, M., Lindholm, C. y Moreno, B. *Peligrosidad y riesgo sísmicos en Cuba y las regiones circundantes. Tarea 2: Peligrosidad sísmica, principios y herramientas*. Informe Científico-Técnico del CENAI, 2015, 153 pp.

Álvarez, L., Chuy, T., García, J., Moreno, B., Álvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O. y Fernández, A.I. *An earthquake catalogue of Cuba and neighbouring areas*. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Miramare-Trieste. Internal Report IC/IR/99/1, 1999, 60 pp.

Amorèse, D., Walker, A., Lagarde, J.-L., Santoire, 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*, 143(3), 837-846.

Arango-Arias, E. *Tsunamis, causas y peligros para Cuba y el norte del Caribe*. En: XI Congreso de Geología, Simposio de Riesgo Geológico y Sísmico GEO10-02. Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias, 2015, 8 pp.

Arango-Arias, E., Pérez-Flores, M.A., Ávila-Barrientos, L. y Batista-Rodríguez, J.A. *Nueva valoración sismotectónica de la región oriental de Cuba en el contexto geodinámico del norte del Caribe*. En: XI Congreso de Geología, Geología Regional y Geodinámica de Cuba y del Caribe GEO1-08. Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias, 2015, 18 pp.

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, 71-85.

Aretxabala, A. (2013). Sismicidad inducida por inyecciones de gas en el Golfo de Valencia. <http://www.antonioaretxabala.blogspot.com/2013.09/sismicidad-inducida-por-inyecciones-de-html>

Authemayou, C., Brocard, G., Teyssier, C., Simon-Labric, T., Gutiérrez, A., Chiquín, E.N. y Morán, S. (2011). The Caribbean-North America-Cocos triple junction and the dynamics of the Polohic-Motagua fault systems: Pull-up and zipper models. *Tectonics*, 30, TC3010, doi: 10.1029/2010TC002814.

Baranov, S.V., Zhukova, S.A., Korchak, P.A. y Shebalin, P.N. (2020). Productivity of mining induced seismicity. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 56, 326-336.

Batistas, C. (2014). Cuba puede aumentar en 50% producción petrolera con nuevas tecnologías, 09.02.2014. <http://www.elnuevoherald.com/2014/02/09/675020/Cuba-puede-aumentar-en-50-produccion-html>

Berk Biryol, C., Lara, S., Wagner, K., Fischer, M. y Hawman, R.B. (2016). Relationship between observed upper mantle structures and recent tectonic activity across the southeastern United States. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2015JB012698

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, 919-928.

Burkart, B. (1978). Offset across the Polohic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico. *Geology*, 6, 328-332.

Caféfuerte. ¿Qué se vislumbra en el proyecto de petróleo de Cuba? 23.01.2014. <http://www.cafefuerte.com/cuba/11036-que-se-vislumbra-en-el-proyecto-petrolero-de-cuba>

Calais, E. *Relations cinématique / deformation le long der limites de plaques en coulissage. L'Exemple de la limite de plaques Nord-Caraibe de Cuba a Porto Rico*. These doctorat de l'Universite de Nice-SophiaAntipolis. Faculté der Sciences et Techniques de Nice-Sophia Antipolis, 1990, 289 pp.

Campbell, R.B. *Earthquakes in Florida*. Florida Academy of Science, Proceedings, 6(1), 1-14, 1942.

Campbell, D.L. (1978). Investigation of the stress concentration mechanism for intraplate earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 5, 477-479.

Chuy, T. (1982). Actividad sísmica de la provincia Holguín. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 2, 20-45.

Chuy, T. y González, B.E. (1980). Catálogo macrosísmico de la región occidental de Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 1, 18-32.

Chuy, T., Vorobiova, E., González, B.E., Álvarez, L., Pérez, E., Serrano, M., Cotilla, M. y Portuondo, O. (1983). El sismo de 16 de diciembre de 1982. Torriente-J. Grande. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 3, 43 pp.

Cibercuba. Cupet confirma que hay petróleo en la Zona Exclusiva de Cuba en el Golfo de México. Agencia EFE, 5.04.2017.

Comisión Ad-hoc. *Dictamen de la Comisión Ad hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la región Oriental de Cuba y sus zonas aledañas*. Instituto de Geofísica y Astronomía, 1991, 6 pp.

Cotilla-Rodríguez, M.O. *Una caracterización sismotectónica de Cuba*. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba, 1993, 200 pp.

- Cotilla, M. (1995). José Martí, la Sismología y los terremotos en zonas estables. *Revista Historia de América*, 119, 35-47.
- Cotilla, M. (1998). Sismicidad y sismotectónica de Cuba. *Revista Física de la Tierra*, 10, 53-86.
- Cotilla, M. (1998A). Revisión de estudios sismotectónicos en Cuba. *Estudios Geológicos*, 54(3-4), 129-145.
- Cotilla, M. (1998B). An overview on the seismicity of Cuba. *Journal of Seismology*, 2, 323-335.
- Cotilla, M. (1999). Apuntes necesarios acerca de los acontecimientos sismológicos en Cuba. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, 19, 71-93.
- Cotilla, M. (1999A). El controvertido alineamiento Habana-Cienfuegos, Cuba. *Estudios Geológicos*, 55(1-2), 67-88.
- Cotilla, M. *Un recorrido por la Sismología de Cuba*. Editorial Complutense. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 97-8-47-491827, 2007, 350 pp.
- Cotilla, M. (2014). Alternative interpretation for the active zones of Cuba. *Geotectonics*, 48(6), 459-483.
- Cotilla, M. (2014A). Sismicidad de interior de placa en Cuba. *Revista Geofísica*, 64, 93-125.
- Cotilla, M. (2016). The Guane fault, western Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 57, 159-198
- Cotilla-Rodríguez, M.O. (2017). Evaluation of recent intraplate seismic activity on Cochinós Bay, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 195-222.
- Cotilla, M. y Álvarez, J.L. (1998). Esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica en Cuba. *Revista Geofísica*, 49, 47-85.
- Cotilla, M. y Álvarez, L. (1999). Mapa de zonas sismogeneradoras en Cuba. *Geología Colombiana*, 23, 97-106.
- Cotilla, M. y Álvarez, L. (2001). Regularidades sismogenéticas de la unidad neotectónica Occidental de Cuba. *Revista Geológica de Chile*, 28(1), 3-24.
- Cotilla, M. y Córdoba, D. (2010). Study of the Cuban fractures. *Geotectonics*, 44(2), 176-202.
- 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*, 47(6), 496-518.
- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1994). Some comments on the sismotectonic activity of Cuba. *Zeitschrift Geologische Wissenschaft*, 22 (3/4), 347-352.
- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1999). Validación del mapa sismotectónico de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 110(5), 573-580.
- Cotilla, M., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. *Esquema de alineamientos principales de la región Cochinós-Tunas, a escala 1:500.000*. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, 1992, 100 pp.

Cotilla, M., Cañete, C. y Díaz, J. *Estudio morfoestructural de la Sierra Maestra*. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS, 1993A, 200 pp.

Cotilla, M., Córdoba, D. y Núñez-Cornú, F. (2019). Caracterización sismotectónica de México. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 103-139.

Cotilla, M., Álvarez, L., Chuy, T. y Portuondo, O. (1988). Peligrosidad sísmica de Cuba (2). Algunos criterios sobre la peligrosidad en zonas de baja actividad del territorio de Cuba. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 5, 15 pp.

Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, L., Franzke, H.J., González, E., Grünthal, G., Pilarski, J., Díaz, J. y Arteaga, F. (1991). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 3, 25 pp.

Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke, H.J., Álvarez, L., González, E., Pilarski, J., Díaz, J.L. y Arteaga, F. (1996). Una valoración sismotectónica de Cuba. *Revista Geofísica*, 45, 113-179.

Cotilla, M., Franzke, H.-J., Pilarski, J., Portuondo, O., Pilarski, M. y Álvarez, L. (1991C). Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Revista Geofísica*, 35, 53-112.

Cotilla-Rodríguez, M.O., Franzke, H.J. y Córdoba-Barba, D. (2007). Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysics*, 48, 1-18.

Cotilla, M., Rubio, M., Álvarez, L. y Grünthal, G. (1997A). Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores. *Revista Geofísica*, 46, 129-150.

Cotilla, M., Millán, G., Álvarez, L., González, D., Pacheco, M. y Arteaga, F. *Esquema neotectogénico de Cuba*. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, 1993, 250 pp.

De las Doblas, M. (2013). Sismicidad reciente inducida por la actividad humana en el golfo de Valencia, al este de Vinaroz (en el Blog Brainstorming Geology).

<http://brainstorminggeology.blogspot.com.es/2013/sismicidad-reciente-inducida-por-la.htm>

De Simone, S., Carrera, J. y Villaraza, V. (2017). Superposition approach to understand triggering mechanisms of post-injection induced seismicity. *Geothermics*, 70, 85-97.

Díaz-Aguirre, J. *Estudio geológico-geofísico del sector marino de aguas profundas, ubicado al NO de los poblados Los Arroyos-Durias como apoyo a la explotación petrolera*. Trabajo de diploma, Universidad de Pinar del Río, Facultad de Geológica y Mecánica, 2011, 74 pp.

Dixon, T., Farina, F., DeMets, C., Jansma, P., Mann, P. y Calais, E. (1998). Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation from decade of GPS observations. *Journal Geophysical Research*, 103, 15.157-15.182.

Dolan, J.F., Mullins, H.T. y Wald, D.J. *Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collision strain, and opposing subducted slabs*. Special Paper of the Geological Society of America, 326, 1-62 pp., 1998.

Drakopoulos, J. *Conditions and triggering mechanism of earthquake activity in the region of Kremasta-Kastraki dams, Greece*. National Observatory of Athens, 1974, 144 pp. (en Griego).

Dutton, C.E. (1889). The Charleston earthquake of August 31, 1886. *Annual Report, USGS 1887-88*, 203-528.

El Mundo (2013). Frenan el almacenamiento de gas Castor en Castellón por la actividad sísmica. <http://www.elmundo.es/elmundo/2013/09/26/castellon/380228764.html>

Elmundo.es Cuba dice que tiene reservas de petróleo sin explotar del volumen de los Estados Unidos. REUTERS, 17.10.2008.

Esteban-Pérez, R. (2018). Presas y embalses y el efecto de la sismicidad inducida. 50 años del desastre el embalse de Koyna. *Tierra y Tecnología*, 51. <https://www.icog.es/TyT/index.php/2018/04/presas-embalses-y-el-efecto-de-la-sismicidad-inducida-50-anos-del-desastre-del-embalse-de-koyna/>

European-Mediterranean Seismological Center [EMSC] 2014. <http://www.emsc-csem.org/>

Evans, D.M. (1966). Man-made earthquakes in Denver. *Geotimes*, 10(9), 11-18.

Flores-García, V. (2013). La frustración cubana en sus exploraciones petroleras. *Diario Digital (ContraPunto)*, El Salvador, Centroamérica, 21.10.2013.

Foulger, G.R., Wilson, M., Gluyas J., Julian, B.R., y Davies, R. (2017). Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews* <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.008>

Franco, S.I., Canet, C., Iglesias, A. y Vallis-González, C. (2013). Seismic activity in the Gulf of Mexico. A preliminary analysis. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 65(3), 447-456.

Frohlich, C. (1982). Seismicity of the central Gulf of Mexico. *Geology*, 10(2), 103-106.

GeoForschungZentrum [GEOFON] (2014). Potsdam, Germany.

Global Centroid-Moment-Tensor [GCMT], 2020. Project. <https://www.globalcmt.org>

González, B.E. y Chuy, T. (1983). Actividad sísmica de la provincia Pinar del Río. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4, 53-68.

González, E., Cotilla, M., Cañete, C. y Díaz, J. *Esquema geomorfológico-estructural de la Sierra Maestra, escala 1:100.000*. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, 1990, 150 pp.

González, E., Cotilla, M., Cañete, C., Díaz, J., Carral, R. y Arteaga, F. (2003). Estudio morfoestructural de Cuba. *Geografía Física y Dinámica Cuaternaria*, 26, 49-69.

González, E., Díaz, J., Oro, J., Pérez, L. y Cotilla, M. (1989). Esquema neotectónico de Cuba, escala 1:250.000. *Revista Geológica*, 1, 16-34.

Grasso, J.R. (1992). Mechanics of seismic instabilities induced by the recovery of hydrocarbons. *Pure and Applied Geophysics*, 130(3/4), 507-534.

Gubbins, D. *Seismology and plate tectonics*. 2nd edition. Cambridge University Press, 1992.

Gutenberg, B. y Richter, C.F. *Seismicity of the Earth and associated phenomena*. Princeton, New Jersey, 1954, 310 pp.

Hernández, J.R., Blanco, P. y Díaz, J.L. *Rasgos estructuro-geomorfológicos de los mares y océanos circundantes de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 1988, 14 pp.

Hough, S.E., Seeber, L. y Armbruster, J.G. (2003). Intraplate triggered earthquakes: Observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(3), 2.212-2.221.

Johnston, A.C. (1996). Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions I: Instrumental seismicity. *Geophysical Research Journal*, 124(2), 381-414.

Johnston, A. y Kanter, L. (1990). Earthquakes in stable continental crust. *Scientific American*, 262(3), 68-75.

Kafka, A.L. y Weidner, T.J. (1980). The focal mechanisms and depths of small earthquakes determined from Rayleigh wave radiation patterns. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 69, 1.379-1.390.

Krenienetskaya, E.O. y Triapitsin, V.N. (1995). Induced seismicity in the Khibiny massif (Kola Peninsula). *Pure and Applied Geophysics*, 145(1), 29-37.

Lane, E. *Earthquakes and seismic history of Florida*. Florida Geological Survey, Open File report 40, 1991, 11 pp.

Lawson, A.C. *The California earthquake of April 18, 1906*. Report of the State Earthquake Investigation Commission, 1908, 1.643 pp.

Leonov, Yu.G. (1995). Esfuerzos en la litosfera y geodinámica de interior de placa. *Geotectonika*, 6, 3-22 (en Ruso).

Liu, L. y Zoback, M.D. (1977). Lithospheric strengths and intraplate seismicity in the New Madrid seismic zone. *Tectonics*, 16, 585-595.

Mann, P. y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean. *Review of Geophysics and Space Physics*, 22(4), 309-392.

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, 1-69.

Mann, P., Prentice, C.S., Burr, G., et al. *Tectonic, geomorphology and paleoseismology of the Septentrional Fault System, Dominican Republic*. En: Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone. Editores: J.Dolan y P.Mann. Geol.Soc.Am.Spec. Paper, 1998, 326, 63-123 pp.

Martínez-Díaz J.J. (1999). Sismotectónica de la falla de Alhama de Murcia. Implicaciones sismogénicas del terremoto de Lorca de junio-1977 ($M_b=4,2$). *Estudios Geológicos*, 55, 251-266.

Martínez-Reyes, J. y Nieto-Samaniego, A. (1990). Estudio del Eje Neovolcánico Transmexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 9(1), 33-50.

Marquez, M^a.E., Chuy, T., Cotilla, M., Rueda, J. y Venereo, A. (1988). Algunos resultados de las investigaciones geofísicas complejas en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba. *Revista Movimientos Recientes del Instituto de Geodesia y Cartografía*, 2, 15 pp.

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.

McGarr, A. (2014). Maximum magnitude earthquakes induced by fluid injection. *Journal Geophysical Research Solid Earth*, 119, 1.008-1.019.

Melo, N. *Oceanografía de la Cuenca de Yucatán, Mar Caribe*. 2012, 131 pp.
https://www.researchgate.net/publication/258295089_Oceanografia_de_la_Cuenca_de_Yucatan_Mar_Caribe

Middleton, T.A., Walker, R.T., Parsons, B., Lei, Q., Zhou, Y. y Z. Ren, Z. (2015). The major, intraplate, normal-faulting earthquake: The 1739 Yinchuan event in northern China. *Bulletin of Seismological Society of America*, <https://doi.org/10.1002/2015jB012355>

Milne, W.G. y Berry, M.J. (1976). Induced seismicity in Canada. *Engineering Geology*, 10, 219-226.

Mocquet, A. *Vitesses de déplacement discontinue le long d'une zone limite de plaques: Caribes-Amerique du Nord*. Master Thesis, University of Rennes, France, 1984, 53 pp. (en Francés).

Molnar, P. y Sykes, L.R. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanism and seismicity. *Geological Society of America Bulletin*, 80(9), 1.639-1.684.

Moreno-Toirán, B. (2002). The new Cuban seismograph network. *Seismological Research Letters*, 33(4), 504-517.

Moreno, B., Grandison, M. y Atakan, K. (2002). Crustal velocity model along the southern Cuban margin: implications for the tectonic regime at an active plate boundary. *Geophysical Journal International*, 151, 632-645.

Moretti, I., Tenreiro, R., Linares E., López-Rivera, J.G., Letouzey, J., Magnier, C., Gaumet, F., Lecomte, J., López-Quintero, J.O., y Zimine, S. *Petroleum systems of the Cuban northwest offshore zone*. Editores: C.Bartolini, R.Buffler y J. Blickwelde J. En: *The circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. AAPG Memoir 79, p. 675-696 pp., 2003.

National Earthquake Information Center [USGS] (2014A). Earthquake hazards program, U.S.A. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000zju#scientific>

National Earthquake Information Center [USGS] (2014B). <http://www.usgs.gov/faq/?q=taxonomy/term/9833>

Nikolaev, N.I. *Estado de los estudios sobre los terremotos inducidos que se relacionan con la actividad industrial*. En: *Influencia de la actividad industrial en el régimen sísmico*. Nauka, Moscú, 1977 (en Ruso).

Pérez-López, R. y Giner-Robles, J.L. *Sismicidad inducida en el yacimiento marino de gas Poseidon mediante el estudio de la sismicidad a largo plazo*. Resúmenes de la 3ª Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Alicante, España, 2018, 283-286 pp.

Perrot, J., Calais, E. y Mercier de Lepinay, B. (1997). Tectonic and kinematic regime along the northern Caribbean plate boundary: new insights from broadband modelling of the May 25, 1992, $M_s=6.9$ Cabo Cruz, Cuba earthquake. *Pure and Applied Geophysics*, 149, 475-487.

Poey, A. (1855A). Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis à l'île de Cuba de 1551 à 1855. *Annales des Voyages*, 6, 301 pp. (en Francés).

Poey, A. (1855B). Supplément au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis à l'île de Cuba de 1530 à 1855. *Annales des Voyages*, 4, 286 pp. (en Francés).

Poey, A. (1857). Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dans les Indes Occidentales de 1530 à 1857. Accompagné d' une revue bibliographique contenant tous les travaux relatifs aux tremblements de terre des Antilles. *Annuaire de la Société Météorologique de France*, 5, 75-227 (en Francés).

Powell, R.E. y Weldon, R.J. (1992). Evolution of the San Andreas fault. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 20, 431-468.

Prentice, C.S., Mann, Taylor, F.W., *et al.* (1993). Paleoseismicity of the North American-Caribbean plate Boundary (Septentrional fault), Dominican Republic. *Geology*, 21, 49-52.

Prol, J., Ariaza, G. y Otero, R. *Sobre la confección de los mapas de profundidad del basamento y espesor de la corteza terrestre en el territorio cubano*. Informe Científico-Técnico de la Empresa Nacional de Geofísica, Ministerio de la Industria Básica de Cuba, 1993, 36 pp.

Prol, J.L. y Rifá, M. Argumentación de la falla San Andrés en el Golfo de México mediante la interpretación del campo gravitacional. III Jornada Científica y de Calidad del Centro de Investigaciones del Petróleo, Ciudad de La Habana, Cuba, 2006.

Público. Descubren petróleo de alta calidad en Cuba. F. Ravnberg, 2.08.2016

Rautian, T. *Método detallado para el estudio de la sismicidad*. Informe del Instituto de Física de la Tierra, Academia de Ciencias de la URSS, 9, Moscú, 1960, 176 pp. (en Ruso).

Rautian, T.G., Khalturin, V.I., Fujita, K., Mackey, K.G., Kendall, A.D. (2007). Origins and methodology of the Russian energy K-class system and its relationship to magnitude scales, *Seismological Research Letters*, 78, 579-590.

Reagor, B.G., Stover, C.W. y Algermissen, S.T. *Seismicity map of the State of Florida*. 1983.

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), 600-614.

Rosencratz, E. (1990). Structure and tectonics of the Yucatan Basin, Caribbean Sea, as determined from seismic reflections studies. *Tectonics*, 9(5), 1.037-1.059.

Rosencratz, E. y Mann, P. (1991). Sea MARC II mapping transform faults in the Cayman trough Caribbean Sea. *Geology*, 19, 690-693.

Rubio, M., Cotilla, M. y Álvarez, L. *Evidencias sobre la microplaca Gonave*. Instituto de Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 1994, 20 pp.

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.

Segall, P. (1989). Earthquakes triggered by fluid extraction. *Geology*, 17(1), 942-946.

Serrano, M. y Álvarez, L. (1983). Desarrollo de la sismología instrumental en Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4, 5-20.

Simpson, D.W. y Negmatulaev, S.K. (1981). Induced seismicity at Nurek reservoir. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 1.561-1.586.

Smirnov, V.B., Chadka, R.K., Ponomarev, A.V. y Srinagesh, D. (2013). Prognostic anomalies of induced seismicity in the region of the Koyna-Warna water reservoirs, West India. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 49(2), 243 pp.

Sunge-Puchol, I., Lacan, I., Ortuño, M^a, Villamor, P., Audin, L., Zúñiga, F.R., Langridge, R.M., Agrime-Díaz, G.J. y Lawton, T.F. (2015). La falla San Mateo: Nuevas evidencias paleosismológicas de fallamiento activo en el graben Acambay, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3).

Sykes, L.R. (1978). Intraplate seismicity reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism and tectonic postdating continental fragmentation. *Review of Geophysics and Space Physics*, 16(4).

Sykes, L.R. y Ewing, M. (1965). The seismicity of the Caribbean region. *Journal Geophysical Research*, 70, 5.065-5.074.

Taber, S. (1914). Seismic activity in the Atlantic Coastal Plain near Charleston, South Carolina, *Bulletin Seismological Society of America*, 4, 108-160.

Talwani, P y Rajendran, K. (1991). Some seismological and geometric features of intraplate earthquakes. *Tectonophysics*, 186(1-2), 19-41.

Telesurtv (2012). Cuba reinició campaña de exploración petrolera con compañía rusa, 15.12.2012. <http://www.telesurtv.net>

Titus, S.J., DeMets, Ch. y Tikoff, B. (2005). New slip rate estimates for the creeping segment of the San Andreas fault, California. *Geology*, 33(3), 205-208.

University of North Carolina at Chapel Hill (2016). Likely cause for recent southeast US earthquakes: Underside of the North American Plate peeling off. *ScienceDaily*. <http://www.sciencedaily.com/releases/2016/05/160503130840.htm>

USAID. *Seismic hazard maps: The Bahamas and Turks and Caicos Islands*. Caribbean disaster mitigation project, 2020. http://www.oas.org/cdmp/document/seismap/bah_tci.htm

Vadillo-Fernández, L., Fernández-Naranjo, F.J., Rodríguez-Gómez, V. y López-Gutiérrez, J. (2017). Revisión de la casuística sobre sismicidad inducida por producción y almacenamiento de hidrocarburos. *Boletín Geológico y Minero*, 128(1), 241-252.

Van Eck, T., Goutbeek, F., Haak, H. y Dost, B. (2006), Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in The Netherlands. *Engineering Geology*, 87,105-121.

Van Dusen, S.H. y Doser, D.I. (2000). Faulting processes of historic (1917-1962) $M \geq 6.0$ earthquakes along the North-central Caribbean Margin. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 719-736.

- Vargas-Easton, G., Inzulza-Contardo, J., Pérez-Tello, S., Ejsmentewicz-Cáceres, D. y Jiménez-Yáñez, C. (2018). ¿Urbanización fallada? La falla San Ramón como un mero escenario de riesgo sísmico y la sostenibilidad de Santiago, Chile. *Revista de Urbanismo*, 38, 1-20.
- Vinogradov, Yu.A., Asming, V.E., Kremenstskaya, E.O. y Zhirov, D.V. (2016). Modern seismicity in mining areas in the Murmansk region. *Journal of Mining Science*, 52(1), 46-52.
- 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. doi:10.1016/S1872-5791(08)60073-1
- White, R. (1985). The Guatemala earthquake of 1816 on the Chixoy-Polochic fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75, 455-473.
- 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.
- Wilson, M.P., G. Foulger, G.R., Gluyas, J.G., Davies, R.J. y Julian, B.R. (2017). HiQuake: The human induced earthquake database. *Seismological Research Letters*, 88(6), 1.560-1.565.
- Witze, A. (2019). Two of the biggest US earthquake faults might be linked. *Nature*, 576, 191-192.
- 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.
- Zapata, J., Guasch, F., Serrano, M., Montenegro, C., González, O., Díez, E. y del Pino, J. *Servicio Sismológico Nacional de Cuba, primeros resultados después de la transformación tecnológica*. Editor J.Zapata. En: Red de estaciones e investigaciones sismológicas en Cuba. La Habana, Editorial Academia, 2000, 27-33 pp.

RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 1.-** Cuba en Las Antillas (modificada de Cotilla, 2014)
- Figura 2.-** Tipos de sismicidad y placas litosféricas (modificada de Cotilla, 2014A)
- Figura 3.-** Unidades neotectónicas de Cuba (modificada de Cotilla-Rodríguez, 2017)
- Figura 4.-** Mapa sismotectónico de Cuba (modificada de Cotilla, 2014)
- Figura 5.-** Mapa de Peligrosidad Sísmica de Cuba (modificada de Cotilla *et al.*, 1988)
- Figura 6.-** Mapas de la sismicidad registrada (hasta 2018, CENAIIS)
- Figura 7.-** Mapa de ubicación de las estaciones sismológicas permanentes (CENAIIS, 2018)
- Figura 8.-** Tensores de momento y planos de fallas (modificada de Braunmiller *et al.*, 2019)
- Figura 9.-** Localización de las ciudades de Moa y Baracoa, en Cuba Oriental
- Figura 10.-** Figura modificada del Boletín Informativo Especial No. 2 /2014 (CENAIIS)
- Figura 11.-** Imagen modificada del artículo “**Petróleo en Cuba: ¿dónde está el oro negro?**”
(CubaDebate (16.09.2016/ María del Carmen Ramón))
- Figura 12.-** Esquema de la provincia Villa Clara y sus municipios

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.- Datos de algunas de las primeras villas (o ciudades) cubanas (siglos XVI-XVII)

Tabla 2.- Terremotos de Cuba Septentrional (Chuy, 1982)

Tabla 3A.- Terremotos históricos del segmento Occidental de la falla Nortecubana

Tabla 3B.- Terremotos históricos de los dos segmentos Centrales de la falla Nortecubana

Tabla 3C.- Terremotos históricos del segmento Oriental de la falla Nortecubana

Tabla 3D.- Terremotos instrumentales del segmento Occidental de la falla Nortecubana

Tabla 3E.- Terremotos instrumentales de los segmentos Centrales de la falla Nortecubana

Tabla 3F.- Terremotos instrumentales del segmento Oriental de la falla Nortecubana

Tabla 4.- Resumen (Tablas 3A-F) de los terremotos asociados con la falla Nortecubana

Tabla 5.- Selección de publicaciones con análisis sismotectónico

Tabla 6.- Datos de los tres terremotos más fuertes de Cuba Occidental y Cuba Central

Tabla 7.- Estaciones sismológicas permanentes de Cuba (diciembre 2018; modificado de <http://www.cenais.cu>)

Tabla 8.- Algunos terremotos de Las Bahamas (USGS)

Tabla 9.- Resumen de los terremotos de La Florida

Tabla 10.- Selección de terremotos del sur y sureste de Estados Unidos de Norteamérica (USGS)

Tabla 11.- Datos de tres fuentes internacionales para tres terremotos del año 2014 en Corralillo

Tabla 12.- Trabajos de la zona de interés entorno a las fallas Nortecubana-Oriente y Septentrional

RELACIÓN DE ABREVIATURAS

CENAIIS=Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

EMSC=European Mediterranean Seismological Centre (Centro sismológico euromediterráneo)

FNC=Falla Nortecubana

GEOFON=Institución del GFZ (German Research Center for Geosciences)

IGA=Instituto de Geofísica y Astronomía

M=Magnitud

MINBAS=Ministerio de la Industria Básica

SI=Sismicidad inducida

SIP=Sismicidad de interior de placa

US=Unidad Sismotectónica

USGS=United States Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos)

USOC=Unidad Sismotectónica Occidental

USOR=Unidad Sismotectónica Oriental

USSOR=Unidad Sismotectónica Suroccidental

ZEC-GM=Zona Económica Cubana (o Área de Trabajos) del Golfo de México

ZLP=Zona Límite de Placas

Nota: Al pie de las **figuras** y las **tablas** hay otras abreviaturas, todas explicadas.