



Valoración crítica sobre la falla nortecubana

Critical assessment of the nortecubana fault

Mario Ovtavio Cotilla Rodríguez ^{1,*}, José Leonardo Álvarez Gómez ²

Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Físicas y Astrofísica. España

*mario.cotilla@gmail.com

² Investigador independiente. Managua, Nicaragua

(recibido/received: 11-abril-2023; aceptado/accepted: 25-mayo-2023)

RESUMEN

La falla Nortecubana es una estructura geológica extensa (~1.200 km), arqueada (cóncava al sur), segmentada (en 4 partes) y submarina, en el plano contemporáneo, sísmicamente activa, al norte de Cuba, y que constituye el límite septentrional del megabloque. En el interior del megabloque hay varias estructuras lineales activas que siguen sus dos direcciones: 1) SO-NE -las fallas Consolación del Norte, Guane y Pinar-; 2) NO-SE -las fallas Cubitas, Las Villas y Tuinicú-. A ella se asocian terremotos históricos y del periodo instrumental ($M_{\text{máx}} 6,2$); todos de tipo interior de placa (norteamericana). La categoría regional es de nivel 5. La actividad antrópica ha generado algunos sismos, todos de baja energía. No hay fallecidos asociados con la actividad de la falla, y sólo ha producido 2 tsunamis locales. Se argumenta contra la incorrecta relación que han supuesto otros autores con las fallas Septentrional (norte de La Española) y Oriente (sur de Cuba oriental).

Palabras claves: Caribe, Cuba, Falla, La Española, Sismotectónica

ABSTRACT

The Nortecubana fault is an extensive geological structure (~1.200 km), arched (concave to the south), segmented (into 4 parts) and submarine, in the contemporary plane, seismically active, to the north of Cuba, and which constitutes the northern limit of the megablock. 1) SW-NE -Consolación del Norte, Guane and Pinar faults-; 2) NW-SE -Cubitas, Las Villas and Tuinicú faults-. Historical earthquakes and those of the instrumental period ($M_{\text{max}} 6.2$) are associated with it; all interior plate type (North American). The regional category is level 5. Anthropogenic activity has generated some earthquakes, all of low energy. There are no fatalities associated with fault activity, and it has only generated 2 local tsunamis. It is argued against the incorrect relationship that other authors have assumed with the Northern (North of Hispaniola) and Oriente (South of Eastern Cuba) faults.

Keywords: Caribbean, Cuba, Fault, Hispaniola, Seismotectonic

1. INTRODUCCIÓN

El Caribe Septentrional, en el segmento neotectónico de Islas Caimán a Puerto Rico (Figura 1), muestra muchos rasgos de la compleja evolución geodinámica que ha tenido y aún tiene. Esos elementos son debidos, fundamentalmente, a la muy grande influencia de la interacción entre las placas de Norteamérica y del Caribe; que también perciben la influencia de otras colosales estructuras litosféricas como las placas Pacífico y Suramérica. No obstante, las estructuras emergidas y submarinas caribeñas tienen rasgos comunes y también diferentes. En ellas no existe homogeneidad total, ni tampoco relaciones de continuidad simple ni evidente. Esto, que es lógico y de sentido común, no impide la formulación de desafortunadas interpretaciones sobre la falla Nortecubana [FNC] (Figura 2).

La FNC que, ha sido indicada en diferentes publicaciones desde la década de 1970, es una extensa zona de fracturas de la corteza que se localiza en la zona marítima al norte del archipiélago cubano. Indicamos que fue el colega alemán Joachim Pilarski, en 1984, quien expuso al primer autor una reflexión sobre las características morfoestructurales y la potencialidad sísmica de esta estructura.

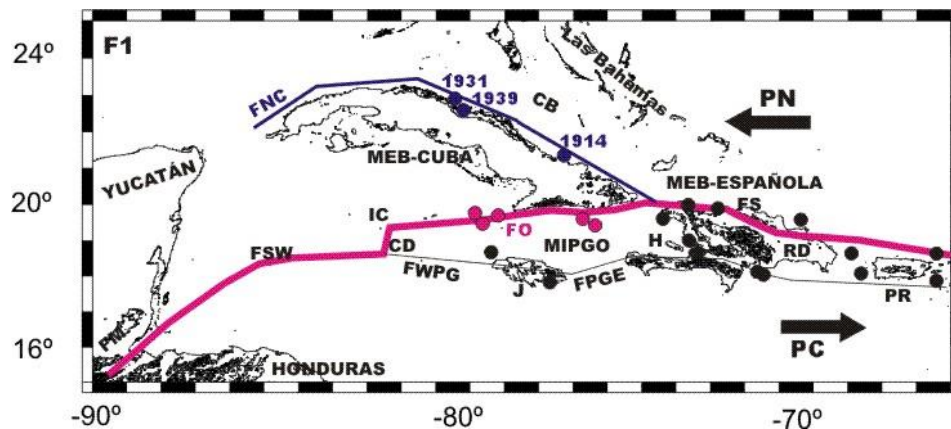


Figura 1.- Esquema tectónico contemporáneo del Caribe Septentrional. 1) Siglas: CB= Canal Viejo de Bahamas; CD= Centro de Dispersión; H= Haití, IC= Islas Caimán, J= Jamaica, PR= Puerto Rico, RD= República Dominicana; 2) Placas (PC= Caribe, PN= Norteamericana); 3) Microplaca Gonave= MIPGO; 4) Fallas (líneas con siglas: 4.1) color rojo: FM= Motagua, FO= Oriente, FS= Septentrional, FSW= Swan; 4.2) color negro: FWPG= Plantain Garden, FPGE= Enriquillo; 4.3) color morado: FNC= Nortecubana); 5) Epicentros (círculos con números (fecha) y color: A) negro (en las fallas: FWPG, FPGE); B) rojo (en las fallas FM, FO, FSW); C) morado (en la falla FNC); 6) Sentido de movimiento de las placas (flechas gruesas negras); 7) Megabloque (MEB-CUBA, MEB-ESPAÑOLA).

La reciente ocurrencia de un terremoto perceptible al norte de la localidad cubana de Puerto Padre (provincia de Las Tunas) (Figura 2) ha motivado a los autores para la redacción de este trabajo. Sobre ese terremoto (08.11.2022/ 11:33:39 UTC/ M=5,0/ h=10 km/ 21,7125N 76,489O) el CENAIIS ha confirmado la perceptibilidad del sismo en varias localidades. Aproximadamente, 40 días después se registró otro evento perceptible: (17.12.2022/ 06:40:52 UTC/ M=4,8/ h=10 km/ 21,817N 76,503O). Éste, evidentemente, en la misma región y con una magnitud ligeramente inferior, le consideramos una réplica (Figura 3). Los datos fueron tomados del USGS (2022).

Desde hace algunos años la FNC ha sido incorrectamente relacionada, al este, con la falla Septentrional [FS] de La Española (Haití y República Dominicana) y al sur con la falla Oriente [FO] (oeste de Islas Caimán-Cuba Suroriental) (Arango *et al.*, 2015) (Figuras 1-2). Posteriormente retomaremos este asunto; pero por el momento basta indicar que la: 1) FNC es una estructura del interior de la placa norteamericana; 2) FS es de tipo entre placas (Caribe-Norteamérica); 3) FO es también de tipo entre

placas (Caribe-Norteamérica; 4) en el entorno de la Punta de Maisí las 3 fallas mencionadas se vinculan para configurar un nudo morfoestructural activo o enlace sismotectónico.

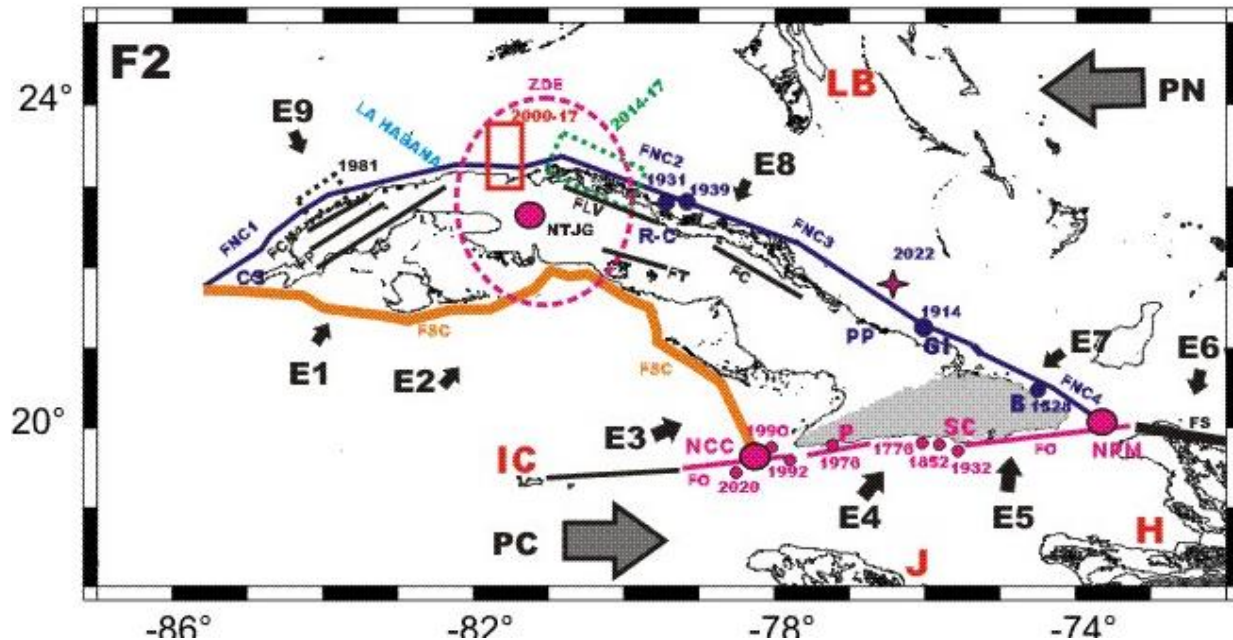


Figura 2.- Fallas Nortecubana y Oriente con actividad sísmica. 1) Siglas: Localidades en color: (morado (B= Baracoa, CS= Cabo de San Antonio, GI= Gibara, PP= Puerto Padre, R-C= Remedios-Caibarién); rojo (SC= Santiago de Cuba); naranja (H= Haití, J= Jamaica, LB= Las Bahamas); 2) Fallas (FO= Oriente (sigla y línea de color rojo); FCN= Consolación del Norte, FC= Cubitas, FG= Guane, FLV= Las Villas, FP= Pinar, FS= Septentrional, FT= Tuinicú (sigla y línea de color negro); FNC1-FNC4= Nortecubana (sigla y línea de color morado); FSC= Surocubana (sigla y línea de color naranja); 3) Placas (PC= Caribe, PN= Norteamericana); 4) Sentido de movimiento de las placas (flechas negras gruesas); 5) Eje principal de los esfuerzos (sigla E1-E9 con flecha en color negro); 6) Nudos morfoestructurales (círculos rojos grandes con sigla (NCC= Cabo Cruz, NPM= Punta de Maisí, NTJG= Torriente-Jagüey Grande)); 7) Zonas de actividad sísmica antrópica (rectángulos de color (naranja, negro, verde)); 8) Epicentros 8.1) círculos (de colores morado y rojo con fecha); 8.2) estrella (color rojo con fecha); 9) Zona de deformación (elipse discontinua en color rojo, y sigla ZDE).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente valoración parte del análisis sismotectónico. Estos trabajos combinan resultados de estudios de diferentes disciplinas de las geociencias con los sismológicos. En el caso de la sismicidad, se basan en dos fuentes fundamentales: los catálogos de terremotos y los datos de tensores de momento - mecanismos focales. Los primeros permiten determinar donde ocurren los procesos y los segundos la dinámica de los mismos. En el caso de la geociencias, son numerosos los trabajos de geología, tectónica, geomorfología, etc., que se han realizado para una región cualquiera y que deben ser recopilados para ser reinterpretados en conjunto con la información sismológica.

El conocimiento neotectónico del Caribe se localiza, principalmente, en los siguientes resultados: Iturralde (1984), Cotilla (2012), Cotilla y Córdoba (2011, 2018), Cotilla *et al.* (1990, 1990A, 1996, 1997A), Mann y Burke (1984), Mann *et al.*, (1995), McCann y Pennigton (1990), Rubio *et al.* (1994), Sykes y Ewing (1965), Van Dusen y Dosen (2000) y Wiggins Grandison y Atakan (2005). Ellos muestran la diferenciación tipológica y espacial de las estructuras emergidas y submarinas; y que permitieron demostrar la segmentación de las fallas. Éste es el caso de las 3 fallas de nuestro interés, FNC, FO y FS.

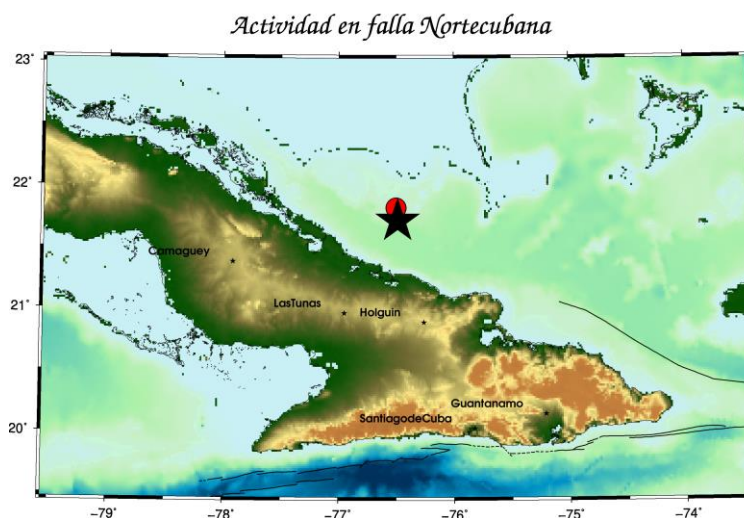


Figura 3.- Localización de los epicentros de los terremotos en el norte de Puerto Padre. El epicentro del terremoto principal aparece con una estrella y la réplica con un círculo rojo. Mapa confeccionado con el GMT (Wessel y Smith, 2018).

Los trabajos que indican la existencia y la actividad de la FNC son muchos y muy variados (Álvarez *et al.*, 1985; Belousov *et al.*, 1983; Cotilla, 1985, 1993, 1998, 1998A, 2011, 2014; Cotilla y Álvarez, 1999; Cotilla y Franzke, 1999; Cotilla *et al.*, 1990A, 1998, 2007A; González *et al.*, 1994, 2003; Hernández *et al.*, 1988; Levchenko y Riabujin, 1971; MINBAS, 1987, 1989; MINCM, 1968; Orbera, 1983; Orbera *et al.*, 1987, 1990; Quintas *et al.*, 1994; Shein *et al.*, 1975, Shein, 1979). Cotilla *et al.* (1991A) prepararon una base de datos y demostraron, entre otros, que los mapas geológico y tectónico de Cuba (Linares *et al.*, 1986; Mossakovsky *et al.*, 1989; Shein *et al.*, 1985) no contemplaron la presencia de esa mega-estructura. Posteriormente, Cotilla *et al.* (1996) retomaron el asunto y ampliaron la base informativa.

3. RESULTADOS

3.1. Características de las fallas

Sobre la base de los trabajos más recientes de Cotilla (2011, 2021), Cotilla y Córdoba (2011, 2011 A, B) y Cotilla *et al.* (2020, 2020A) sostenemos que la FNC es una estructura geológica marina compleja y segmentada en 4 partes (FNC1-FNC4) (Figura 2), entre el Cabo de San Antonio (al O/ provincia de Pinar del Río) y la Punta de Maisí (al E/ provincia de Guantánamo). Su extensión lineal, de aproximadamente 1.200 km, tiene 2 direcciones SO-NE y NO-SE. Ella se caracteriza por su figura cóncava al sur 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.

También la FNC es responsable de al menos 380 terremotos y 2 tsunamis locales (años: 1931 y 1939/ Caibarién). La $M_{máx}$ registrada es 6,2 ($I_{máx}=7$ MSK) en el año 1914; y la profundidad de los segmentos sismogénicos varía en 10-75 km. El segmento Central FNC2, Punta de Hicacos-Nuevitas, es el más extenso. Precisamente, en Nuevitas se registró un sismo el 13.10.2003 (M4,4). El segmento FNC3, Nuevitas-Bahía de Nipe, en las inmediaciones de Gibara, tiene el mayor nivel de actividad. Es en éste donde se registró el reciente terremoto del 08.11.2022. Además, en los años: 1) 1981 (nortede Pinar del Río); 2) 2000-2007 (norte de Matanzas-Cárdenas); 3) 2014-2017 (norte de Matanzas-Las Villas) se produjeron, por actividad antrópica, 3 series de terremotos, algunos perceptibles, sobre esta falla (Figura 2, Tablas 1-6).

Tabla 1.- Resumen de las características principales de las fallas Nortecubana, Septentrional y Oriente.

| | Falla Nortecubana | Falla Septentrional | Falla Oriente |
|-------------------------|----------------------------------|---|--|
| Siglas | FNC | FS | FO |
| Ubicación | Límite norte del megabloque Cuba | Límite norte del megabloque La Española | Límite sur de la parte suroriental del megabloque Cuba |
| Longitud (km) | 1200 | ~760 | ~750 |
| Ancho (km) | 30 | 30 | 25 |
| Profundidad (km) | 10-75 | 10-120 | 10-70 |
| Localización | Placa norteamericana | Placas norteamericana-Caribe | Placas norteamericana -Caribe |
| Posición geodinámica | Límite de megabloque | Límite de placas | Límite de placas |
| Sismicidad Histórica | SI | SI | SI |
| Sismicidad Instrumental | SI | SI | SI |
| Mmax | 6,2 | 8,2 | 6,8 |
| Tsunamis locales | 2 | >10 | NO |
| Fallecidos | 0 | ~5000 | ~80 |
| Segmentos | 4 | 2 | 3 |
| Estructura | Marina | Marina | Marina |
| Mecanismo | normal | Lateral, transpresivo y compresivo | Lateral y transpresivo |
| Tipo de sismicidad | Interior de placa | Entre-placas | Lateral y transpresivo |
| Figura | Arqueada | Lineal | Lineal |
| Inicio | Cabo de San Antonio | Cabo Haitiano | Cabo Cruz |
| Fin | Punta de Maisí | Península de Samaná | Punta de Maisí |
| Actividad antrópica | SI | NO | NO |
| Nudos | 8 | 8 | 4 |
| EV | NO | 12 | 1 |
| ES | 10 | 90 | 30 |
| DE | 0,11 | 0,43 | 0,17 |
| Categoría | 5 | 1 | |

Notas: EV= Cantidad de terremotos con $M \geq 7-5$; ES= Espesor de la capa sismo-activa; DE= Densidad de epicentros (1990-2018)

Tabla 2.- Terremotos de $M > 7,0$ en el Caribe Septentrional (Cotilla y Córdoba, 2015).

| M | 7,0-7,5 | 7,6-7,9 | 8,0-8,2 | Total | Tasa (años) |
|----------|---------|---------|---------|--------------|--------------------|
| Cantidad | 23 | 4 | 2 | 29 | 18 |

Tabla 3.- Terremotos ($M > 7,0$) del Caribe Septentrional registrados por el USGS.

| Fecha | M/ h (km) | Fecha | M/ h (km) | Fecha | M/ h (km) |
|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| 28.01.2020 | 7,7/ 14,8 | 8.08.1946 | 7,5/ 15 | 28.05.2009 | 7,3/ 10 |
| 29.07.1943 | 7,7/ 15 | 4.02.1976 | 7,5/ 5 | 11.10.1918 | 7,1/ 15 |
| 4.08.1946 | 7,5/ 15 | 10.01.2018 | 7,5/ 19 | 12.01.2010 | 7,0/ 13 |

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

Tabla 4.- Terremotos significativos del entorno de Cabo Cruz.

| Fecha/ Tiempo | M/ I | Coordenadas (N O)/ h(km) | Fecha/ Tiempo | M/ I | Coordenadas (N O)/ h(km) | Tasa (años) |
|-------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------|----------------|
| 28.01.2020/ 19:10:24 | 7,7/ 3 | 19,421; 78,763/14,8 | 18.10.1551/ 12:00 | 6,6/ 8/ 7 | 19,6;77,8/ 15 | 94 |
| 20.02.1917/ 19:29:32 | 7,4/ 3 | 19,9;78,4/ - | 4.02.2007/ 20:56:59 | 6,2/ 4/ - | 19,372;78,518/ 10 | |
| 25.05.1992/ 16:55:04 | 6,8/ 7 | 19,61;77,87/ 23 | 26.08.1990/ 07:53:42 | 5,9/ 8/ - | 19,59 77,87/ 10 | |

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

Tabla 5.- Resumen de sismicidad por país del Caribe Septentrional.

| País | Eventos/ años | Período | Rango de | | |
|------------------------|------------------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------------|
| | | | M | h (km) | Fallecidos |
| Cuba | 36/ 342 | 1678-2020 | 4,4-7,7 | 10-59,6 | ~100 |
| Haití | 45/ 458 | 1562-2020 | 4,0- 8,2 | 10-60 | ~350.000 |
| Islas Caimán | 65 / 168 | 1852-2020 | 4,0-7,5 | 6-60 | NO |
| Jamaica | 50/ 353 | 1667-2020 | 4,0-7,75 | 16-33 | ~5.000 |
| Rep. Dminicana | 51/ 458 | 1562-2020 | 5,0-7,7 | 8,8-104,4 | ~5.000 |
| Tasa (años)= 16 | | | Totales 247/ M>7= 34 | | ~360.000 |

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

Tabla 6.- Tsunamis del Caribe Septentrional.

| País | Fecha/ Total |
|-----------------|--|
| Haití | 15.09 y 21.11.1751; 1769; 3.06.1770; 11.02 y 03.1755; 18.12.1775; 7.05.1842; 8.03.1860; 23.09.1887/ 10 |
| Jamaica | 1.03.1688; 7.06.1692; 3.10.1780; 1.08.1781; 27.10.1787; 11.11.1812; 12.08.1881; 14.01.1907/ 8 |
| Cuba | 1.11.1755 (Lisboa); 18.11.1867; 1.10.1931 (FNC) y 4.08.1939 (FNC)/ 4 |
| Puerto Rico | 11.10. y 24.10.1918; 8.08.1946; 1.11.1989/ 4 |
| Islas Vírgenes | 16.04.1690; 18.11.1867; 11.03.1874/ 3 |
| Rep. Dominicana | 18.10.1751; 4.08.1946; 31.05.1953/ 3 |

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

La concavidad de la FNC y su relación con otras neo-estructuras del megabloque cubano se discutió en Cotilla (1993), Cotilla et al. (1991B, 1996) y González et al. (2003). Esa singular inflexión se aprecia también en la falla Surcubana. El nudo sismoactivo de Torriente-Jagüey Grande (con los terremotos de 1982 y 2015) y otros sismos perceptibles en varias localidades como Cienfuegos, Ciudad de Matanzas, Corralillo, Playa Girón y Varadero se ubican en la zona de deformación (Figura 2). En la tabla 7 de Cotilla (2017) hay una amplia relación con las localidades y los eventos ocurridos en el entorno del mencionado nudo. Además, en el interior del megabloque cubano hay varias estructuras lineales activas que siguen las 2 direcciones de la FNC: 1) SO-NE las fallas Consolación del Norte, Guane y Pinar; 2) NO-SE las fallas Cubitas, Las Villas y Tuinicú.

Barceló *et al.* (1984), Cotilla (1993, 1999, 2014, 2016, 2017), Cotilla y Álvarez (1997, 1999, 2001), Cotilla y Córdoba (2010A, 2011), Cotilla *et al.* (1991A, B, C, 1998, 2007A) han determinado que en el megabloque cubano: 1) las fallas y zonas de fallas (de diferente dimensión y categoría); 2) los bloques (de diferente geometría, disposición y categoría); 3) los nudos sismoactivos; y 4) la actividad sísmica diferencial responden a la dinámica de la interacción de las placas Caribe-Norteamérica. En este sentido esos autores comprobaron que la transmisión de los esfuerzos es distinta de oeste (Cabo de San Antonio) a

este (bloque Cauto-Nipe), y en el sentido transverso-diagonal. Esto había sido indicado en el mapa sismotectónico de Cuba y con la definición de las Provincias Sismotectónicas (Figura 4).

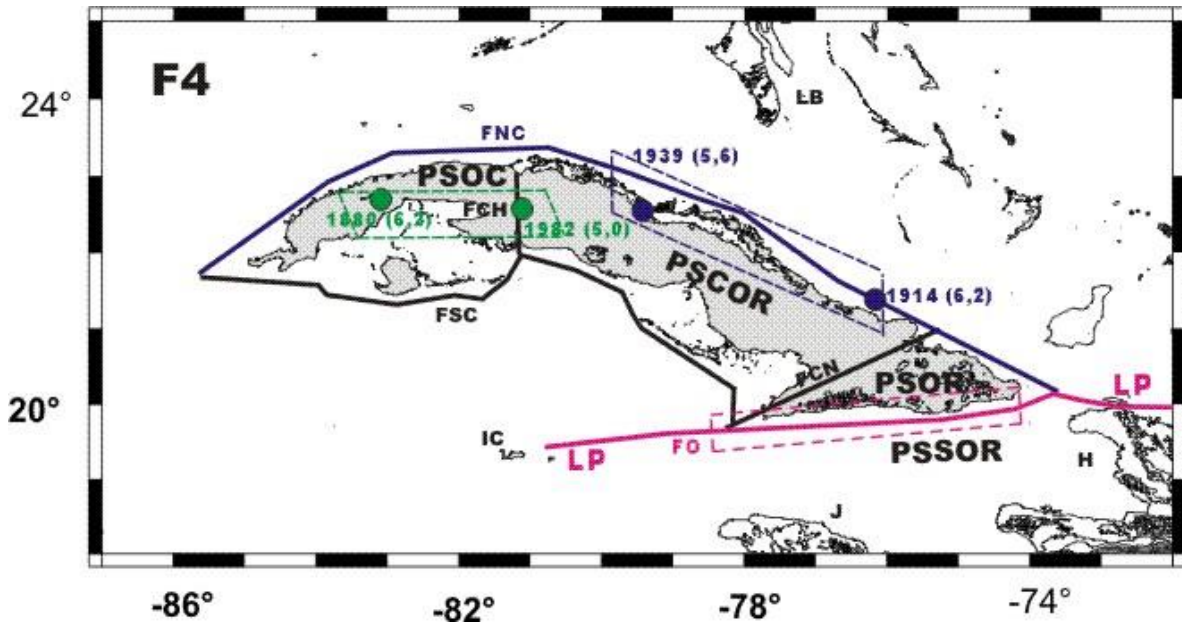


Figura 4.- Provincias Sismotectónicas y áreas con eventos sísmicos más fuertes. 1) Provincia Sismotectónica (PSOC= Occidental, PSCOR= Centro Oriental, PSOR= Oriental, PSSOR= Suroriental); 2) Límites de las Provincias (fallas activas: 2.1) líneas negras con siglas: FCH= Cochinos, FNC= Cauto-Nipe, FSC= Surcubana; 2.2) línea morada con sigla FNC= Nortecubana; 2.3) línea roja con sigla FO= Oriente; 3) Áreas con eventos sísmicos más fuertes por Provincia Sismotectónica: 3.1) rectángulo discontinuo con epicentro, fecha y magnitud (color verde); 3.2) rectángulo discontinuo con epicentro, fecha y magnitud (color morado); 3.3) rectángulo discontinuo color rojo; 4) LP= límite de placas línea gruesa roja.

De un modo similar, y con las investigaciones de Cotilla y Córdoba (2010, 2015), Cotilla y Udías (1999), Cotilla *et al.* (1997, 2007, 2020), Núñez (2014) y Núñez *et al.* (2015) entendemos que la FS es una estructura oceánica sismoactiva, con franca orientación lineal, en la zona norte del megabloque de La Española. Ella es una estrecha zona, con forma de banda apaisada, de interacción directa entre las placas Caribe y norteamericana en el segmento oeste de Haití - oeste de Puerto Rico ($M_{\text{máx}}=8,0$ / más de 10 tsunamis locales/ ~500 fallecidos) (Figura 2, Tablas 1-6).

Álvarez *et al.* (1985, 1991), CAYTROUGH (1979), Cobiella (1983, 1984), Cotilla (1993, 2012), Cotilla y Córdoba (2015, 2017), Cotilla y Franzke (1999), Cotilla y Udías (1999), Cotilla *et al.* (1988, 1989, 1990A, 1991, 1991A, 1991B, 1998, 2007A), Erickson *et al.* (1973), González *et al.* (2003), Holcombe *et al.* (1973), Mann *et al.*, (1995), NAVY Princeton Exploration (1933), Rosencratz y Mann (1991), Rosencratz y Sclater (1986), Rosencratz *et al.* (1988), Rubio *et al.* (1994), Taber (1920, 1922) y Wiggins Grandison y Atakan (2005) fundamentaron la existencia y la actividad de la FO; así como de su segmentación (Cabo Cruz-Punta de Maisí). El segmento más activo, de los 3 delimitados, está entre Pílon y Baconao (incluyendo a la ciudad de Santiago de Cuba). Esta falla es uno de los segmentos activos del límite de placas Caribe-Norteamérica (Figura 1, Tablas 1-6). Las fallas Oriente y Septentrional son el límite norte de la Microplaca Gonave.

En este punto decimos que no hay relación genética ni de continuidad ni tampoco energética entre las fallas: 1) Nortecubana y Septentrional; 2) Nortecubana y Oriente; 3) Septentrional y Oriente. Así, con estos datos se presentan, de forma resumida, las características de las 3 fallas (Tabla 1). Asumimos que

para un lector, relativamente entendido en cuestiones de neotectónica, esta tabla sea suficiente para visualizar las muy grandes diferencias entre las 3 estructuras disruptivas.

3.2 Análisis de la sismicidad

Los datos para la región de estudio sobre la actividad: 1) sísmica aparecen en las Tablas 2-5 (Álvarez *et al.*, 1985, 1991, 1999; Bakun *et al.*, 2012; Cotilla y Córdoba, 2015; Cotilla *et al.*, 1990, 1990A, 1991A, 1996, 1997, 1997A, 2007A, 2020, 2020A; McCann y Pennigton, 1990; Sykes y Ewing, 1965; Van Dusen y Doser, 2000; Wiggins Grandison y Atakan, 2005); 2) tsunamigénica en la Tabla 6 (Cotilla, 1985; Cotilla y Córdoba, 2018). Brevemente comentamos que las Tablas 2-3 muestran, para el Caribe Septentrional, que: 1) son aproximadamente 30 terremotos (históricos e instrumentales) los ocurridos con $M > 7,0$; 2) la profundidad de los eventos fuertes es < 20 km; 3) las magnitudes de 8-8,2 son posibles.

En la Tabla 4 se observa que el entorno de Cabo Cruz (aproximadamente en el contacto de las fallas de Islas Caimán y Oriente) hay terremotos con $M > 7,7$ y h_{10-20} km. La Tabla 5 indica que Haití-República Dominicana (La Española) tienen: 1) la mayor cantidad de fallecidos; 2) la mayor magnitud de la región, con valor de 8,2 (en Haití). Mientras que la Tabla 6 confirma que La Española tiene la mayor cifra de tsunamis locales, 13.

La Figura 5 muestra una selección de la sismicidad, determinada (con 4 estaciones) por el CENAIIS, que está asociada con la FNC. De ella destacamos 2 elementos: 1) la actividad aparece de forma alineada, a modo de banda, a lo largo de la costa norte centro-oriental del megabloque cubano; 2) hay 3 agrupaciones principales de epicentros (indicados con las letras A-C). Al respecto decimos que la sismicidad: 2.1) se ajusta a la FNC; 2.2) está delineada al este de Matanzas y hasta la Punta de Maisí, donde la dirección costera es NO-SE; 3) indica: 3.1) un “vacío” de actividad en las inmediaciones de Remedios-Caibarién (indicado con un rectángulo rojo); 3.2) un máximo de actividad al norte de Cuba Oriental (indicado con un rectángulo discontinuo rojo), y no en el segmento (FNC-3) de mayor actividad localizado más al oeste.

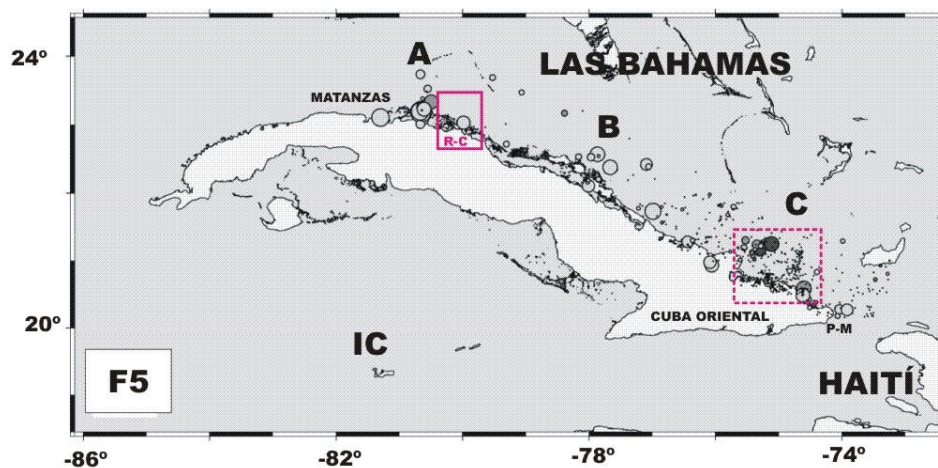


Figura 5.- Selección (más de 4 estaciones permanentes) de la sismicidad reciente (hasta 2018) en la falla Nortecubana (CENAIIS). 1) Siglas: IC= Islas Caimán, P-M= Punta de Maisí, R-C= Remedios-Caibarién; 2) Epicentros (círculos); 3) Principales áreas de actividad sísmica (Siglas: A-C); 4) Áreas “anómalas” (rectángulos rojos: continuo y discontinuo).

Álvarez *et al.* (1985), Cotilla y Udías (1999) y Cotilla *et al.* (1990, 1990A, 1997A) precisaron la diferenciación de la actividad sísmica del Caribe y del Caribe Septentrional, en particular. Sobre esa base, Cotilla y Córdoba (2015) sostienen que en el Caribe Septentrional existen 6 zonas diferentes de actividad

sísmica (Figura 6). En esa figura la zona de articulación de Punta de Maisí (nudo morfoestructural NPM (Figura 2)) es la de menor Categoría Regional (valor 6) y la FNC tiene Categoría 5; pero, la FS se distingue con la Categoría más alta (valor 1). Esta zona C-R-1 resulta ser también la de mayor área y enmarcarse en la Microplaca Gonave. La zona C-R-2, al sur de Cuba Oriental donde la FO, cubre una banda estrecha entre el Cabo Cruz y Baconao, en Santiago de Cuba. Esta zona enlaza al oeste con la zona Islas Caimán de categoría regional 2, y al este con la zona de Guantánamo de categoría 5. Esa diferenciación responde a la dinámica listosférica y la consecuente fracturación de la corteza para configurar microplacas y bloques con sistemas de fallas de diferente dirección.

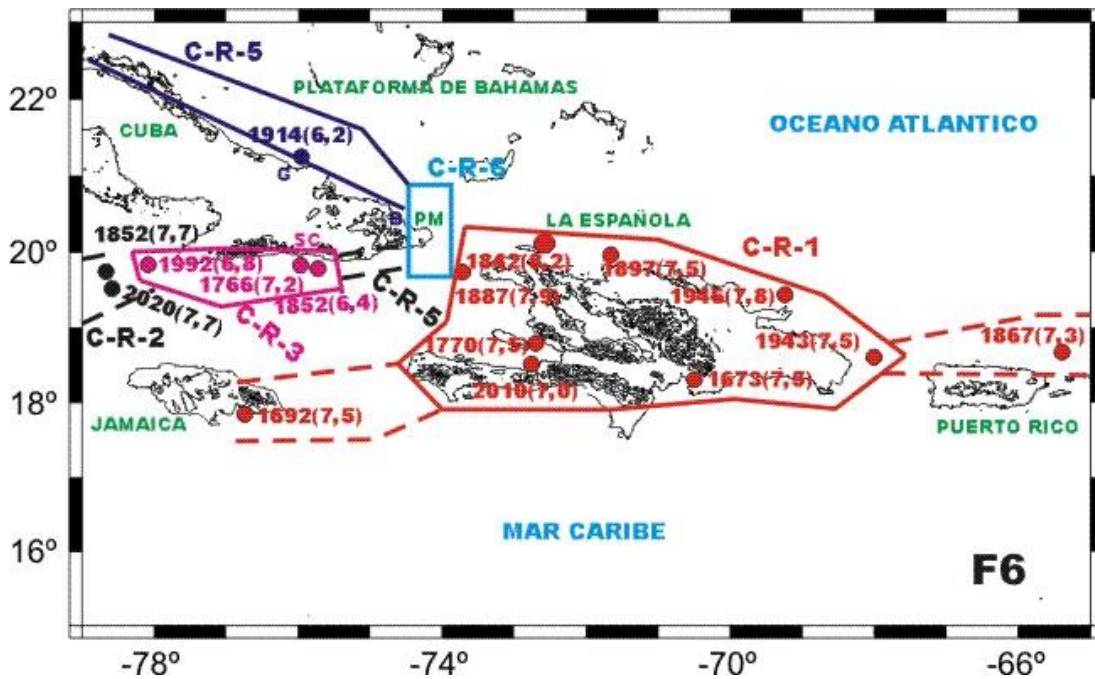
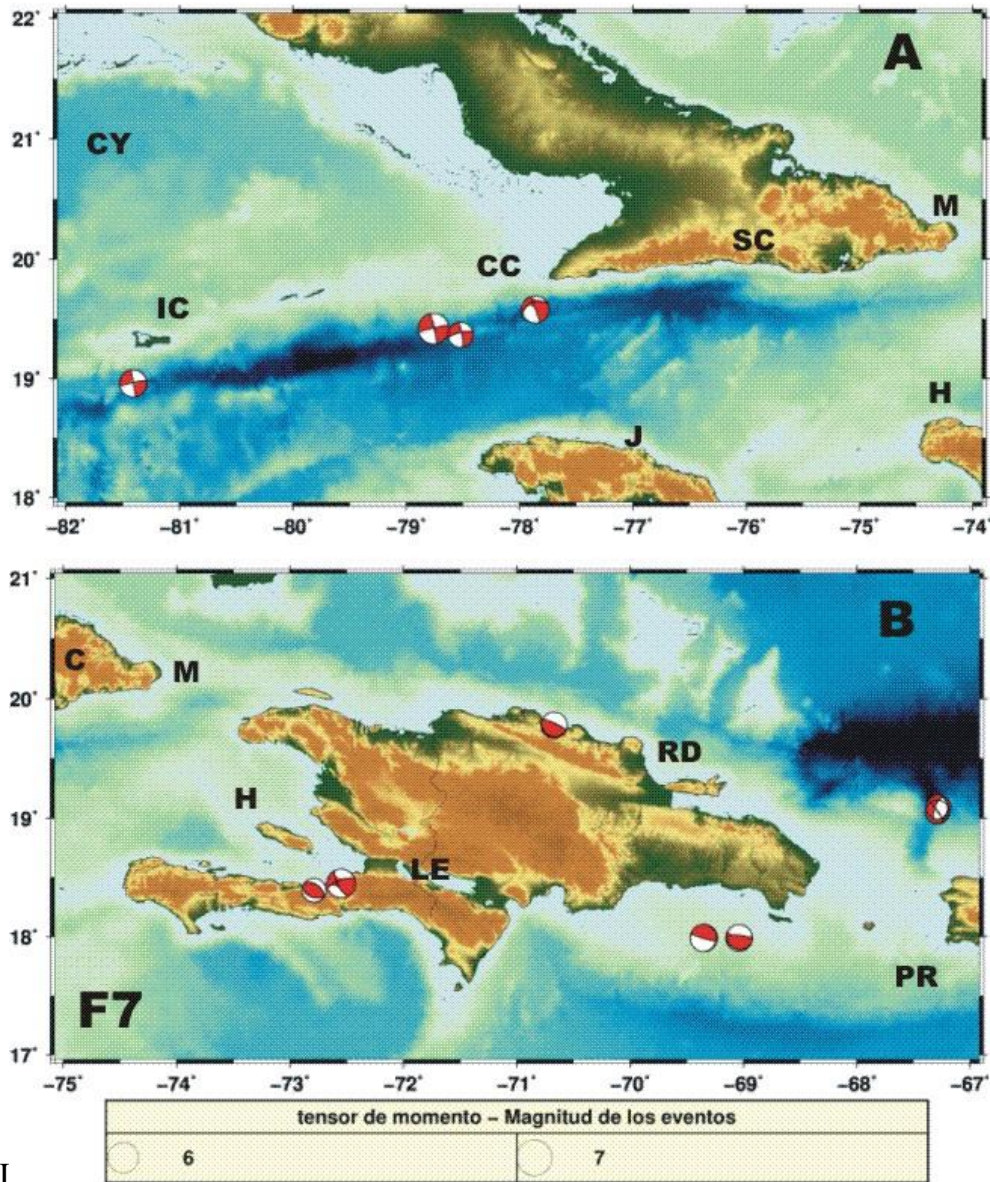


Figura 6.- Zonas sísmicas del Caribe Septentrional. 1) Zonas de actividad sísmica con clasificación regional (líneas y siglas de color: naranja C-R-1, negro C-R-2, rojo C-R-3, morado C-R-4, azul C-R-5); 2) Epicentros (círculos con fecha y magnitud de color: negro, rojo, naranja, morado); 3) Siglas: B= Baracoa (color morado), G= Gibara (color morado), PM= Punta de Maisí (color verde), SC= Santiago de Cuba (color rojo).

3.3. Análisis de los mecanismos focales

La dinámica de los movimientos tectónicos se identifica por los mecanismos focales de los terremotos y los tensores de momento. Al emplear la base de datos del GCMT (2022) se realizó una selección de las soluciones obtenidas para Cuba y La Española; y decidió no utilizar las soluciones de los mecanismos: 1) locales anteriores al año 1976; 2) de terremotos muy débiles. Así consideramos se garantiza la uniformidad del análisis. Es conocido que los terremotos más fuertes reflejan las características del movimiento predominante de las placas; mientras que los terremotos más débiles dan información sobre la complejidad tectónica presente en las fronteras entre las placas.

En la Figura 7A-B están las soluciones correspondientes a los terremotos con $M_w \geq 6$. En el caso de Cuba (Figura 7A) se observa el predominio del corrimiento por el rumbo izquierdo, desde la zona de las Islas Caimán hasta Cabo Cruz. Pero, no hay información hacia el este (parte suroriental de Cuba). Para La Española (Figura 7B) aparece el predominio de los mecanismos de subducción, con la excepción al de Haití del año 2011, sobre la falla Enriquillo. Este evento, el más fuerte del periodo, fue del tipo de desplazamiento lateral izquierdo.

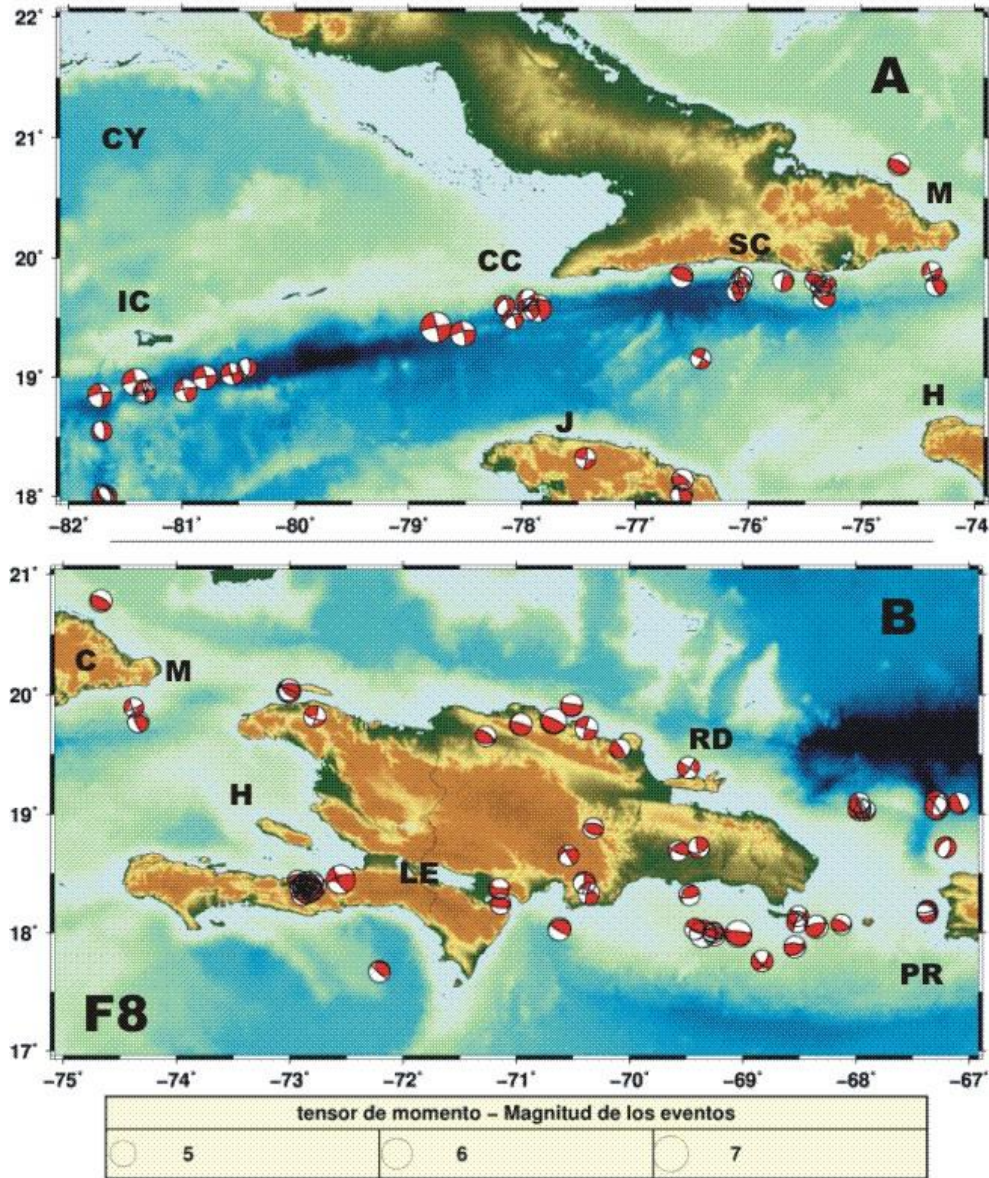


I

Figuras 7A-B.- Tensores de momento con superposición de planos de falla para $M_w \geq 6$ de acuerdo a la base de datos del GCMT (2022). Mapas confeccionados con el GMT (Wessel y Smith, 2018). 1) Siglas: C= Cuba, CC= Cabo Cruz, CY= Cuenca de Yucatán, H= Haití, IJ= Islas Caimán, J= Jamaica, LE= Lago Enriquillo, M= Punta de Maisí, PR= Puerto Rico, RD= República Dominicana; 2) Soluciones de mecanismos focales (bolas de playa en colores rojo y blanco).

Al emplear los eventos con $M_w \geq 5$ se distinguen características locales en la FO (Figura 8A-B). En Cuba Suroriental hay una importante complejidad tectónica, concretamente en Santiago de Cuba (este de Pílon-Baconao), con la existencia de procesos de fallamiento normal en diversas direcciones, que incluyen elementos perpendiculares al Límite de las Placas, Caribe-Norteamérica. Esto datos se corresponde con: 1) la interpretación neotectónica de Cotilla (1998A); 2) el modelo de bloques delimitado por Cotilla *et al.* (1989, 1991). También se observa una solución focal combinada de los tipos normal y subducción en el segmento FNC4. Aquí los terremotos más fuertes no están en la costa, sino sobre el borde de la Plataforma.

Ésta es una de las características que también se distingue, en el segmento FNC3, con los terremotos de: 1) Gibara de 1914 (M6,2) (Álvarez y Chuy, 1985); 2) Puerto Padre el 08.11.2022. Esta situación es diferente en el segmento FNC2 (Figura 2), donde el borde de la Plataforma está más cerca de la costa y se ubica al epicentro de 1939 en Caibarién (Álvarez y Chuy, 1985). El caso de La Española (Figura 8B) indica la existencia de diversos tipos mecanismos distribuidos a lo largo de las fronteras de la Microplaca Gonave (Cotilla y Udías, 1999; Núñez *et al.*, 2015).



Figuras 8A-B.- Tensores de momento con superposición de planos de falla para $M_w \geq 5$ de acuerdo a la base de datos del GCMT. Mapas confeccionados con el GMT (Wessel y Smith, 2018). 1) Siglas: C= Cuba, CC= Cabo Cruz, CY= Cuenca de Yucatán, H= Haití, IJ= Islas Caimán, J= Jamaica, LE= Lago Enriquillo, M= Punta de Maisí, PR= Puerto Rico, RD= República Dominicana; 2) Soluciones de mecanismos focales (bolas de playa en colores rojo y blanco).

Indicamos que la actividad sísmica que ocurre en el segmento FNC2 (Figura 2), donde también hay sismicidad de origen antrópico, los tensores de momento, determinados por diferentes autores (Arango *et*

al., 2017, Braunmiller *et al.*, 2019) y compilados por Cotilla *et al.* (2021) (Figura 9), muestran un movimiento de fallas predominante de tipo normal. Esto indica que la extracción de hidrocarburos creó las condiciones favorables para que este segmento: 1) se activase; 2) adquiriese el movimiento típico de la interacción, intraplaca de Norteamérica, para el megabloque cubano. En general, la interacción dinámica se produce, por la transmisión de esfuerzos desde la Zona Límite de Placas Caribe-Norteamérica, a lo largo de la Plataforma (Figura 2); y contiene dos tipos de soluciones de mecanismo focal: 1) subducción al este (FNC4); 2) normal en el centro del archipiélago (FNC2); donde se generaron tsunamis locales. Para el segmento FNC1 (oeste de Varadero-Cabo de San Antonio) no hay datos de mecanismo, por lo que no es posible inferir, por esta vía, su movimiento. Sin embargo, en la Figura 2 indicamos 9 ejes principales de esfuerzos (E1-E9), obtenidos con mediciones de estrías y deformaciones en terreno del megabloque Cuba (Cotilla y Córdoba, 2010A, 2011; Cotilla y Franzke, 1994). Tres de esos ejes (E7-E9) están determinados para la FNC y se ajustan a lo interpretado anteriormente sobre los mecanismos focales. Núñez Escribano (2014) comprobó, para La Española, la correspondencia de los datos microtectónicos y mecanismos de foco.

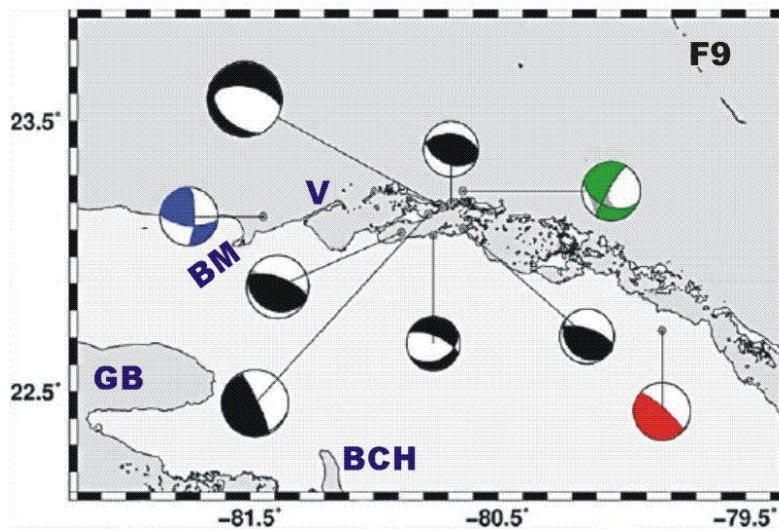


Figura 9.- Tensores de momento de los terremotos débiles (de origen asumido como antrópico) de la zona del segmento FNC2 (modificado de Cotilla *et al.*, 2021). 1) Siglas: BCH= Bahía de Cochinos, BM= Bahía de Matanzas, GB= Golfo de Batabanó, V= Varadero; 2) Soluciones de mecanismos focales (9 bolas de playa en par de colores blanco y: azul, negro (6), rojo, verde).

González *et al.* (2003) determinaron en la zona entorno a Bahía de Matanzas-Varadero-Península de Hicacos-Cárdenas: 1) una zona de deformación morfoestructural de primer orden (ver su figura 3); 2) la segunda más importante inflexión de la Divisoria Principal de Primer Orden de la red fluvial superficial. Además, en ese entorno Cotilla *et al.* (1991C) identificaron al nudo N7 (Península Hicacos) (Figura 10). Éste se configura en la intersección de 3 fallas Nortecubana (segmentos FNC1 y FNC2) e Hicacos, y calificó como una estructura singular de la parte septentrional del megabloque. Es precisamente en sus inmediaciones donde se ha producido la actividad sísmica antrópica, antes mencionada. Nuestra interpretación sismotectónica de la región de enlace entre la PSOC y la PSCOR (Figura 4), en las inmediaciones del transecto S-N Bahía de Cochinos-Varadero (Figura 2), que incluye al nudo sismoactivo de Torriente-Jagüey Grande, por Cotilla (1993) fue mejorándose en el tiempo (Cotilla, 1999, 2014, 2016; Cotilla y Álvarez, 2011; Cotilla y Córdoba, 2011; Cotilla *et al.*, 1996, 2020A). La mencionada región es la de mayor deformación del plano tectónico contemporáneo de Cuba, entre 2 estructuras marinas: 1) Golfo de México-Canal Viejo de las Bahamas; 2) Golfo de Batabanó-Cuenca de Yucatán. Además, la región incluye un conjunto interconectado de elementos activos: 8 nudos, 11 segmentos de fallas, y 8 bloques (Figura 10).

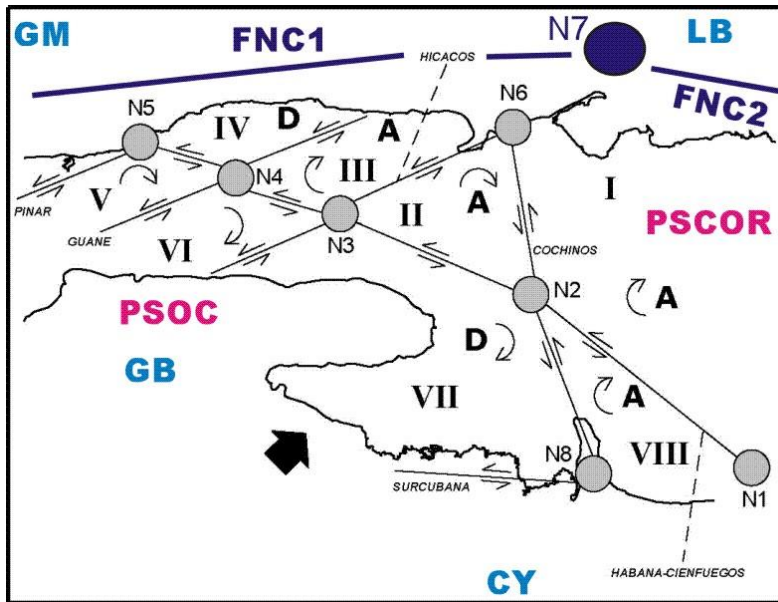


Figura 10.- Zona de enlace entre las Provincias Sismotectónicas Occidental y Centro Oriental. 1) Eje de esfuerzos principal (σ_1): flecha negra gruesa con sigla E2; 2) Siglas: CY= Cuenca de Yucatán, GB= Golfo de Batanó, LB= Bahamas; 3) fallas activas: 3.1) líneas negras continuas y sentido de movimiento (medias flechas): 3.1.1) finas con nombres; 3.2) gruesa (de color morado los segmento FNC1-FNC2); 4) nudos activos: 4.1) círculo de color gris con sigla (N1); 4.2) círculo de color morado con sigla (N7); 5) bloques (siglas I-VIII); 6) tendencia de giro de los bloques (flecha arqueada): 6.1) A= horario; 6.2) D= anti-horario; 7) Provincia Sismotectónica (PSOC= Occidental, PSCOR= Centro Oriental).

4. DISCUSIÓN

Consideramos que en Cuba hay estructuras activas de tipo lineal (fallas) y de articulación (nudos o cruce de alineamientos y fallas). Esas estructuras no sólo son canales de propagación de esfuerzos y deformaciones, sino que permiten entender la cinemática de bloques. Los argumentos y métodos del mecanismo dinámico de nudos de articulación se encuentran en trabajos que consideramos de fundamento de la escuela rusa (Assinovskaya *et al.*, 1994; Bhathia *et al.*, 1992; Cisternas *et al.*, 1985; Gorshkov *et al.*, 2000; Gvshiani *et al.*, 1980; Soloviev *et al.*, 2014; Novikova y Gorshkov, 2018; Zhidkov *et al.*, 1975). Estos se aplicaron en Cuba (Cotilla, 1993; Cotilla *et al.*, 1990A, 1991A, 1996, 1998, 2007A), La Española (Cotilla y Córdoba, 2010, 2017, Cotilla *et al.*, 1997, 2007), Jamaica (Cotilla y Córdoba, 2017, Cotilla y Udías, 1999), Puerto Rico (Cotilla y Córdoba, 2011A) y Caribe (Cotilla y Udías, 1999).

De los datos utilizados se puede asegurar que la FS tiene el mayor potencial sismogénico y también la mayor peligrosidad sísmica y tsunamigénica. Ella no tiene relación con las fallas Oriente y Nortecubana como se puede apreciar en la Figura 6.

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

En la Tabla 7 se resumen las principales características (18) de las fallas Nortecubana, Oriente y Septentrional. Por consiguiente, sostenemos que los datos y las evidencias anteriormente expuestas sugieren que la dinámica contemporánea del movimiento en la parte norte del megabloque cubano, en la placa Norteamericana, tiene una componente de subducción en el extremo este de la FNC (segmento FNC4) hasta un proceso de fallamiento normal en la parte centro-occidental de la misma (segmento FNC3).

Tabla 7.- Comparativa de las tres fallas de interés.

| Característica | Falla | | |
|--|-------------------|-------------------|--|
| | Nortecubana | Oriente | Septentrional |
| 1- Asociada a | Cuba | Cuba | La Española (Haití y República Dominicana) |
| 2- Fallecidos/ Heridos | NO/ 2 | 80/ 700 | ~5.000/ 10.000 |
| 3- Terremotos (M>7,0) | NO | 1 | 12 |
| 4- Pérdidas económicas (10 ⁶ U.S.D.) | ~0,2 | ~60 | ~200 |
| 5- Hipocentro (km) | 10-75 | 10-70 | 0-200 |
| 6- I _{máx} (MSK) | 7 | 9 | 10 |
| 7- Sismicidad inducida | SI | NO | NO |
| 8- Tsunamis locales | 2 | NO | 10 |
| 9- Ubicada respecto al megabloque | Norte | Sur | Norte |
| 10- Longitud (km) | ~1.200 | ~750 | ~750 |
| 11- M _{máx} | 6,2 | 7,7 | 8,2 |
| 12- Investigaciones paleo sismológicas | NO | NO | SI |
| 13- Período de repetición de los terremotos fuertes (años) | >150 | 90 | 70 |
| 14- Categoría Regional | 5 | 3 | 1 |
| 15- Segmentos | 4 | 3 | 2 |
| 16- Tipo de sismicidad | Interior de placa | Interior de placa | Entre placas |
| 17- Sismo dislocación | NO | NO | Algunos |
| 18- Espesor de la capa sismoactiva (km) | ~12 | ~30 | ~90 |

Nota: Se indica en color rojo el valor máximo.

5. CONCLUSIONES

Los autores sostienen que: 1) la falla sismo-activa Nortecubana (~1.200 km) es el límite morfoestructural, de primer orden, del megabloque cubano, insertado éste en el sur de la placa norteamericana. La falla está segmentada y demuestra diferente nivel de actividad sísmica; así como también tiene influencia de la actividad antrópica en la parte centro-occidental; 2) no hay relación espacio-temporal ni tampoco energética con las fallas activas Septentrional de La Española y Oriente (límites de placas Caribe-Norteamérica); 3) la dinámica del movimiento en la FNC se caracteriza por una componente de subducción en su parte E, con una transición a mecanismo normal puro en su parte centro-occidental.

AGRADECIMIENTOS

La mayoría de las figuras fueron desarrolladas por Don Amador García Sarduy. Se agradece al CENAIIS por los datos de la sismicidad registrada con su red de estaciones.

REFERENCIAS

- Alvarez, L. y Chuy, T. (1985). Isoleismal model for Greater Antilles. En: Proceedings of the 3th International Symposium on the analysis of seismicity and on seismic risk. Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, 134-141.
- Alvarez, L. Chuy, T. y Cotilla, M. (1991). Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. *Revista Geofísica*, 35, 125-150.
- Alvarez, L. Rubio, M., Chuy, T. y Cotilla, M. (1985). Informe final del tema de investigación 310.01: Estudio de la sismicidad de la región del Caribe y estimación preliminar de la peligrosidad sísmica en Cuba. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 2 Vols.
- Alvarez, L. Chuy, T., García, J., Moreno, B., Alvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O. y Fernández, A.I. (1999). An earthquake catalogue of Cuba and neighbouring areas. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Miramare-Trieste. Internal Report IC/IR/99/1, 60 pp.
- Arango, E., Pérez, M.A., Avila, L. y Batista, J.A. (2015). 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, 18 pp. <https://docplayer.es/52655016-Nueva-valoracion-sismotectonica-de-la-region-oriental-de-cuba-en-el-contexto-geodinamico-del-norte-del-caribe.html>
- Arango, E., González, O., Palau, R. y Leyva, M. (2017). Evaluación del comportamiento de la actividad sísmica de Corralillo, Villa Clara, Cuba iniciada el 9 de enero de 2014. *Ciencias de La Tierra y el Espacio*, 18(1), 71-85. http://www.iga.cu/wp-content/uploads/2019/05/actividad.sismica.corralillo.cuba_.pdf
- Assinovskaya, B.A. y Soloviev, S.L. (1994). Definition and description of the zones of potential earthquake sources in the Barents Sea. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 29(8), 664-675.
- Bakun, W.H., Flores, C.H. y Ten Brink, U.S. (2012). Significant earthquakes on the Enriquillo fault system, Hispaniola 1500-2010: Implications for seismic hazard. *Bulletin of Seismological Society of America*, 102(1), 18-30. <https://doi.org/10.1785/0120110077>
- Barceló, C., González, E., Cotilla, M. y Chuy, T. (1984). Análisis de la fracturación de la región de Santiago de Cuba. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 8(1), 11-27. <https://repositorio.geotech.cu/xmlui/bitstream/handle/1234/3051/An%C3%A1lisis%20de%20la%20fracturaci%C3%B3n%20de%20la%20regi%C3%B3n%20de%20Santiago%20de%20Cuba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bhathia, S.C., Chetty, T.R.K., Filomonov, M., Gorshkov, A., Rantsman, E. y Rao, M.N. (1992). Identification of potential areas for the occurrence of strong earthquakes in Himalayan Arc region. En: Proceedings. Indian Acad.Sci. Earth Planetary Ser., 101(4), 369-385. <https://doi.org/10.1007/BF02893012>
- Belousov, T.P., Krestnikov, V.N. y Shebalin, N.V. (1983). Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima (en ruso). En: Investigaciones de la sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central), 81-85.
- Braunmiller, J., Thompson, G. y McNutt, S.R. (2019). The January 2014 Northern Cuba earthquake sequence: Unusual location and unexpected source mechanism variability. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(3), 919-928. <https://doi.org/10.1785/0120180272>
- CAYTROUGH (1979). Geological and geophysical investigations of the Mid-Cayman rise spreading center. Initial results and observations. En: Deep drilling results in the Atlantic Ocean: Ocean crust. Maurice Ewing Ser. (Editores: M. Talwani, C.G. Harrison y D.E. Hays), Vol. 2, 66-93. <https://doi.org/10.1029/ME002p0066>
- Cisternas, A., Godefroy, A.P., Gvishiani, A., Gorshkov, A.I., Kosobokov, V., Lambert, M., Rantsman, E., Sallantin, J., Soldano, H., Soloviev, A. y Weber, C. (1985). A dual approach to recognition of earthquake prone areas in western Alps. *Annales Geophysicae*, 3(2), 249-270.
- Cobiella, J.L. (1983). Algunas consideraciones sobre el origen de la fosa de Bartlett. *Revista Minería y Geología*, 1(83), 29-56. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/308/0>
- Cobiella, J.L. (1984). Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett. *Editorial Oriente*, Santiago de Cuba.

Cotilla, M. (1985). Tsunamis y la influencia en Cuba. Instituto de Geofísica y Astronomía, A. Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 10 pp.

Cotilla, M. (1993). Una caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, 200 pp.

Cotilla, M. (1998). Una revisión de los estudios sismotectónicos de Cuba. *Estudios Geológicos*, 54(3-4), 129-145. <http://dx.doi.org/10.3989/egeol.98543-4212>

Cotilla, M. (1998A). Sismicidad y sismotectónica de Cuba. *Revista Física de la Tierra*, 10, 53-86. <http://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/view/FITE9898110053Av>

Cotilla, M. (1999). El controvertido alineamiento Habana-Cienfuegos, Cuba. *Estudios Geológicos*, 55(1-2), 67-88. <https://doi.org/10.3989/EGEOL.99551-2182>

Cotilla, M. (2011). ¿Tsunamis en Cuba? *Revista Física de la Tierra*, 23, 173-197. http://dx.doi.org/10.5209/rev_FITE.2011.v23.36918

Cotilla, M. (2012). Historia sobre la Sismología del Caribe Septentrional. *Revista Historia de América*, 147, 111-154. <https://www.jstor.org/stable/24641996>

Cotilla, M. (2014). Sismicidad de interior de placa en Cuba. *Revista Geofísica*, 64, 93-125. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/download/312/301>

Cotilla, M. (2016). The Guane fault, western Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 57, 159-198. <https://doi.org/10.15359/rgac.57-2.6>

Cotilla, M. (2017). Evaluation of recent intraplate seismic activity on Cochinos Bay, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 195-222. <https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.8>

Cotilla, M. (2021). Estudio retrospectivo de los fuertes terremotos ocurridos en Cuba en los años 1914, 1932 y 1947. Google Books, 41 pp. <https://books.google.com.ni/books?id=xewUEAAQBAJ>

Cotilla, M. y Alvarez, L. (1998). Mapa de zonas sismogeneradoras de Cuba. *Geología Colombiana*, 23, 97-106. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/42023/31474-114151-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cotilla, M. y Alvarez, L. (2001). Regularidades sismogenéticas de la unidad neotectónica Occidental de Cuba. *Revista Geológica de Chile*, 28(1), 3-24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082001000100001>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2010). Determination of lineaments in Hispaniola. *Revista Geográfica*, 147, 133-154. <https://www.jstor.org/stable/45220929>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2010A). Study of the Cuban fractures. *Geotectonics*, 44(2), 176-202. <https://doi.org/10.1134/S0016852110020068>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2011). Comments about tsunami occurrences in the northern Caribbean. En: *Tsunami - a Growing Disaster* (Mokhtari, M. Ed.) Cap.c7, 133-160. <https://doi.org/10.5772/23299>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2011A). Análisis morfotectónico de la Isla Puerto Rico. *Revista Geofísica*, 62, 79-126. <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/545>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2011B). Study of the earthquake of the January 23, 1880, in San Cristóbal, Cuba and the Guane fault. *Izvestiya Physics of the Solid Earth* (ISSN: 1069-3563), 47(6), 496-518. <http://doi.org/10.1134/S1069351311050028>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2015). Guantánamo neo-estructura atípica del Caribe Norte. *Rev. Investigaciones Geográficas de Chile*, 50, 51-88. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2015.41182>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2017). Morphotectonic study of the Greater Antilles, *Geotectonics*, 51(1), 89-104. <https://doi.org/10.1134/s0016852117010058>

Cotilla, M. y Córdoba, D. (2018). Some glimpses of the tsunamigenic potential of the Caribbean region. Google Books, 100 pp. https://play.google.com/books/reader?id=MJV_DwAAQBAJ&pg=GBS.PA1

- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1994). Some comments on the seismotectonic activity of Cuba. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 22(3/4), 347-352.
- Cotilla, M. y Franzke, H.J. (1999). Validación del mapa sismotectónico de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 10(5), 21-28. <http://doc.igme.es/BoletinGeoPDF/boletin%20110%20fasciculo%205.pdf>
- Cotilla, M. y Udías, A. (1999). Geodinámica del límite Caribe-Norteamérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2), 175-186. [https://sge.usal.es/archivos/REV/12\(2\)/Art03.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/12(2)/Art03.pdf)
- Cotilla, M., Alvarez, L. y Chuy, T. (1990). Determinación de zonas origen de terremotos La Española-Jamaica. Instituto de Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 20 pp.
- Cotilla, M., Alvarez, L. y Chuy, T. (1990A). Determinación de zonas sismogeneradoras de la región oriental de Cuba. Instituto Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 18 pp.
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Alvarez, L. (2020). Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba. Google Books, 87 pp. <https://books.google.es/books?id=y8f4DwAAQBAJ>
- Cotilla, M., Alvarez, L. y Rubio, M. (1997). Sismicidad de tipo intermedio en Cuba. *Revista Geología Colombiana*, 22, 35-40. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31442/31453>
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Alvarez, L. (2020A). Características de las principales áreas sísmicas de Cuba. *GEOS*, 40(1), 15 pp. <https://geos.cicese.mx/index.php/geos/article/view/60>
- Cotilla, M., Córdoba, D. y Calzadilla, M. (2007). Morphotectonic study of Hispaniola. *Geotectonics*, 41(5), 368-391. <https://doi.org/10.1134/S0016852107050032>
- Cotilla, M., Franzke, H.J. y Córdoba, D. (2007A). Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysics*, 48(6), 505-522. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2006.08.004>
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Alvarez, L., Franzke, H.J., Rubio, M. y Pilarski, J. (1998). Cinemática neotectónica de Cuba Oriental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11(1-2), 33-42. [https://sge.usal.es/archivos/REV/11\(1-2\)/Art03.pdf](https://sge.usal.es/archivos/REV/11(1-2)/Art03.pdf)
- Cotilla, M., Franzke, H.J., J. Pilarski, O. Portuondo, M. Pilarski y L. Alvarez (1991C). Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Revista Geofísica*, 35, 53-112.
- Cotilla, M., González, E., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. (1988). Estudio morfoestructural de Cuba (1). La red fluvial. *Comunicaciones Científicas Sobre Geofísica y Astronomía*, 5, 26 p.
- Cotilla, M., González, E., Díaz, J. y Cañete, C. (1991). Estudio complejo geomorfológico-estructural de la zona marítima del sur de Cuba Oriental. *Revista Geofísica*, 34, 167-176.
- Cotilla, M., González, E., Cañete, C., Díaz, J. y Carral, R. (1989). Mapa neotectónico complejo del extremo oriental de Cuba y la parte marina meridional. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 19, 18 pp.
- Cotilla, M., Díaz, J., González, D., Fundora, M. y Pacheco, M. (1997A). Estudio morfoestructural de La Española. *Revista Minería y Geología*, 14(3), 73-88. http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art13_No3_97
- Cotilla, M., Millán, G., Alvarez, L., González, D., Pacheco, M. y Arteaga, F. (1996). Esquema neotectogénico de Cuba. Informe científico-técnico del Departamento de Geofísica del Interior, Instituto de Geofísica y Astronomía, 100 pp.
- Cotilla, M., Bankwitz, P., Alvarez, L., Franzke, H.J., González, E., Grünthal, G., Pilarski, J., Díaz, J. y Arteaga, F. (1991A). Mapa sismotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 3, 25 pp.
- Cotilla, M., González, E., Franzke, H.J., Díaz, J., Arteaga, F. y Alvarez, L. (1991B). Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 37 pp.
- Cotilla, M., Rubio, M., Alvarez, L. y Grünthal, G. (1997A). Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores. *Revista Geofísica*, 46, 129-150.

- Erickson, A.J., Helsley, C.E., y Simmons, G. (1972). Heat flow and continuous seismic profiles in the Cayman trough and Yucatan basin. *Geological Society of American Bulletin*, 83(5), 1.241-1.260. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[1241:HFACSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1241:HFACSP]2.0.CO;2)
- GCMT (2022). Global Centroid - Moment Tensor Project. Global CMT Catalog Search, <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- González, B.E., Orbera, L. y Chuy, T. (1994). Zonas sismogeneradoras de la región Centro Oriental. Informe Científico Técnico, CENAIIS.
- González, E., Cotilla, M., Cañete, C., Díaz, J., Carral, R. y Arteaga, F. (2003). Estudio morfoestructural de Cuba. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria* 26(1), 49-69. http://www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_26_1/06_GFDO_26_1_Gonzalez_49_69.pdf
- Gorshkov, A., Kuznetsov, I., Panza, G. y Soloviev, A. (2000). Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure and Applied Geophysics*, 157(1), 79-95. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-8415-0_5
- Gvishiani, G., Zelevinsky, A., Keilis-Borok, V. y Kosobokov, V. (1980). Reconocimiento de las áreas donde pueden ocurrir los terremotos más fuertes ($M_s > 8,2$). Métodos y algoritmos para la interpretación de datos sismológicos (en ruso). *Vichislitel'naya Seismologiya*, 13, 30-43.
- Hernández, J.R., Blanco, P. y Díaz, J. (1988). Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. *Editorial Academia*, 14 pp. <https://www.worldcat.org/es/title/243615139>
- Holcombe, T.L., Vogt, P.R., Mathews, J.E. y Murchinson, R.R. (1973). Evidence for sea-floor spreading in the Cayman trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 20(3), 357-371. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(73\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(73)90011-3)
- Iturralde, M. (1984). *Naturaleza geológica de Cuba*. Editorial Científico-Técnica, La Habana, 146 pp.
- Levchenko, V.A. y Riabujin, A.G. (1971). Block structure of the northern shelf of Cuba (en ruso). *Geotektonika*, 5.
- Linares, E., Dovbnia, A.V., Osadchiy, P.G., Judoley, C.M., Gil, S., García, D., Zuazo, A., Furrázola, G., Brito, A., Evdokimov, Y.B., Markovskiy, B.A., Trofimov, V.A. y Vtulochkin, A.L. (1986). Mapa geológico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS.
- Mann, P. y Burke, K. (1984). Neotectonics of the Caribbean. *Review of Geophysics and Space Physics*, 22(4), 309-392. <https://doi.org/10.1029/RG022i004p00309>
- Mann, P., Taylor, F.W., Lawrence, E. y Teh-Lung, K.U. (1995). Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults. An example from the Northeastern Caribbean Plate Margin. *Tectonophysics*, 246(1-3), 1-69. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00268-E](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00268-E)
- McCann, W.R. y Pennigton, W.D. (1990). Seismicity large earthquakes and the margin of the Caribbean plate. *The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region, Chapter 4*, 291-305. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-H.291>
- MINBAS (1987). Ministerio de la Industria Básica. Sobre los trabajos geofísicos complejos regionales y prospección en las aguas profundas del Shlef en 1986 por la Expedición soviética del barco «Académico Golitzin» (en ruso). En: Fondo Geológico de Cuba.
- MINBAS (1989). Ministerio de la Industria Básica. Investigaciones geofísicas complejas regionales y búsquedas en las aguas profundas de la República de Cuba, durante los años 1986-88. Informe de la 3ª etapa del Contrato 55-044/5700 (en ruso). En: Fondo Geológico de Cuba.
- MINMCM (1968). Ministerio de Minería, Combustible y Metalurgia. Sobre investigaciones sísmicas marinas realizadas en aguas profundas adyacentes, por la Expedición soviética del barco «Vladimir Obruchev» y las conclusiones geológicas. Dirección de Petróleo, Inst. Científico Investigativo de Geología y Geofísica Marina de toda la Unión (en ruso). En: Fondo Geológico de Cuba.
- Mossakovsky, A., Pusharovskiy, Yu., Nekrasov, G.E., Sokolov, S.R., Formell, F., Cabrera, R., Iturralde Vinent, M., *et al.* (1989). Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Instituto de Geología y Paleontología, A. de Ciencias de Cuba.
- NAVY (1933). Navy Princeton Exploration Gravity expedition to the West Indies in 1932. U.S. Hydrographic Office, Washington, 54 pp. <https://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/book/lokupid?key=ha001476459>

- Novikova, O.V. y Gorshkov, A.I. (2018). High seismicity intersections of morphostructural lineaments: The Black Sea-Caspian region. *Journal Volcanology and Seismology*, 12(6), 378-385. <https://doi.org/10.1134/S0742046318060064>
- Núñez, D. (2014). Seismic structure of the crust across NE Caribbean plate (Dominican Republic). Tesis doctoral, Universidad Complutense Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, 317 pp. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27602/1/T35447.pdf>
- Núñez, D., Córdoba, D., Cotilla, M. y Pazos, A. (2015). Modeling the crust and upper mantle in northern Beata Ridge (Caribe Norte Project). *Pure and Applied Geophysics*, 173(5), 1639-1661. <https://doi.org/10.1007/s00024-015-1180-0>
- Orbera, L. (1983). Estudio sismotectónico de la región Occidental. En: Archivos de la Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica, 62 pp. Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- Orbera, L. Marquetti, M.C. & Arias, A. (1987). Esquema de zonas de alta actividad tectónica actual en las cuales es posible la ocurrencia de terremotos de diferentes magnitudes. Ministerio de la Industria Básica de Cuba.
- Orbera, L. González, B., Chuy, T. y Oro, J. (1990). Investigaciones sísmicas en la región de emplazamiento del centro de investigaciones nucleares. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares de Cuba, Vol. 1, 344 pp.
- Quintas, F., Hernández, M. y Campos, M. (1994). Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico de Cuba Oriental y La Española. *Revista Minería y Geología*, 11(3), 3-9.
- Rosencratz, E. y Sclater, J.G. (1986). Deep and age in the Cayman trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 79, 133-144. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(86\)90046-4](https://doi.org/10.1016/0012-821X(86)90046-4)
- Rosencratz, E. y Mann, P. (1991). Sea MARC II mapping transform faults in the Cayman trough Caribbean Sea. *Geology*, 19, 690-693. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1991\)019<0690:SIMOTF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0690:SIMOTF>2.3.CO;2)
- Rosencratz, E., Ross, M.I. y Sclater, J.G. (1988). Age and spreading history of the Cayman trough as determined from depth, heat flow and magnetic anomalies. *Journal of Geophysical Research*, 93(B3), 2141-2157. <https://doi.org/10.1029/JB093iB03p02141>
- Rubio, M., Cotilla, M. y Alvarez, L. (1994). Evidencias sobre la microplaca Gonàve. Inst. de Geofísica y Astronomía, A. de Ciencias de Cuba. Informe Científico-Técnico, 20 pp.
- Shein, V.S. (1979) Tectonics of Cuba and its shelf, *International Geology Review*, 21(5), 540-552, <https://doi.org/10.1080/00206818209467090>
- Shein, V.S, Smirnov, V.N., Klechov, K.A. y Orbera, L. (1975). Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:1.000.000. Informe del Ministerio de Geología y Minería de Cuba,
- Shein, V.S, Kleshov, K.A., Jain, V.E., Dikenshtein, G.E., Yparraquiere, J.L., García, E. y Rodríguez, R. (1985). Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS.
- Soloviev, A., Gvishiani, A., Gorshkov, A., Dobrovolsky, M. y Novikova, O. (2014). Recognition of earthquake prone areas: Methodology and analysis of the results. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 50(2), 151-168. <https://doi.org/10.1134/S1069351314020116>
- Sykes, L.R. y Ewing, M. (1965). The seismicity of the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research*, 70(20), 5065-5074. <https://doi.org/10.1029/JZ070i020p05065>
- Taber, S. (1920). Jamaica earthquakes and the Bartlett trough. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 10(2), 84-88. <https://doi.org/10.1785/BSSA0100020055>
- Taber, S. (1922). The seismic belt in the Greater Antilles. *Bulletin of Seismological Society of America*, 12(4), 199-219. <https://doi.org/10.1785/BSSA0120040199>
- USGS (2022). United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>
- Van Dusen, S.R., y Doser, D.I. (2000). Faulting process of historic (1917-1962) M> 6,0 earthquake along the North-Central Caribbean margin. *Pure applied geophysics*, 157(5), 719-736. <https://doi.org/10.1007/PL00001115>
- Wessel, P., y Smith, W.H.F. (2018). The Generic Mapping Tools GMT Version 4.5.18. <https://www.generic-mapping-tools.org/download/>

Wiggins-Grandison, M. y Atakan, K. (2005). Seismotectonics of Jamaica. *Geophysical Journal International*, 160(2), 573-580. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02471.x>

Zhidkov, M.P., Rotvain, I.M. y Sadovskii, A.M. (1975). Pronóstico del lugar de posible ocurrencia de terremotos fuertes. Intersecciones múltiples de lineamientos de la Meseta Armenia (en ruso). *Vichislitl'naya Seismologiya*, 8, 53-70.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



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



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