

1-Estudio Sismogénico de la Falla Surcubana {*Seismogenic Study of the Surcubana Fault*}

RESUMEN: Ésta es la primera investigación dedicada exclusivamente a la falla Surcubana. Estructura marina de aproximadamente 1.100 km de longitud que es el límite meridional del megabloque Cuba con 7 nudos de articulación. La falla pertenece a la placa Norteamericana y la comparativa con su equivalente al norte, la falla Nortecubana, muestra algunas grandes diferencias. La falla Surcubana tiene mayor deformación en su extensión longitudinal, la actividad sísmica es significativamente menor ($M_{\text{máx}}=4,3$), no tiene tsunamis locales, ni soluciones de mecanismos focales, y tampoco muertos y heridos. La investigación considera que la falla es activa y segmentada con sismicidad de tipo interior de placa.

Palabras clave: falla activa, Caribe, Cuba, interior de placa.

Introducción

En Cuba se han desarrollado estudios sobre fallas activas desde los años 80. Ellos permitieron tener en estos momentos un mapa de estructuras activas con un nivel de fiabilidad muy aceptable. Este resultado ha sido favorecido, fundamentalmente, por la instalación y el mejoramiento de redes de estaciones sismológicas permanentes, tanto nacionales como internacionales.

Cuba es un archipiélago de las Antillas Mayores que ha sufrido históricamente los efectos de terremotos moderados y fuertes (**Figura 1**). No obstante, Haití, Jamaica, Puerto Rico y la República Dominicana han mostrado un nivel sísmico mucho mayor. En la figura se aprecia también la diversidad de estructuras continentales y oceánicas que rodean al archipiélago.

En el artículo, por primera vez, se analiza y discute en profundidad la existencia y actividad de la falla Surcubana [SCF]. Ésta es una extensa estructura marina del sur de Cuba. El trabajo es parte del Proyecto Científico KUK-AHPAN RTI2018-094827-B-C21.

1.1 Datos Fundamentales Sobre Neotectónica y Sismicidad

Los siguientes trabajos fueron usados para desarrollar la parte neotectónica [6, 8, 13, 14, 17-19, 22-27, 29, 31, 32, 35-39, 41, 42, 45, 47, 48, 49, 51-57, 60-63, 66, 70, 77, 79-82, 84, 86-89, 93, 96]. En resumen sabemos que: **1)** la placa Caribe se originó en el Pacífico; **2)** con su desplazamiento al este provoca deformaciones en sus bordes norte y sur, donde aparecen movimientos laterales; **3)** en este complejo proceso geodinámico se produce el cierre marítimo trasero por la interposición de la América Central; **4)** en la zona Pacífico-América Central tiene lugar una colisión con subducción (volcanes y terremotos) de la Placa Cocos bajo la del Caribe; **5)** Cuba es un megabloque ubicado en el borde sur de la placa Norteamericana que interactúa con la del Caribe (**Figura 1**); **6)** este megabloque recibe de forma diferencial la influencia directa de la interacción de las placas Caribe y Norteamericana; **7)** el megabloque está diferenciado en cuatro Unidades Sismotectónicas delimitadas por un conjunto de tres fallas principales: Oriente, Nortecubana y Surcubana;

8) se reconocen en Cuba un total de trece fallas activas ([Tabla 1](#)) siendo la Oriente la más activa; 9) hay también en ella 17 nudos; 10) su segmento Cabo Cruz-Baconao, donde Santiago de Cuba, es el más peligroso desde el punto de vista geológico; 11) las fallas Oriente y Nortecubana no tienen relación de continuidad con la falla Septentrional de La Española; 12) el segmento de Playa Panchita-Remedios y Caibarién (falla Nortecubana) es el único en Cuba donde se han generado tsunamis locales (dos) ([Figura 2](#)); 13) las fallas delimitadas están segmentadas; 14) en las [tablas 1 y 2](#) aparecen otras características de las tres fallas principales de Cuba.

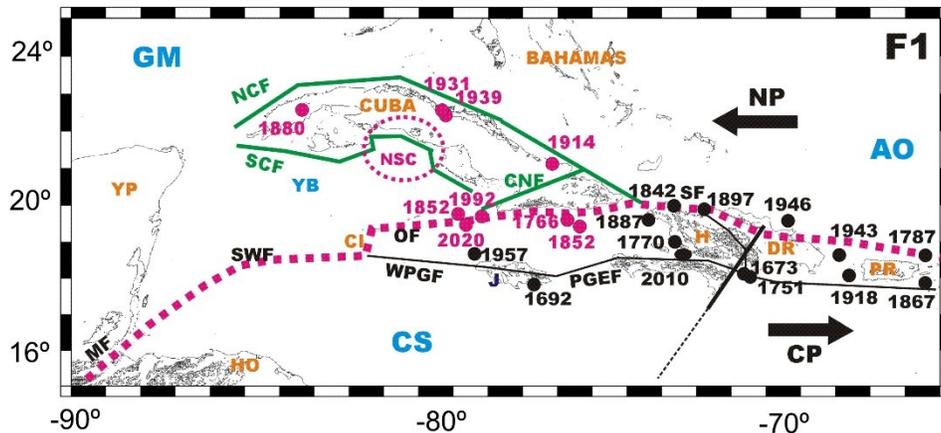


Figura 1. Localización de Cuba en el Caribe. Aparecen: 1) Países (CI=Islas Caimán, DR=República Dominicana, H=Haití, HO=Honduras, J=Jamaica, PR=Puerto Rico (en marrón)); 2) Epicentros: 2.1) círculos negros (año); 2.2) círculos rojos (año); 3) Fallas: 3.1) líneas en verde (CNF=Cauto-Nipe, NF=Nortecubana, OF=Oriente, SCF=Surbubana); 3.2) líneas en blanco (OF=Oriente, PGEF=Plantain Garden-Enriquillo, WPGF=Walton-Platain Garden); 3.3) línea roja discontinua (MF=Motagua, SF=Septentrional, SWF=Swan-Walton); 4) NSC=Nudo neotectónico de la Falla Surcubana y principal zona de deformación (discontinua y círculo rojo); 5) Placas (CP=Caribe, NP=Norteamericana); 6) Región (AO=Océano Atlántico, CS=Mar Caribe, GM=Golfo of México, YB=Cuenca de Yucatán, YP=Península de Yucatán (en marrón)).

Los datos de sismicidad se tomaron de las siguientes fuentes: 2, 3, 9, 10, 13-24, 27-33, 37-43, 50, 64, 65, y 92. A partir de ellos se sostiene que Cuba: 1) tiene dos tipos de sismicidad (interior (Norteamericana) y entre placas (Caribe-Norteamericana)); 2) la mayor actividad sísmica está en Cabo Cruz-Baconao ([Figura 2, Tabla 3](#)); 3) la magnitud máxima registrada y conocida es 7,7; 4) en la [figura 3](#) están los terremotos más importantes del Caribe; 5) existen casos de sismicidad inducida por exploración-explotación de petróleo y gas en el norte de Pinar del Río-Varadero-Corralillo, asociados con la falla Nortecubana ([Figura 3](#)).

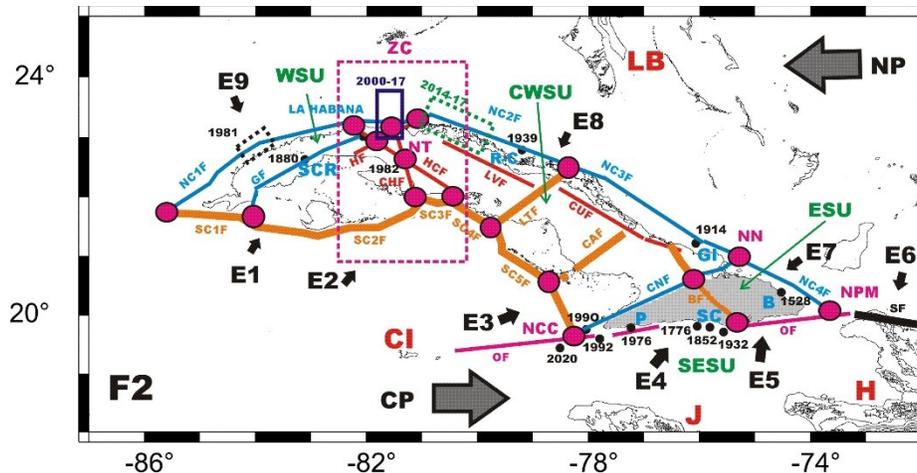


Figura 2. Resumen de la Sismotectónica de Cuba (Cotilla, [19]). Aparecen: **1)** Áreas de sismicidad inducida: 1981, 2000 y 2014-2017 (rectángulos: línea discontinua negra, línea continua morada, línea discontinua verde); **2)** Países (CI=Islas Caimán, H=Haití, J=Jamaica, LB=Las Bahamas); **3)** Epicentros (círculos y años en negro); **4)** Fallas: **4.1)** líneas negras: SF=Septentrional; **4.2)** 1ª Categoría (línea roja): FO=Oriente; **4.3)** 2ª Categoría (línea y letra azul): CNF=Cauto-Nipe, GF=Guane. NCF=Nortecubana (segmentos con letras azules: FNC-1); **4.4)** 3ª Categoría (líneas y letras en naranja): CF=Cochinos, HF=Hicacos, HCF=Habana-Cienfuegos, LF=Las Villas; **4.5)** 4ª Categoría (líneas y letras en marrón): SCF=Surcubana (cuatro segmentos); **5)** Localidades (letras azules; B=Baracoa, GI=Gibara, P=Pilón, R-C=Remedios-Caibarién, SC=Santiago de Cuba, SCR=San Cristóbal); **6)** Nudos (círculos y letras rojas: NCC=Cabo Cruz, NN=Nipe, NPM=Punta de Maisí, NT=Torriente-Jagüey Grande); **7)** Placas (CP=Caribe, NP=Norteamericana); **8)** Dirección del movimiento de las placas (flechas gruesas grises); **9)** Tensor $\sigma_{h\max}$ (flechas gruesas negras con letras y números: E1-9); **10)** Unidad Sismotectónica (letras verdes: WSU=Occidental, CWSU=Centro Occidental, ESU=Oriental, SESU=Suroriental); **11)** ZC=Área de cambio estructural significativo (rectángulo discontinuo y círculo discontinuo en rojo).

Partiendo de la [tabla 3](#) se puede asegurar que los terremotos en Cuba ocurren en fallas y nudos de fallas. Esto se propuso, por primera vez, en ocasión del terremoto perceptible del 16.12.1982 en Torriente-Jagüey Grande ([Figura 2](#)). El terremoto ($M=5,0/I=7$ (MSK)) se localizó en la intersección de las fallas Cochinos y Habana-Cienfuegos [35] y su explicación neotectónica se basó en las ideas de Zhidkov [97].

Cuba tiene un nivel bajo de peligrosidad sísmica en comparación con el de las islas vecinas (Jamaica, La Española (Haití y República Dominicana), y Puerto Rico) ([Figura 3](#)). No obstante, la Unidad Sismotectónica Suroriental es la más peligrosa en Cuba (~70 muertos y ~1.300 heridos). En el resto de Cuba se han reportado sólo 3 muertos y 35 heridos. La zona sísmogenética más activa de ella es la falla Oriente, donde se han generado ~13 terremotos fuertes ($M \geq 6$). La NCF es también activa, pero los valores de actividad son menores que en la OF. La [figura 4](#) presenta la sismicidad (1502-2018) determinada por el CENAI. De ella es factible interpretar la relación de los terremotos con la SCF. Además, se elaboraron tres [tablas \(4-6\)](#) para precisar esta relación. Con respecto a la [tabla 4](#) se debe señalar que las redes internacionales sólo han registrado tres eventos, y el más débil tiene $M=3,8$. Los datos indican que la actividad es de nivel bajo, así como la frecuencia de ocurrencia. No obstante, las [tablas 5 y 6](#) muestran que hay 81 reportes de terremotos para el período 1492-1999. También se confirman las observaciones de Cotilla [13] sobre lo contradictorio de las

determinaciones de epicentros y las grandes diferencias en el tiempo sobre la SCF al observar ([Tablas 4-6](#)). Aquí consideramos que las diferencias se deben a dos factores: **1)** poco interés del Servicio Sismológico Nacional cubano (Parte III, [tabla 5](#)); **2)** bajo nivel de actividad sísmica (Partes I-III, [tabla5](#)).

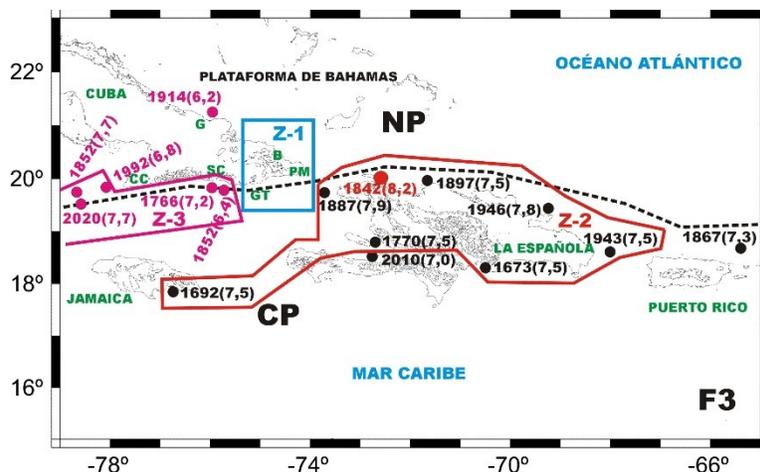


Figura 3. Mayores terremotos del Norte del Caribe. Aparecen: **1)** Epicentros: **1.1)** Jamaica-La Española-Puerto Rico (círculo negro [año (M)]); **1.2)** Cuba (círculo rojo [año (M)]); **1.3)** la mayor M (círculo y año en naranja); **2)** Localidades (B=Baracoa, CC=Cabo Cruz, G=Gibara, GT=Guantánamo, PM=Punta de Maisí, SC=Santiago de Cuba); **3)** Límite de placas (línea discontinua negra); **4)** Placas (CP=Caribe, NP=Norteamericana); **5)** zona de: **5.1)** baja sismicidad (rectángulo (Z-1, en azul)); **5.2)** $M \geq 7,5$ (rectángulo (Z-2, en naranja)); **5.3)** Cabo Cruz con M [6,4-7,7] (rectángulo (Z-3, en rojo)).

Tabla 1. Principales fallas de Cuba.

Nº	Falla/ Siglas	M _{máx} / h _{máx} (km)/ Categoría/		L (km)/ Ancho (km)/		Terremotos
		Segmentos		Tipo		
1	Baconao/ BF	5,1/ 10/ 4/ 2		240/ 10/ C		SI
2	Cubitas/ CF	4,1/ 10/ 3/ 2		190/ 20/ C		SI
3	Camagüey/ CAF	3,0/ 10/ 4/ 1		180/ 30/ C		SI
4	Cauto-Nipe/ CNF	6,6/ 10/ 2/ 2		150/ 10/ C		SI
5	Cochinos/ CHF	5,0/ 20/ 3/ 2		200/ 30/ C		SI
6	Guane/ GF	5,9/ 30/ 2/ 3		280/ 10/ C		SI
7	Habana-Cienfuegos/HCF	5,0/ 10/ 3/ 4		310/ 10/ C		SI
8	Hicacos/ HF	3,0/ 20/ 3/ 3		230/ 20/ C		SI
9	La Trocha/ LTF	4,6/ 10/ 4/ 1		200/ 30/ C		SI
10	Las Villas/ LVF	4,5/ 10/ 3/ 2		250/ 30/ C		SI
11	Nortecubana/ NCF	6,2/ 35/ 2/ 5		>1.000/ 20/ T		SI
12	Oriente/ OF	7,7/ 20/ 1/ 3		>1.000/ 200/ T		SI
13	Surcubana/ SCF	4,1/ 10/ 4/ 5		>1.000/ 10/ C		SI

Nota: C=cortical, T=trans-cortical.

Tabla 2. Características de algunas fallas de Cuba.

Nº	Siglas	Ks	Nudos	Localizado en zona	Límite de	Tsunami local	Espesor de la capa sismoactiva (km)	Tipo de sismicidad	Muertos/ Heridos
11	NCF	0,82	6	Marina	Megabloque	2	12	Interior	-/ 2
12	OF	0,97	3	Marina	Placas	-	30	Interior	80/ 700
13	SC	0,67	7	Marina	Megabloque	-	10	Interior	-/ -

Nota: Ks=Coficiente de Sinuosidad.

Tabla 3. Terremotos más importantes de Cuba.

Nº	Fecha	M _{máx} /I _{máx} (MSK-1978)	Muertos/ Heridos/ Pérdidas Económicas (10 ⁶ \$)	Localidad/ Unidad Sismotectónica	Asociada con
1	1551.10.18	6,6/ 8	-/ 7/ 0,01	Cabo Cruz/ SESU	Nudo CC
2	1766.06.11	7,2/ 9	40/ 700/ 10	Santiago de Cuba/ SESU	OF
3	1842.07.07	6,8/ 8	2/ 10/ 0,5	Santiago de Cuba/ SESU	Nudo CC
4	1852.08.20	6,4/ 9	2/ 200/ 2	Santiago de Cuba/ SESU	OF
5	1880.01.23	6,2/ 8	3/ 20/ 1	San Cristóbal/ WSU	GF
6	1914.02.28	6,2/ 8	-/ 2/ 0,01	Gibara/ CWSU	NCF
7	1932.02.03	6,75/ 8	25/ 350/ 20	Santiago de Cuba/ SESU	OF
8	1992.05.25	6,8/ 7	-/ 40/ -	Cabo Cruz/ SESU	Nudo CC
9	2020.01.28	7,7/ 3	-/ -/ -	Cabo Cruz/ SESU	Nudo CC

Notas: SESU=Unidad Sismotectónica Suroriental, WSU=Unidad Sismotectónica Occidental, CWSU=Unidad Sismotectónica Centro Occidental, CC=Cabo Cruz, GF=Falla Guane, NCF=Falla Nortecubana, OF=Falla.

Tabla 4. Terremotos determinados en los alrededores de la Falla Surcubana (USGS).

Nº	Fecha/ Tiempo	Coordenadas (N W)	M/ h(km)
1	8.08.1996/ 22:25:11	22,110 80,184	3,8/ 10
2	22.10.2005/12:13:15	21,843 80,918	4,1/ 10
3	21.01.2015/ 04:07:13	22,127 81,422	4,1/ 16,1

En la **figura 3** se presenta la diferenciación de los terremotos por magnitud en la región norte. Al este de la Punta de Maisí las magnitudes son mayores, y resalta el valor de M=8,2 (en la parte norte de La Española). Se identificaron tres zonas de actividad sísmica: **1)** la zona de sismicidad atípica del contacto de las placas Caribe-Norteamericana de acuerdo a Cotilla y Córdoba [29], con un nivel muy bajo (Z-1); **2)** el área del mayor potencial sísmico en el norte del Caribe, previamente indicado y discutido por Cotilla *et al.* [34], (Z-2); **3)** el segmento más activo de la falla Oriente [36, 38], (Z-3).

Tabla 5. Terremotos en la falla Surcubana (Álvarez *et al.*, [3]).

PARTE-I							
Nº	Fecha	Coordenadas (N W)	M /h (km)	Nº	Fecha	Coordenadas (N W)	M /h (km)
1	5.01.1824	21,80 79,98	4,3/ 10	8	1936	21,84 78,77	3,0/ 10
2	28.04.1861	21,80 79,98	3,1/ 10	9	23.07.1943	21,92 80,02	3,2/ 10
3	1871	21,87 82,78	4,2/ 10	10	28.	21,80 79,98	3,0/ 10
4	03.1872	21,77 83,54	3,5/ 10	11	27.10.1945	21,93 79,45	2,9/ 10
PARTE-II				12	22.12.1951	21,94 78,43	3,3/ 10
Nº	Fecha	Coordenadas (N W)	M /h (km)	13	1955	21,92 80,13	3,0/ 10
5	24.01.1909	21,80 79,98	4,3/ 10	14	1958	21,97 78,86	2,9/ 10
6	1925	21,84 78,77	3,0/ 15	15	07.1966	21,25 78,16	2,8/ 10
7	1932	21,87 79,84	3,5/ 10	16	1.07.	21,25 78,16	2,8/ 10
PARTE-III							
Nº	Fecha	Coordenadas	M /h (km)	Nº	Fecha	Coordenadas	M /h (km)

		(N W)				(N W)	
17	26.07.1971	21,90 79,10	3,3/ 10	50	28.07.1974	21,96 78,39	-/ -
18	27.03.1974	21,56 78,06	3,2/ -	51	31.	21,70 77,35	-/ -
19	8.04.	21,80 78,05	3,8/ 5	52	2.08.	21,90 78,10	-/ -
20	10.	21,85 78,12	2,8/ 10	53	13.	21,85 78,05	-/ -
21	13.	21,85 78,12	2,15/ 10	54	14.	21,95 78,15	-/ -
22	15.	21,85 78,12	2,8/ 10	55	28.	21,73 78,30	4,0/ 18
23	30.	21,75 78,15	3,4/ 20	56	28.	21,90 78,15	-/ -
24	10.05.	21,85 78,12	2,5/ 10	57	28.	21,90 78,15	-/ -
25	16.	21,88 78,72	3,4/ -	58	28.	21,80 78,10	-/ -
26	16.	21,14 79,26	-/ -	59	7.09.	21,90 78,10	-/ -
27	17.	21,17 79,25	3,5/ -	60	7.	21,85 79,95	-/ -
28	19.	21,95 78,20	-/ -	61	7.	21,80 79,95	-/ -
29	21.	21,80 78,20	-/ -	62	9.	21,90 78,10	-/ -
30	23.	21,90 78,20	-/ -	63	9.	21,90 78,10	-/ -
31	23.	19,74 78,40	-/ -	64	9.	21,68 79,54	-/ -
32	24.	21,92 78,12	-/ -	65	9.	21,80 79,53	-/ -
33	24.	21,85 78,27	-/ -	66	9.	21,75 78,50	-/ -
34	15.06.	21,85 78,10	2,15/ 10	67	11.	21,90 78,50	-/ -
35	15.	21,85 78,10	-/ -	68	11.	21,95 78,15	-/ -
36	19.	21,60 79,60	-/ -	69	12.	21,90 78,10	-/ -
37	21.	21,57 79,63	-/ -	70	12.	21,90 78,10	-/ -
38	21.	21,85 79,25	-/ -	71	13.	21,90 78,15	-/ -
39	27.	21,70 79,20	2,8/ 10	72	15.	21,75 78,15	-/ -
40	27.	21,85 79,30	-/ -	73	27.	21,95 78,15	-/ -
41	29.	21,63 79,78	-/ -	75	7.10.	21,90 78,15	-/ -
42	29.	21,57 79,63	-/ -	75	9.	21,70 79,50	-/ -
43	29.	21,65 79,70	-/ -	76	12.	21,85 78,12	2,1/ -
44	30.	21,62 79,74	-/ -	77	5.11.	21,97 78,20	3,7/ 10
45	30.	21,65 79,65	-/ -	78	24.10.1976	21,93 79,98	4,1/ 10/
46	2.07.	21,57 79,55	-/ -	79	11.02.1977	21,85 78,2	3,0/ 5
47	2.	21,55 79,50	-/ -	80	12.01.1985	21,83 80,29	2,8/ 15
48	22.	21,90 78,10	-/ -	81	12.01.1986	21,90 80,29	2,9/ 15
49	25.	21,80 78,65	-/ -				

Tabla 6. Resumen de la tabla 5.

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

Los autores han analizado lo siguiente: **1)** los agrupamientos de epicentros en el Caribe norte [13, 33, 39]; **2)** la cinemática de la SCF en su relación con los sistemas de fallas Cochinos, Guane, Habana-Cienfuegos, e Hicacos en los alrededores de la Bahía de Cienfuegos y el Bloque de Guamuhaya [19-21, 24]; **3)** la ausencia de series de terremotos y determinaciones de mecanismos focales en la SCF [14, 31, 38]; **4)** la segmentación de la SCF y la caracterización de su segmento más activo SC2, Bahía de Cochinos-Bahía de Cienfuegos-Bloque de Guamuhaya [36, 38].

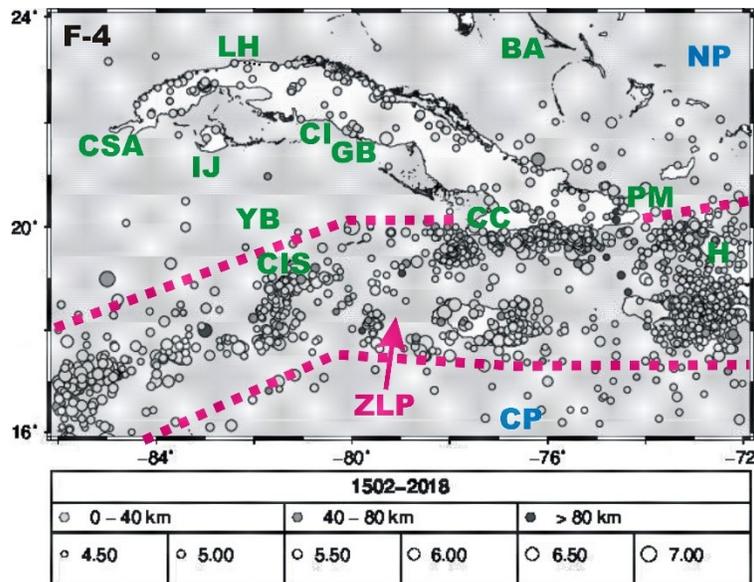


Figura 4. Sismicidad de Cuba (CENAIS). Aparecen: **1)** Países (en color verde (BA=Bahamas, H=Haití, CIS=Islas Caimán)); **2)** Límite de Zona Límite de Placa (línea discontinua roja); **3)** Epicentros (círculos, ver la leyenda); **4)** Localidades (en verde (CC=Cabo Cruz, CI=Cienfuegos, CSA=Cabo de San Antonio, GB=Guamuhaya Block, IJ=Isla de la Juventud, LH=La Habana, PM=Punta de Maisí, YB=Cuenca de Yucatán)); **5)** Placas (en color azul (CP=Caribe, NP=Norteamericana)); **6)** PBZ=Zona Límite de Placas (en rojo).

1.2 Algunas Características de las Fallas Activas

Los científicos de especializados en Ciencias de la Tierra identifican y describen estructuras geológicas activas así como sus grados de actividad [5-9, 45, 46, 58, 60, 64, 69, 71, 76, 78, 83, 89-92, 95, 97]. Se sabe que en el caso de las rupturas corticales o fracturas (fallas): **1)** las más importantes están asociadas con las fronteras de las placas, **2)** las menos importantes con el interior de las placas [6, 9, 17, 20, 21, 31, 38, 54, 83]. En la actualidad está demostrado, que a pesar del gran conocimiento acumulado, no hay una definición simple de fractura activa. Una estructura de ese tipo requiere información acerca de: dimensiones, localización, terremotos (históricos y registrados) [13, 53, 83]. Con ese objetivo se usan diferentes métodos: geológico, geomorfológico, geodésico y sismológico. Ello involucra a otros conceptos como: **1)** índices (geológico y geomorfológico) para la delimitación de la falla; **2)** tipo de falla (activa, inactiva, potencialmente activa); **3)** segmento de falla; **4)** categoría de falla; **5)** período de recurrencia.

En el proyecto de investigación de Álvarez *et al.* [2] se decidió seguir las recomendaciones del Profesor Dr. Peter Bankwitz de aplicar la teledetección para el estudio de los alineamientos principales y sus intersecciones con fines de estimación de la peligrosidad sísmica [35]. Los especialistas J.F. Albear, K.N. Krestnikov, L. Lyskov, G.V. Makarov, G. Millán, E. Nagy, J. Pilarsky, V.S. Shein, V.G. Trifonov, y E.C. González-Clemente asesoraron al equipo de investigación para aplicar métodos geomorfológicos de tipo cuantitativo para validar los resultados de la teledetección [13, 35].

Por otra parte, sabemos que el Académico Profesor Vladimir Vladimirovich Belousov [7] consideró que las grandes fallas están localizadas en las zonas de interacción de grandes

bloques y su articulación con estructuras de su interior. Posteriormente, Bankwitz *et al.* [6] demostraron que para Europa las grandes zonas de debilidad tectónica tienen diferente comportamiento y expresión en el relieve ante la ocurrencia de terremotos. Cotilla *et al.* [27] y Cotilla y Franzke [30]. Además, encontraron y explicaron esas características en el megabloque cubano y elaboraron un mapa sismotectónico.

1.3 La Falla Surcubana

La SCF se describe de forma diferente en los siguientes trabajos: 2, 8, 13-17, 19-27, 30,-33, 36-39, 45-47, 49, 52, 55-57, 66, 72-75, 84-86, y 93. A partir de ellos, y considerando los comentarios realizados al final de la sección anterior, y el análisis de la sismicidad realizado antes, se confeccionaron dos [tablas \(7 y 8\)](#) con el objetivo de fundamentar la existencia y la actividad contemporánea de la SCF.

Por otra parte, de los resultados de Rosencratz [80], se conoce que: **1)** la Cuenca de Yucatán tiene tres bloques: **1.1)** la plataforma de Yucatán; **1.2)** el bloque central que es el mayor y más complejo; **1.3)** el bloque este que se relaciona con la estructura de las Islas Caimán y la falla La Trocha; **2)** su figura 3 muestra fuertes inflexiones de dirección N-S hacia el SE de la Isla de la Juventud y desde las Islas Caimán; **3)** a partir de su figura 4 se pueden ver: **3.1)** la diferenciación en bloques y la relación de continuidad SW-NE con la falla La Trocha hacia el este del Bloque Guamuhaya; **3.2)** una banda gravimétrica de anomalías de Bouguer alargada entre la Bahía de Cochinos y la falla Camagüey en dirección a Cabo Cruz, la cual es una depresión, a modo de bloque deprimido, anormal. Interpretamos esos datos como la confirmación de la SCF en el límite de la Cuenca de Yucatán y el megabloque cubano.

La experiencia de los autores en los estudios de la sismotectónica de Cuba, apunta a que es necesario valorar tres trabajos para comprender la diferenciación sismogénica del megabloque. Dichos trabajos son: Cotilla *et al.* [37, 38], y González *et al.* [47]. Con el Mapa Neotectónico de Cuba [37] se determina que: **1)** las estructuras del megabloque corresponden a las direcciones fundamentales de los segmentos de las fallas Nortecubana y Surcubana; **2)** las dimensiones y figura de las neo estructuras se diferencian en el segmento entre La Habana y la falla La Trocha. Hay dos tipos: **2.1)** rectangular paralelo a la costa norte (entre la localidad de Corralillo y la falla La Trocha); **2.2)** aproximadamente cuadrangular entre las fallas Cochinos y La Trocha, donde se encuentra el Bloque Guamuhaya; **3)** en la vecindad de la falla Cochinos existe una deformación estructural significativa; **4)** hacia el este del macizo metamórfico de Guamuhaya (o Bloque Guamuhaya) se localiza una estructura plana y no deformada.

Tabla 7. Referencias que reconocen a la falla Surcubana.

Nº	Referencia	Figura	Tabla	Comentarios
1	Belousov (1980), Krestnikov <i>et al.</i> (1983)	1	-	Figura de las zonas sismogénicas en Cuba Central para la Central Electronuclear de Cienfuegos. Se incluye como zona sísmica
2	Chuy <i>et al.</i> (1984)	-	-	Transcortical/ No Activa- Potencialmente Activa- Activa/ Terremotos en Santa Cruz del Sur 23.11.1949/ L>1.000 km/ Transcortical/ Movimientos Neotectónicos Fuertes-Fuerte y Moderados movimientos/ Categoría III/ Trazo seguro en Isla de la Juventud-La Trocha/ Categoría IIB y M≤6,5 en La Trocha-Cabo Cruz y Trazo Supuesto en Cabo de San Antonio-Isla de la Juventud
3	Cotilla (1993)	2	-	-
4	Cotilla (1998A)	3	-	-
5	Cotilla (1998B)	4, 9	4	-
6	Cotilla (2011)	3, 7, 9	-	Hay 7 nudos: NC-SC, G-SC, CH-SC, HCI-SC, LTR-SC, CA-SC, CN-CC-SC/ Se considera falla activa como CA, CH, CN, G, HCI, LTR, NC, OR
7	Cotilla (2014)	3, 4	6	-
8	Cotilla (2017)	3B	1, 3	-
9	Cotilla y Álvarez (1998)	27	-	Hay 6 nudos: NC-SC/ C-SC/ CH-SC/ ALHC-SC/ LTRO-SC/ CC-CN-SC
10	Cotilla y Álvarez (1998A)	3, 4, 5	-	-
11	Cotilla y Córdoba (2007)	1, 4, 5	-	-
12	Cotilla y Franzke (1999)	1	-	-
13	Cotilla <i>et al.</i> (1997A)	2	-	-
14	Cotilla <i>et al.</i> (1994)	-	6 (Partes A y B)	Trazo completo reconocido por 4 trabajos y Parcialmente por 7/ Límite del Megabloque/ Transcortical/ L>1.000/ Ancho=5-50 km/ M=6,0-5,5/ 6,5-6,0/ 7-6,5
15	Cotilla <i>et al.</i> (1991)	-	-	Transcortical, No Activa- Potencialmente Activa-Active/ Terremoto en Santa Cruz del Sur 23.11.1949
16	Cotilla <i>et al.</i> (1991A)	-	11	L>1.000 km/ Transcortical/ Movimientos Neotectónicos fuertes: Fuertes-Moderados/ Categoría II y III/ Segura/ Segmento: 1) Isla de la Juventud-LaTrocha/ Categoría IIB/ M≤6,5; 2) La Trocha-Cabo Cruz y Cabo de San Antonio-Isla de la Juventud=Supuesta
17	Cotilla <i>et al.</i> (1996)	1, 2	1	-
18	González <i>et al.</i> (1994)	-	-	Dividida en 3 segmentos (M _{máx} 6,0/ h _{máx} =15): Occidental, Central, Oriental/ Gradv=3,3/ gradΔg=1-10/ Longitud (km)=350/ Profundidad de la capa sismogeneradora=15 km/ Categoría III/ M _{máx} por dimensión=6-7,1 (6,5)/ M _{áax} por (gradV)=6,3/ M _{máx} por (gradΔg)=6,0-6,7/ M _{máx} propuesta=6,0/ M _{máx} observada=4,6
19	Hernández <i>et al.</i> (1988), Ionin <i>et al.</i> (1977), Iturralde-Vinent (1984)	-	-	Se reconoce el trazo completo

20	Orbera and Marquetti (1984)	6	-	Terremotos con ML>3
21	Orbera <i>et al.</i> (1987, 1990)	-	-	Categoría V/ M [?] -6,0/ Reconocida por el 50% de los métodos aplicados/ Espesor de la capa sismogénica=15 km/ Longitud=350 km/ Profundidad de los terremotos=10-20 km

Notas: **1)** Nudos: NC-SC=Nortecubana-Surcubana, G-SC=Guane-Surcubana, CH-SC=Cochinos-Surcubana, HCI-SC=Habana-Cienfuegos-Surcubana, LTR-SC=La Trocha-Surcubana, CA-SC=Camagüey-Surcubana, CN-CC-SC=Cauto-Nipe-Oriente-Surcubana; **2)** Fallas: CA=Camagüey, CH=Cochinos, CN=Cauto-Nipe, G=Guane, HCI=Habana-Cienfuegos, LTR=La Trocha, NC=Nortecubana, OR=Oriente.

Tabla 8. Fallas de Cuba y principales terremotos de acuerdo a varias fuentes (Cotilla y Córdoba [26]).

Nº	Falla/ Tipo	M _{máx}	Segmento/ Nudo	Terremoto perceptible (Intensidad-MSK)/ Total
1	Cauto-Nipe/ T	6,6	2/ 2	1551, 1624, 1856, 1858, 1926, 1987 (2 eventos) 1990, 1992, 1995/ 10
2	Cochinos/ C	5,0	3/ 3	1903, 1927, 1928, 1964, 1974, 1982/ 6
3	La Trocha/ C	4,6	4/ 1	1943, 1970, 1971/ 3
4	Surcubana/ T	4,1	4/ 7	5.01.1824 (VI), 28.04.1846 (IV), 10.09.1846, 18.04.1847, 30.08.1849, 24.01.1909, 27.05.1914, 30.07.1943, 28.04.1946 (III), 19.06.1949, 23.11.1949 (IV), 02.1955 (III), 11.11.1970 (IV), 23.10.1976/ 14

Nota: C=cortical, T=transcortical.

En el Mapa Morfoestructural de Cuba [47], se ve que: **1)** la divisoria principal de primer orden de la red fluvial está mucho más cerca de la línea costera norte y es aproximadamente paralela a ella; **2)** hay cinco conjuntos de fallas (Cauto-Nipe, Cochinos, La Trocha, Nortecubana, y Surcubana); **3)** hay tres grandes bloques: Occidental (falla Cauto-Nipe-Cabo de San Antonio), Este (falla Cauto-Nipe - Punta de Maisí), y Sureste (en la parte marina entre Cabo Cruz y Punta de Maisí); **4)** la figura geométrica de las morfoestructuras mantiene una disposición muy ajustada a la distancia entre las líneas de costa norte y sur; **5)** el segmento de la SCF entre las fallas Cochinos y La Trocha es lineal y corresponde al borde sur del Bloque Guamuhaya. Éste es un gran macizo metamórfico con una altura $h_{máx}=1.140$ m. Los autores mencionados consideran tres transectos de dirección aproximada sur-norte a través del megabloque cubano para interpretar la relación entre la estructura geológica, las morfoestructuras y los terremotos fuertes (**Figura 5**). Dichos transectos son: **1)** Cuenca de Yucatán-Golfo de México; **2)** Cuenca de Yucatán-Plataforma de Bahamas; **3)** Fosa de Oriente-Océano Atlántico. En el primero de ellos se asocia el fuerte terremoto (año 1880) con la falla Guane [15] que se localiza dentro del megabloque. El segundo transecto atraviesa la zona de mayor deformación estructural dentro del megabloque y la actividad sísmica resulta ser mayor en la falla Nortecubana. La tercera sección muestra la mayor sismicidad de Cuba en el área de la falla de Oriente.

La **figura 5** muestra un extenso alineamiento de dirección N-S desde las Islas Caimán hasta la Península de Hicacos, a través de la Bahía de Cochinos. Esta estructura lineal separa las morfoestructuras M1 y M2 y se corresponde al área principal de cambio estructural de Cuba. Además, Cotilla *et al.* [36] discuten todos los trabajos neotectónicos y morfoestructurales en Cuba y plantean que: **1)** la transmisión de los principales esfuerzos

tectónicos desde la PBZ hacia las fallas Surcubana y Nortecubana tiene valores diferentes; **2)** la mayor deformación está asociada con la SCF debido a su interacción de una estructura oceánica (Cuenca de Yucatán) con el megabloque cubano; **3)** la menor deformación de la falla Nortecubana en el segmento Pinar del Río-La Habana corresponde a la interacción entre el megabloque y la estructura oceánica del Golfo de México; **4)** el segmento lineal de la falla Nortecubana, entre Matanzas y Gibara, muestra una compresión definida entre la Plataforma de Bahamas y el megabloque. Las **figuras 6A-C** presentan un resumen del modelado neotectónico.

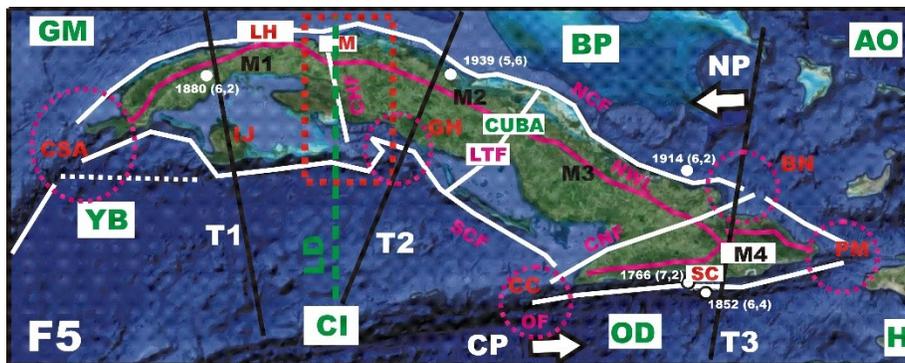


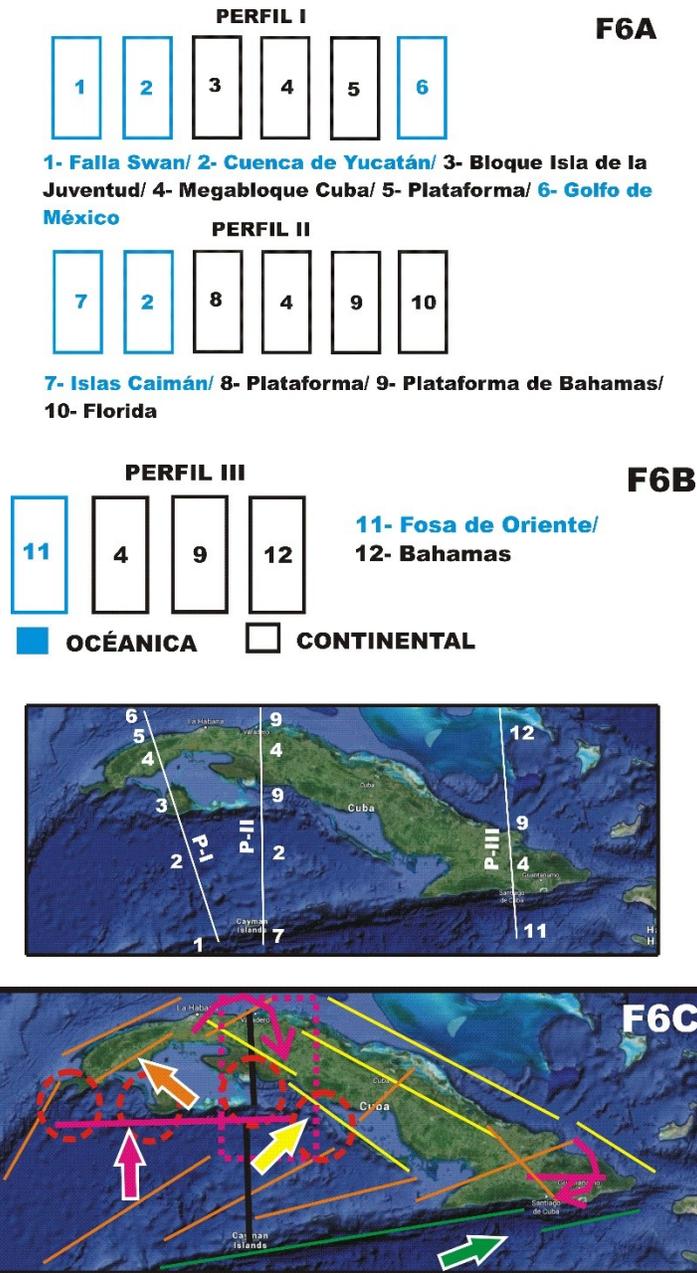
Figura 5. Esquema morfoestructural de Cuba (González et al. [47]). Aparecen: **1)** Alineamientos (línea discontinua blanca); **2)** Área de cambio estructural (línea discontinua naranja); **3)** Epicentros (círculos blancos, año, y (M)); **4)** Fallas (líneas blancas: CHF=Cochinos, CNF=Cauto-Nipe, LTF=La Trocha, NCF=Nortecubana, OF=Oriente, SCF=Surcubana); **5)** Nudos (círculos discontinuos rojos); **6)** Localidades (en naranja: BN=Bahía de Nipe, CC=Cabo Cruz, CSA=Cabo de San Antonio, GH=Guamuhaya, IJ=Isla de la Juventud, LH=La Habana, M=Matanzas, PM=Punta de Maisí, SC=Santiago de Cuba); **7)** LD=Línea de la zona de debilidad tectónica principal (línea discontinua verde); **8)** Morfoestructuras principales (en negro: M1-M4); **9)** MWL=Divisoria Principal de Primer Orden de la red fluvial (línea continua en rojo); **10)** Placas (CP=Caribe, NP=Norteamericana, en blanco); **11)** T1-T3=Transectos (líneas negras); **12)** Regiones (en verde: AO=Océano Atlántico, BP=Plataforma de Bahamas, CI=Islas Caimán, GM=Golfo de México, OD=Fosa de Oriente, YB=Cuenca de Yucatán); **13)** Sentido de movimiento (flechas blancas).

Se ha demostrado que en el megabloque Cuba, y su entorno inmediato, existe una relación directa entre: **1)** la cantidad de fracturas ($l \geq 5$ km) (27); **2)** la densidad fluvial (ríos de orden ≥ 3) Cotilla *et al.* [37]; **3)** los tipos de morfoestructuras [47], y los tipos de corteza determinados por Prol *et al.* [79].

1.4 Discusión y Conclusiones

Los estudios de sismotectónica en Cuba han sido diversos en contenido y metodología [16, 19]. De otra parte, hay trabajos que analizan y discuten la génesis de Cuba y sus alrededores inmediatos. Con ellos es posible establecer una regionalización que responda a las magnitudes de los terremotos indicados en la **figura 3**. Los autores consideran que la **figura 2** tiene esa información. Las tres líneas tectónicas que sirven como límites del megabloque Cuba son activas y tienen diferentes categorías. Todas son de tipo marino y están segmentadas. Dos de ellas (fallas Nortecubana y Surcubana) son extensas y aproximadamente paralelas a las líneas de costas respectivas, e interactúan con las estructuras marinas y continentales. Ellas pertenecen a la placa Norteamericana y su

sismicidad es de interior de placa. La tercera es el límite con la placa del Caribe, donde se produce la mayor actividad sísmica y determinan las mayores magnitudes de los terremotos.



Figuras 6A-C. Transectos y modelo neotectónico de Cuba. Aparecen: **1)** Alineamientos principales (NE=naranja, NW=amarillo, ENE=rojo); **2)** Zona de deformación principal=rectángulo discontinuo rojo; **3)** Estimado del esfuerzo promedio=flecha gruesa (N-S=roja, NE=amarilla, NW=naranja, ENE=verde); **4)** Sentido del movimiento relativo=flecha curva roja; **5)** Dirección de cambio estructural (círculo discontinuo rojo).

Al comparar las **figuras 2 y 5** resaltamos lo siguiente: **1)** coinciden las principales zonas de fallas; **2)** las fallas están segmentada; **3)** la SCF tiene mayor deformación que la falla

Nortecubana; **4)** hay varias zonas de articulación neotectónica -nudos- que facilitan la segmentación estructural y su caracterización. Algunos especialistas han asumido la existencia de un flujo astenosférico desde el Pacífico hasta el Caribe a través de un canal localizado en la vecindad de Panamá donde no hay raíces profundas [1, 40, 70]. En particular, Martín de Blas [63] presenta dos figuras con las anomalías de Bouguer y la transmisión de flujo de calor. De esos mapas se deduce que hay un flujo desde Panamá hasta la Cuenca de Yucatán que se desvía hacia el este, pasando por el sureste de Cuba y convergiendo en Bahamas. De ellos se verifica que el noroccidente de Cuba tiene los menores valores del flujo de calor y que su límite este coincide con la línea N-S indicada en la **figura 2**.

Finalmente, aseguramos que la falla Surcubana se caracteriza por: **1)** 81 terremotos (1502-1999)/ $M_{\text{máx}}=4,3$ / longitud ~ 1.100 km/ 7 nudos; **2)** no tener reportes de tsunamis locales, ni solución de mecanismo focal, ni víctimas mortales asociadas; **3)** tener el área de mayor actividad sísmica entre la fallas Cochinos y La Trocha; **4)** mostrar menor actividad sísmica que la falla Nortecubana; **5)** ser una zona de sismicidad de interior de placa.

Agradecimientos: Muchas de las figuras fueron preparadas por A.García-Sarduy. S.Crespillo-Maristegui recopiló muchas de las referencias. Los Fondos económicos provienen principalmente del Proyecto KUK-AHPAN RTI2018-094827-B-C21.

Referencias

- 1- Álvarez, W. 1982. Geological evidence for the geographical pattern of mantle return flow and the driving mechanism of plate tectonics. *Journal Geophysical Research*, 87, 6.697-6.710.
- 2- 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.
- 3- 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.
- 4- 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.
- 5- Baie, L.F., 1970. Possible structural link between Yucatán and Cuba. *American Association Petroleum Geological Bulletin*, 54, 2.204-2.207.
- 6- Bankwitz, P., Scheneider, G., Kämpf, H. y Bankwitz, E., 2003. Structural characteristics of epicentral areas in Central Europe: Study case Cheb Basin (Czech Republic). *Journal of Geodynamics*, 35(1-2) 5-32.
- 7- Belousov, V.V. *Geotectonics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1980, 330 pp.
- 8- Belousov, T.P., Krestnikov, V.N. y Shebalin, N.V. 1983. Delimitación de zonas sismogeneradoras en Cuba Central y estimación de su magnitud máxima. *Investigaciones de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 81-85 pp. [en Ruso].
- 9- Campbell, D.L. 1978. Investigation of the stress concentration mechanism for intraplate earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 5, 477-479.
- 10- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas [CENAIIS]. <http://www.cenais.cu>
- 11- Chuy, T. *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, Santiago de Cuba, 1999.

- 12- Chuy, T., González, B. y Vorobiova, E. 1984. Sismicidad de las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila, Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba* 5, 61-94.
- 13- Cotilla, M.O. Una caracterización sismotectónica de Cuba. Tesis doctoral, Academia de Ciencias de Cuba, 1993, 200 pp.
- 14- Cotilla, M.O. 1998. An overview on the seismicity of Cuba. *Journal of Seismology*, 2(4) 323-335.
- 15- Cotilla, M.O. 1998A. Terremotos de Cuba. *GEOS*, 18(3) 180-188.
- 16- Cotilla, M.O. 1998 B. Una revisión de los estudios sismotectónicos de Cuba. *Estudios Geológicos*, 54(3-4) 129-146.
- 17- Cotilla, M.O. 1999. El controvertido alineamiento Habana-Cienfuegos, Cuba. *Estudios Geológicos*, 55, 1-21.
- 18- Cotilla, M. 2011. ¿Tsunamis en Cuba? *Revista Física de la Tierra*, 23, 173-197.
- 19- Cotilla, M. 2014. Alternative interpretation for the active zones of Cuba. *Geotectonics*, 48(6) 459-483 (2014).
- 20- Cotilla, M. 2014A. Sismicidad de interior de placa en Cuba. *Revista Geofísica*, 64, 93-125.
- 21- Cotilla, M.O. 2017. Evaluation of recent intraplate seismic activity on Cochinos Bay, Cuba. *Revista Geográfica de América Central*, 58, 195-222.
- 22- Cotilla, M.O. y Álvarez, J.L. 1998. Mapa de zonas sismogeneradoras de Cuba. *Geología Colombiana*, 23, 97-106.
- 23- Cotilla M.O. y Álvarez J.L. 1998A. Esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica en Cuba. *Revista Geofísica*, 49, 48-85.
- 24- Cotilla, M.O. y Álvarez, J.L. 2001. Regularidades sismogenéticas de la unidad neotectónica Occidental de Cuba. *Revista Geológica de Chile*, 28(1) 3-24.
- 25- Cotilla, M.O. y Álvarez, J.L. 2023. Valoración crítica sobre la falla nortecubana. *Nexos*, 36(3) 252-271.
- 26- Cotilla, M. y Córdoba, D. 2007. Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysics*, 48(6) 505-522.
- 27- Cotilla, M. y Córdoba, D. 2010. Study of the Cuban fractures. *Geotectonics*, 44(2) 176-202.
- 28- Cotilla, M. y Córdoba, D. 2010A. The Bayamo earthquake (Cuba) of the 18 October 1551. *International Journal of Geosciences*, 1, 1-13.
- 29- Cotilla, M. y Córdoba, D. 2015. Guantánamo neo-estructura atípica del Caribe Norte. *Revista Investigaciones Geográficas de Chile*, 50, 51-88.
- 30- Cotilla, M.O. y Franzke, H.J. 1999. Validación del mapa sismotectónico de Cuba. *Boletín Geológico y Minero de España*, 110(5) 573-580.
- 31- Cotilla, M.O., Córdoba, D. y Álvarez, L. Nortecubana, la principal falla de interior de placa en Cuba. Google Books, 2020, 87 pp.
- 32- Cotilla, M., Franzke, H. y Córdoba, D. 2007. Seismicity and seismotectonic faults. *Russian Geology and Geophysics*, 48, 505-522.
- 33- Cotilla, M., Rubio, M. y Álvarez, L. 1997A. Sismicidad de tipo intermedio en Cuba. *Revista Geología Colombiana* 22, 35-40.
- 34- Cotilla, M., Rubio, M., Álvarez, L. y Grünthal, G. 1997. Potenciales sísmicos del arco de las Antillas Mayores. *Revista Geofísica* 46, 129-150.
- 35- Cotilla, M., Franzke, H.J. Pilarski, J., Pilarski, M. y Álvarez, L. 1991B. Mapa de alineamientos y nudos tectónicos principales de Cuba, a escala 1:1.000.000. *Revista de Geofísica* 35, 53-112.
- 36- Cotilla, M., Millán, G., Álvarez, L., González, D., Pacheco, M. y Arteaga, F. Preparación del esquema neotectogénico de Cuba. Informe Científico-Técnico del Instituto de Geofísica y Astronomía, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba. 300 pp., 1994.
- 37- Cotilla, M.O., González, E.C., Franzke, H.J., Díaz, J.L., Arteaga, F. y Álvarez, L. 1991. Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:1.000.000. *Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía*, 22, 37 pp.
- 38- Cotilla, M., Bankwitz, P., Álvarez, 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.

- 39- Cotilla, M., Bankwitz, P., Franzke, H.J., Álvarez, L., González, E., Pilarski, J., Díaz, J. y Arteaga, F. 1996. Una valoración sismotectónica de Cuba. *Revista Geofísica*, 45(45) 145-179.
- 40- Davies, J. H. 2013. Global map of solid Earth surface heat flow. *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, 14(10) 4.608-4.622.
- 41- 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.
- 42- 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, 1.241-1.260.
- 43- GeoForschungZentrum [GEOFON]. Potsdam, Germany, 2014.
- 44- Global Centroid-Moment-Tensor [GCMT], Catalog Search Project, 2020.
<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- 45- González, B.E., Orbera, L. y Chuy, T. Zonas sismogeneradoras de la región Centro Oriental. Informe Científico-Técnico, CENAI, 1994.
- 46- González, B.E., Chuy, T., Álvarez J.L., Rubio, M., Orbera, L., Cuevas, J.L., Arango, E., Guash, F., Sierra, L., Marques, M^a E., Vorobiova, E., Calvo, J.C., Peralta, J.L., Arias, A., Pérez, E.R., Pérez, L.D. y Álvarez, H. Estudio sismológico regional complejo de Cuba Centro Oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares. 30 pp., 1994A.
- 47- González, E.C., Cotilla, M.O., Cañete, C.C., Díaz, J.L., Carral, C. y Arteaga, F. 2003. Estudio Morfoestructural de Cuba. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 26(1) 49-70.
- 48- Guelfand, I.M., Guberman, S.A., Keylis-Borok, V.I., Knopoff, L., Press, F.S., Rantsman, E.Y., Rotvain, I.M. y Skii, A.M. 1976. Condiciones de surgimiento de terremotos fuertes (California y otras regiones). *Vichislitielnaya Seismologiya*, 9, 3-91 [en Ruso].
- 49- Hernández, J.R., Blanco, P. y Díaz, J.L. Rasgos estructuro-geomorfológicos del fondo de los mares y océanos circundantes a Cuba. Editorial Academia, 1988, 14 pp.
- 50- International Seismological Centre [ISC]. www.isc.ac.uk
- 51- Ionin, A.S., Pavlidis, A. y Avelio-Suárez, O. Geología de la plataforma de Cuba. Editorial Nauka, Moscú, 1977, 215 pp.
- 52- Iturralde-Vinent, M.A. Naturaleza geológica de Cuba. Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1984, 145 pp.
- 53- Krestnikov, K.N., Freund, V.M. y Shebalin, V. 1983. Sobre la metodología de las investigaciones geológicas y sismológicas para la estimación de la peligrosidad sísmica. *Investigaciones de la Sismicidad de las Zonas de Baja Actividad Sísmica (Cuba Central)*, 12 pp. [en Ruso].
- 54- Leroy, S. y Mauffret, A., 1996. Intraplate deformation in the Caribbean region. *Journal of Geodynamics*, 23(1) 113-122.
- 55- Levchenko, V.A. y Riabujin, A.G. 1971. Block structure of the northern shelf of Cuba. *Geotektonika*, 5 [en Ruso].
- 56- 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. Mapa geológico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS, 1986.
- 57- Makarov, V.I. y Formell, F. Mapa neotectónico de Cuba, escala 1:250.000. En: Mapa Tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Academia de Ciencias de Cuba, 1989.
- 58- Makarov, G.V. y Schukin, Y.K. 1976. Valoración de la actividad de las fallas ocultas. *Geotektonika*, 1, 96-109 [en Ruso].
- 59- Makarov, V.I., Dorozhko, A.L., Makarova, N.V. y Makeev, V.M. 2007. Contemporary geodynamic active zones of platforms. *Geokologiya*, 2, 99-110.
- 60- Mann, P. y Burke, K. 1984. Neotectonics of the Caribbean. *Review of Geophysics and Space Physics*, 22(4) 309-392.

- 61- 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.
- 62- 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 and P.Mann. Geological Society of America Special Paper, 1998, 326, 63-123 pp.
- 63- Martín-de Blas, J.I. Estructura profunda del Caribe: Raíces litosféricas y corrientes de la Astenosfera. Trabajo de Master, Universidad de Granada, 2016, 16 pp.
https://masteres.ugr.es/geomet/pages/info_academica/tfm/20152016/juanmartinresumen/
- 64- Mogi, K. 1967. Earthquakes and fractures. *Tectonophysics*, 5, 35-55.
- 65- Moreno-Torián, B. 2002. The new Cuban seismograph network. *Seismological Research Letters*, 33(4) 504-517.
- 66- Mossakovsky, A., Pusharovsky, 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, Academia de Ciencias de Cuba, 1989.
- 67- National Earthquake Information Center [USGS]. Earthquake hazards program, U.S.A., 2014A. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000zju#scientific>
- 68- National Earthquake Information Center [USGS], 2014B. <http://www.usgs.gov/faq/?q=taxonomy/term/9833>
- 69- National Academy Press [NACP]. *Active tectonics (Studies in Geophysics: A Series)*. 1986 ISBN-10:0309036380
- 70- Negredo, A.M., Jiménez-Munt, I. y Villaseñor, A., 2004. Evidence for eastward mantle flow beneath the Caribbean plate from neotectonic modeling. *Geophysical Research Letters*, 31, L00615, doi:10.1029/2003GL019315.
- 71- Orowan, E. 1960. Mechanism of seismic faulting. *Geological Society of America*, 79, 333-345.
- 72- Orbera, L. Estudio sismotectónico de la región occidental de Cuba Informe Científico-Técnico, Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica de Cuba, 1983, 62 pp.
- 73- Orbera, L. y Marquetti, M^a del C. Esquema de zonas sismogeneradoras donde es probable el surgimiento de focos de fuertes terremotos según datos geológicos en la República de Cuba. Informe Científico-Técnico, Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica de Cuba, 1984, 25 pp.
- 74- Orbera, L., Marquetti, M^a del C. y Arias, A. Esquema de zonas de tectónica activa en las cuales es posible la ocurrencia de terremotos de diferentes magnitudes. Informe Científico-Técnico, Empresa Integral de Proyectos de la Industria Básica de Cuba, 1987, 30 pp.
- 75- Orbera, L., González, B., Chuy, T. y Oro, J. Investigación sísmica en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares. Vol. 1, Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares, 1990, 15 pp.
- 76- Pavlides, S.B., Zouros, N., Zhongüing, F., Shaoping, C. y Chatzipetros, A.A. 1999. Geometry kinematics and morphotectonics of the Yanqing-Huailai active faults (northern China). *Tectonophysics*, 308, 99-118.
- 77- Pindell, J.L. y Barrett, S.F. Geological evolution of the Caribbean region: a plate-tectonic perspective, *The Geology of North America*, Vol. H, The Caribbean Region, 405-432, 1990.
- 78- Potilla, J.A. y Anderson, K.B. 2004. Fault interaction at the junction of transverse Range and Eastern California shear zone: A case study of intersecting faults. *Tectonophysics*, 379, 43-60.
- 79- 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.
- 80- Rosencrantz, E. 1990. Structure and tectonics of the Yucatan Basin, Caribbean Sea, as determined from seismic reflection studies. *Tectonics*, 9(5) 1.037-1.059.
- 81- Rosencrantz, E. y Mann, P. 1991. Sea MARC II mapping of transform faults in the Cayman Trough, Caribbean Sea. *Geology*, 19(7) 690-693.

- 82- Rosencrantz, 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 Geophysics Research*, 93, 2.141-2.157.
- 83- Scholtz, C.H., Aviles, C.A. y Wesnousky, S.G. 1986. Scaling differences between large inter plate and intraplate earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76(1) 65-70.
- 84- Shein, V.S., Ivanov, S.S. y Klechev, S. 1978. Tectónica de Cuba y su shelf. *Geología Soviética*, 2, 104-199.
- 85- Shein, V.S., Smirnov, V.N., Klechov, K.A y Orbera, L. Esquema neotectónico de Cuba y su plataforma marina, escala 1:1.000.000. Informe del Ministerio de Geología y Minería de Cuba, 1975, 12 pp.
- 86- Shein, V.S., Klechov, K.A., Jain, V.E., Dikenshtein, G.E., Yparraguirre, J.L., García, E. y Rodríguez, R. Mapa tectónico de Cuba, escala 1:500.000. Centro de Investigaciones Geológicas, MINBAS, 1985.
- 87- Sherbakova, B.E., Bovenko, V.G., Latzenko, T.N., Miroshnichenko, I.P., *et al.* Informe sobre los métodos de observaciones con los aparatos TIERRA en el territorio de Cuba Occidental, en 1974-1975, Archivo Nacional del Fondo Geológico de Cuba, 1977.
- 88- Sherbakova, B.E., Bovenko, V.G., Latzenko, T.N. y Miroshnichenko, I.P. Informe sobre los resultados de las observaciones con los aparatos TIERRA en el territorio de Cuba Occidental, en 1972-1974, Archivo Nacional del Fondo Geológico de Cuba, 1975.
- 89- Sherman S.I. y San'kov V.A. 2010. Faulting and seismicity: Discussion of topical interdisciplinary. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 46(4) 364-366.
- 90- Sibson, R.H. 1985. A note on fault reactivation. *Journal of Structural Geology*, 7, 751-754.
- 91- Sim, L.A. 1991. Estudios de los esfuerzos tectónicos a partir de indicadores geológicos (métodos, resultados, y recomendaciones). *Izv. Vysch. Uchebn. Zaved, Geol. Razved*, 10, 3-23.
- 92- Spiridonov, N. y Grigorova, E. 1980. On the interrelation between seismicity and fault structure identified by space image interpretation. *Space Research of Bulgaria*, 3, 42-46.
- 93- Ushakov, S.A., Avgaev, A.I., Falushkin, Yu.I. y Dubikin, E.P. Ruptura de la isostasia de la litósfera de la región del Caribe y análisis geodinámico de su naturaleza, *Tectónica y Geodinámica de la Región del Caribe*. Editorial Nauka, 1979, 63-77 pp. [en Ruso].
- 94- van Benthem, S., Govers, R., Spakman, W. y Wortel, R. 2013. Tectonic evolution and mantle structure of the Caribbean. *Journal of Geophysics Research, Solid Earth*, 118, 3.019-3.036, doi:10.1002/jgrb.50235.
- 95- Working Group on California Earthquake Probabilities [WGCEP], 1995. Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994-2004. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 379-439.
- 96- World Stress Map Database Release [WSM]. Editors: O. Heidbach, M. Rajabi, K. Reiter and M. Ziegler-WSM Team. The Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences, 2016. doi.org/10.5880/WSM.2016.001.
- 97- Zhidkov, M.P. Morfoestructuras de las zonas de sistemas continentales-oceánicas del cinturón pacífico en relación con el pronóstico de los lugares de fuertes terremotos (Kamchatka-occidente de Sudamérica). Resumen Ampliado, Phd Thesis). Instituto de Geografía de la A.C. de la URSS, Moscow, 1985 [en Ruso].