

Evaluación de las causas de la sismicidad originada en las provincias centrales de Cuba

Assessment of seismicity causes originated in the central provinces of Cuba

Nicolás Vega-Garriga^{1*}, José Luis Cuevas-Ojeda¹, Enrique Diego Arango-Arias¹, José Fernando Alcaide-Orpi¹, Yamina Ríos-Martínez¹

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba

*Autor para la correspondencia: nicolas@cenais.cu

Resumen

Durante el último decenio, en varias localidades de las provincias cubanas de Matanzas, Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus han sido percibidos movimientos sísmicos causantes de gran preocupación por parte de su población y de los directivos institucionales. El propósito de esta investigación fue realizar una valoración de las posibles causas de la sismicidad originada en las provincias mencionadas con base en el análisis de los catálogos sísmicos cubanos y los artículos e informes geológicos y geofísicos realizados en estas provincias. Se pudo revelar que la reactivación de las fallas regionales y de órdenes menores debido a la liberación de la energía sísmica acumulada en las rocas justifica la sismicidad del territorio investigado, así como que el diferente comportamiento de la actividad sísmica registrada en estos territorios se debe a la respuesta desigual a las tensiones acumuladas, principalmente por la complejidad geológico-tectónica y su relación o no con bloques gravitacionales e isostáticos.

Palabras clave: sismicidad; fallas regionales cubanas; sismotectónica; Cuba central.

Abstract

During the last decade, in several localities of the Cuban provinces of Matanzas, Villa Clara, Cienfuegos and Sancti Spíritus, seismic movements have been perceived, causing great concern on their population and institutional managers. The purpose of this research was to evaluate the possible causes of the seismicity originating in the aforementioned provinces

based on the analysis of the Cuban seismic catalogues and the available geological and geophysical articles and reports. It was possible to reveal that release of seismic energy accumulated in the rocks is the cause of reactivating regional and minor order faults, what justifies the seismicity in this zone. The different performance of seismic activity recorded in these territories is due to the unequal response to tensions accumulated mainly by the geological-tectonic complexity and its relationship or not with gravitational and isostatic blocks.

Keywords: seismicity; Cuban regional faults; seismotectonic; central Cuba.

1. INTRODUCCIÓN

Cada año se registran en Cuba miles de sismos, sin embargo la perceptibilidad ha variado en los últimos tiempos desde un pico de sesenta y uno, en 2016, hasta seis en 2019, siendo el promedio anual en el periodo de 2014 a 2021 (exceptuando del cálculo los años 2016 y 2019) de unos 18 sismos perceptibles.

En particular durante el último decenio, en varias localidades de las provincias cubanas de Matanzas, Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus han sido percibidos movimientos sísmicos causantes de gran preocupación por parte de su población y de los directivos institucionales. Aunque está bien establecido que la principal actividad sísmica de la región oriental está relacionada con el límite entre las placas Norteamericana y Caribeña a través de la falla transformante Oriente, la sismicidad del territorio restante de Cuba no ha sido completamente explicada (Chuy et al. 1983), debido a lo engorroso que ha resultado establecer las estructuras que podrían generar esta sismicidad.

Por las razones antes expuestas se decide realizar una investigación a partir del análisis de los catálogos sísmicos del Sistema del Servicio Sismológico Nacional (SSSN 2020) y de la revisión y reinterpretación de artículos e informes geológicos y geofísicos sobre estas provincias.

El presente trabajo expone la evaluación de las causas de la sismicidad originada en el periodo comprendido entre los años 1502 y 2018 en las provincias centrales antes mencionadas, con la finalidad de esclarecer las características geodinámicas y sismotectónicas de esta región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los catálogos de terremotos del Sistema del Servicio Sismológico Nacional (SSSN) y se analizaron mapas, artículos e informes geológicos y

geofísicos de las provincias centrales de Cuba. Muchos de los materiales no publicados se encuentran en la Oficina Nacional de Recursos Minerales del Ministerio de Energía y Minas de Cuba y han sido recogidos en la Biblioteca Virtual de Geociencias (Ríos et al. 2020), creada para apoyar los proyectos investigativos sobre la sismotectónica que desarrolla el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba. Destacan en la temática de sismotectónica los trabajos de Lazarev et al. 1972; Cuevas et al. 1992; Cuevas 1998; Álvarez et al. 2000; Cuevas et al. 2001; García et al. 2001; Aballi et al. 2003; Chuy 2005; Cotilla, Franzke y Cordoba 2007; Cuevas et al. 2009; Alfonso et al. 2013; Braunmiller et al. 2014; Arango et al. 2017; Cuevas et al. 2018; entre otros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fallas regionales potencialmente sismogeneradoras

El informe "Anomalías geofísicas como indicador de posibles fallas en la región centro occidental, Cuba" de Cuevas et al. (2018), muestra un esquema con las diferentes estructuras tectónicas determinadas como resultado del estudio geofísico de actualización y completamiento, en base a los campos potenciales gravimétrico e isostático de Cuba para la correlación de la actividad sísmica.

Como resultado del análisis del esquema propuesto por Cuevas et al. (2018) y de otros mapas (Pérez y Yarmoliuk 1985; Shein et al. 1985; Borkowska et al. 1988; Pérez 1989; Formell 1989; Puscharovskiy et al. 1989; IGP 2016), en la Figura 1 se visualizan las principales fallas regionales de las provincias centrales de Cuba, a saber:

- Fallas inversas, de sobrecorrimiento: Norte Cubana, Las Villas y Guamuhaya.
- Fallas rumbo-deslizantes, verticales, normales: Hicacos, Colón y La Trocha.

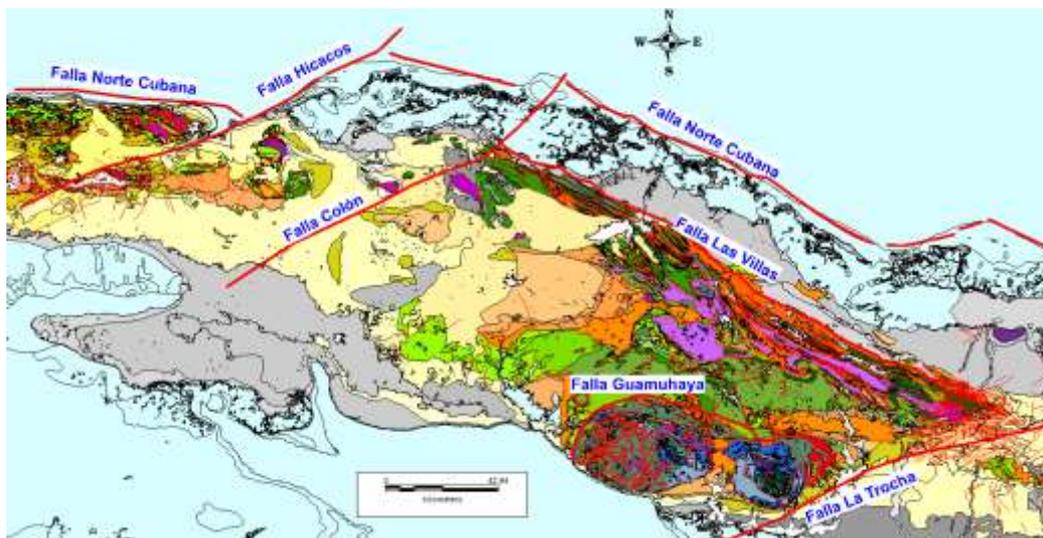


Figura 1. Fallas regionales de las provincias centrales de Cuba (trazos rojos) situadas sobre el mapa geológico y tectónico de Cuba 1:100 000 del IGP (2016).

Las fallas Norte Cubana, Las Villas y Guamuhaya, generadas en ambientes de compresión tangencial entre el Cretácico superior Campaneano y el Eoceno medio (Vega 2020), limitan mantos y escamas sobrecorridas, conformando franjas con un paquete de fallas inversas paralelas. Excepto la falla Guamuhaya, que buza hacia el NW-N-NE, bordeando las montañas de Guamuhaya, las dos restantes aparecen al norte, con buzamientos muy suaves hacia el S-SW, en ocasiones mayores a 45° . El rumbo es paralelo al eje del archipiélago cubano.

Por otra parte, las fallas rumbo-deslizantes Hicacos, Colón y La Trocha, que cortan el territorio con dirección SW-NE, se originaron principalmente durante la colisión de los arcos de islas volcánicas contra el borde del continente, entre el Cretácico superior Maastrichtiano y el Eoceno medio Bartonense, y juegan un importante rol en la fragmentación, desmembramiento y desplazamiento del orógeno cubano (Vega 2020); algunas se manifiestan con mecanismos de fallas normales y verticales. Poseen rumbo NE-SW y buzamientos mayores de 50° hasta subverticales con direcciones SE y NW.

3.2. Sismicidad del territorio entre 1502 y 2018

Para evaluar la sismicidad, el catálogo del Sistema del Servicio Sismológico Nacional (SSSN 2020), por sus particularidades en el tiempo, se examinó por etapas:

3.2.1. Primera etapa: 1502-1964

Se describen 145 terremotos perceptibles (SSSN 2020) con magnitudes (M_s) entre 2.2 y 5.6 e intensidades (MSK) entre III y VII, destacándose el sismo

de 1939 de Caibarién con magnitud 5.6 e intensidad VII. Los años de mayor sismicidad perceptible fueron, en orden descendente de la cantidad de sismos: 1939 (25), 1943 (9) y 1944 (6).

En este periodo la sismicidad se relaciona con las regiones donde aparecen las fallas Las Villas, Hicacos, Colón, La Trocha y Guamuhaya. En Corralillo se ubicaron epicentros de cuatro sismos ocurridos entre 1932 y 1961 con magnitudes entre 2.8 y 3.1 (Figura 2).

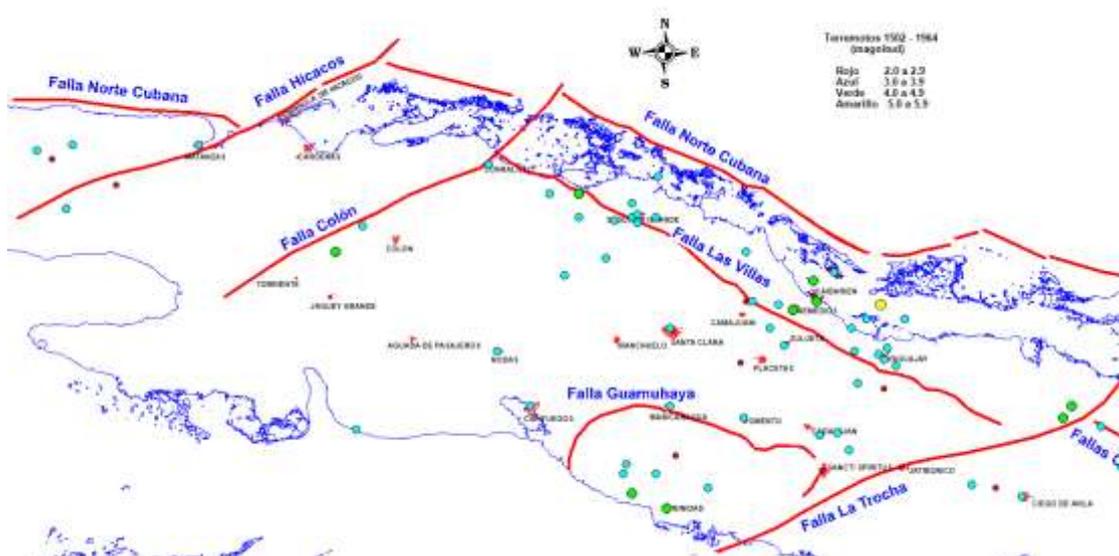


Figura 2. Epicentros de terremotos 1502-1964 Tomado de SSSN (2020).

3.2.2. Segunda etapa: 1965-1997

Se registraron 42 terremotos perceptibles (SSSN 2020) con magnitudes (M_s) entre 1.8 y 5.0 e intensidades (MSK) entre III y VI, destacándose el sismo de 1982 de Torriente con magnitud 5.0 e intensidad VI. Los años de mayor sismicidad fueron 1969 (5), 1976 (5) y 1982 (4). La sismicidad se relaciona con las regiones donde aparecen las fallas Norte Cubana, Las Villas, Hicacos, Colón, La Trocha y Guamuhaya. En Corralillo se ubicó un sismo ocurrido en 1968 con una magnitud de 3.1 M_s (Figura 3).

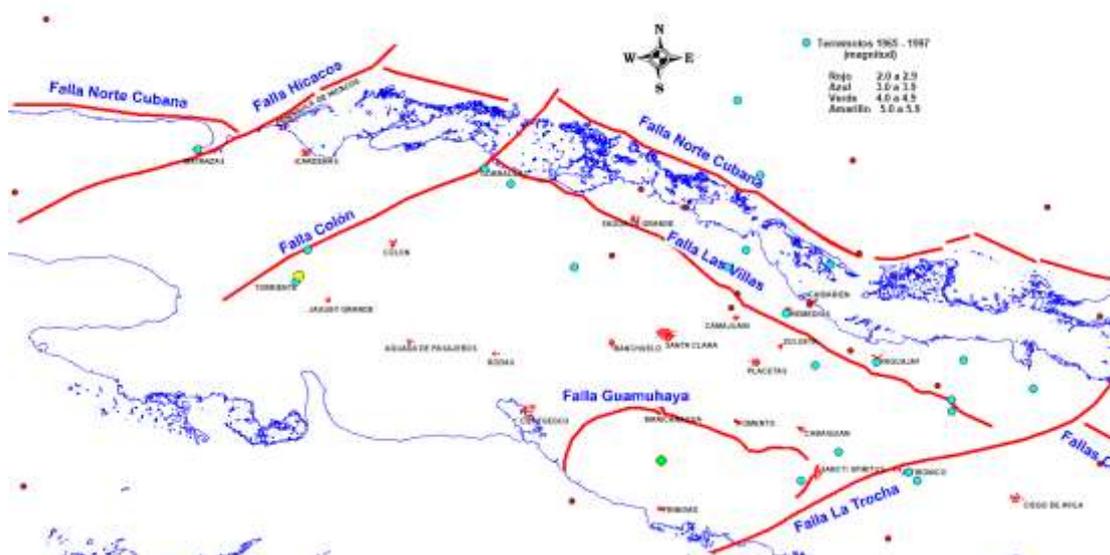


Figura 3. Epicentros de terremotos 1965-1997 Tomado de SSSN (2020).

3.2.3. Tercera etapa: 1998-2018

Se registraron 879 terremotos (SSSN 2020), destacándose los sismos de Corralillo (9 de marzo y 9 de enero del 2014) con magnitudes (M_w) 4.5 y 4.9, respectivamente, y Varadero (30 de julio del 2017) con magnitud 4.5. Los años con mayor cantidad de sismos, con magnitudes iguales o superiores a 3.0 M_w , fueron 2014, con 21 sismos (dos perceptibles al N y NE de Corralillo); 2015, con 73 sismos (tres perceptibles al ENE de Caibarién, SSW de Jagüey Grande y Norte de Corralillo); 2016, con 4 sismos, y 2017 igualmente con 4 (un sismo perceptible al norte de Varadero). La sismicidad se relaciona con las regiones donde aparecen las fallas Norte Cubana, Las Villas, Hicacos, Colón y Guamuhaaya (Figura 4).

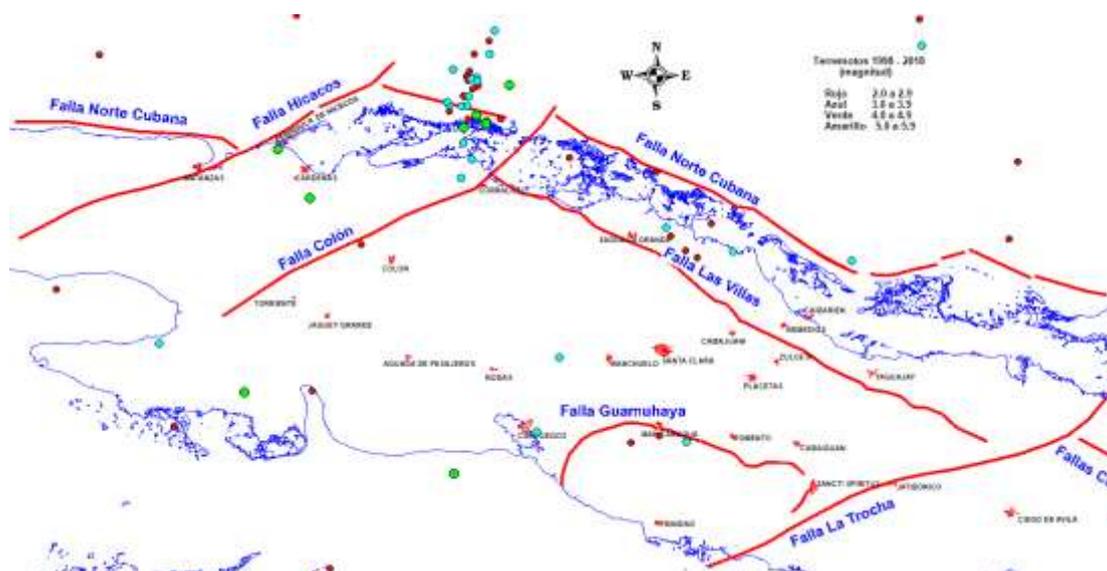


Figura 4. Epicentros de terremotos 1998-2018 (SSSN 2020).

3.3. Origen de los esfuerzos tectónicos en las provincias centrales de Cuba

Una importante actividad sísmica ha sido documentada y registrada en estos territorios por el SSSN (2020), evidenciando que las rocas de la región están sometidas a esfuerzos, deformaciones y liberaciones súbitas de energía. El estado de los esfuerzos tectónicos en un punto cualquiera del archipiélago cubano, caracterizado por los infinitos vectores de esfuerzos que sobre un punto pueden definirse, depende de su posición respecto a los límites de placas (Zoback 1992), de la interacción geodinámica de las placas norteamericana-caribeña (Arango 2000), de las características del campo gravitacional e isostático (Cuevas et al. 1992, 2001, 2009; Cuevas 1998), y de la complejidad geológico-tectónica del territorio investigado, la cual está bien reflejada en la Figura 1.

La microplaca cubana se encuentra sometida indistintamente a los esfuerzos transmitidos desde los límites de placas que la rodean. En particular las provincias aquí investigadas están situadas a una distancia aproximada de 2 008 km de la Fosa Mesoamericana, 3 568 km de la Dorsal Mesoatlántica y entre 595-483 km del límite transformante Motagua-Polochic-Isla de Swan-Oriente (Figura 5). La interacción geodinámica (transtensión, transpresión, extensión y rumbo-deslizamiento) entre las placas norteamericana y caribeña a lo largo de este límite transformante supeditan la traslación del archipiélago cubano (Arango 2000).

Braunmiller et al. (2014), suponen que la serie sísmica anómala del 2014 del norte de Matanzas y Villa Clara podría estar relacionada con fallas superficiales, poco profundas, vinculadas con la zona de sutura, reactivadas probablemente por tensiones transmitidas desde los límites de placa. Los investigadores apreciaron un campo de tensión complejo al norte de Cuba por lo que consideran que las condiciones actuales de estrés en la zona pueden variar espacialmente, invirtiendo los mecanismos de fallamiento.



Figura 5. Posición de las provincias centrales de Cuba respecto a los límites de placas. Mapa estructural y cinemático del mundo 1:50000000 (Haghipour 2006).

Al estudiar el anticlinal de Santarén, situado a algunos kilómetros al NE de Corralillo, Masferro et al. (1998) concluyen que la cuenca de antepaís de las Bahamas ha estado sujeta a esfuerzos comprensivos desde el Paleógeno superior hasta el Cuaternario y que la deformación registrada en la mayoría de los estratos podría implicar esfuerzos compresivos relacionados a la interacción de las placas, propagados por un largo camino desde el límite de placas. También documentan (Masferro et al. 1999), la presencia de un sistema de fallas inversas, de bajo ángulo, reactivadas a lo largo del lado este del banco de Cayo Sal, que indican un acortamiento continuo en la parte más externa del orógeno cubano en todo el Neógeno y, probablemente, durante el Cuaternario.

Durante la evaluación de los rasgos tectónicos de la parte más oriental del banco de Cayo Sal, situado al norte del canal de Nicolás y de las provincias centrales cubanas, Kula (2014) documentó en el fondo marino una ruptura de alrededor de 40 km de longitud y 50 m de profundidad en la parte NE del banco de Cayo Sal que evidencia la actividad neotectónica a lo largo del borde exterior del cinturón plegado.

Al evaluar los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba, Iturralde (1978) considera que las deformaciones del neotectónico están vinculadas al campo de esfuerzos transpresionales generados por los movimientos a lo largo de fallas siniestras de rumbo NE-SW como reacción al movimiento siniestro entre las placas de Norteamérica y del Caribe.

En un estudio geofísico complejo para definir la constitución profunda de la corteza terrestre en la región central de Cuba, con el objetivo de caracterizar las estructuras tectónicas, y en particular las zonas sismogeneradoras, Cuevas et al. (1992) determinan la naturaleza extremadamente dislocada del límite corteza-manto, el carácter de su función de compensación isostática y su relación con la actividad sísmica (Cuevas 1998), partiendo de la premisa de que cuando el relieve de Mohorovicic está bajo un estado de exceso de compensación o defecto de esta, el resultado del ajuste regional isostático origina esfuerzos tectónicos.

En un mapa esquemático (Figura 6) se muestran áreas delimitadas que están sometidas a grandes esfuerzos tectónicos, tanto de ascenso como de descenso, relativos a la superficie isostática, relacionados con la actividad sísmica. Aquí se puede apreciar una cierta correspondencia entre la ubicación de algunas secuencias de epicentros con algunos de los bloques. Las categorías en esta figura están asociadas a las diferencias entre la superficie de Moho y la superficie isostática necesaria para que ocurra el equilibrio, lo que daría una posible fuente de movimientos verticales de la corteza.

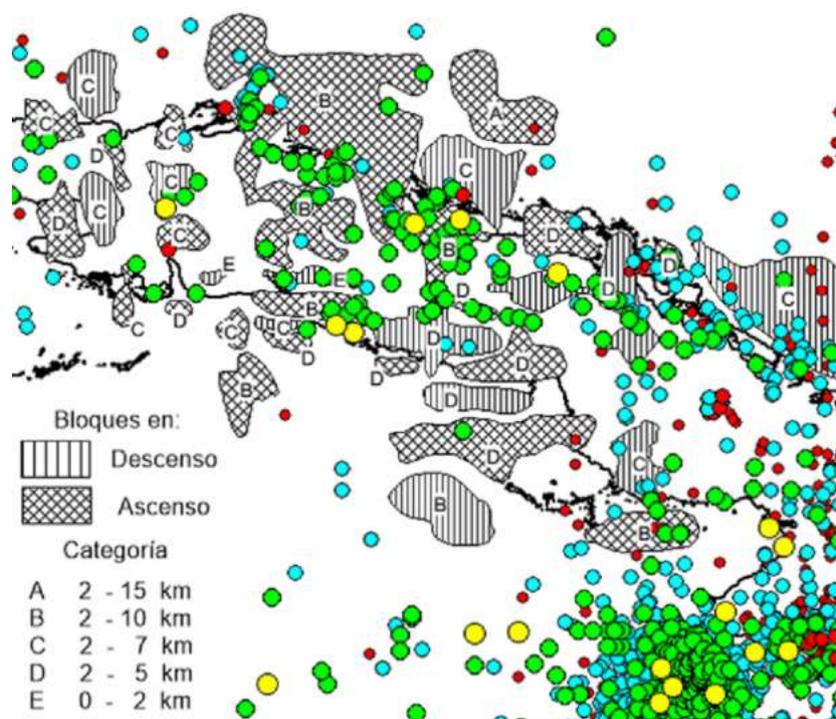


Figura 6. Mapa de ascensos y descensos relativos con respecto a la superficie isostática 1.2000000 y epicentro de terremotos. Modificado y actualizado (Cuevas et al. 1992). Epicentros de terremotos 1502-2017 (SSSN 2020). Magnitud de terremotos: <3 (rojo), 3 - 3,9 (azul), 4 - 4,9 (verde), 5 - 5,9 (amarillo). Las categorías indican las diferencias en kilómetros entre Moho y la superficie isostática.

El mapa de anomalías isostáticas residuales de Cuba (Cuevas et al. 2009) que se muestra en la Figura 7, revela algunas anomalías fuertes que están caracterizando diferentes zonas en desequilibrio isostático, destacándose en la zona de estudio la anomalía Escambray [80 mGal] (Macizo montañoso de Guamuhaya), Cienfuegos [60 mGal] y Zapata [60 mGal] (Cuevas 1998). Estas anomalías indican un desequilibrio isostático, aunque no comparable con la zona oriental, que aunque no es objetivo de la presente investigación, revelan posibles movimientos verticales para poder lograr el equilibrio isostático local.

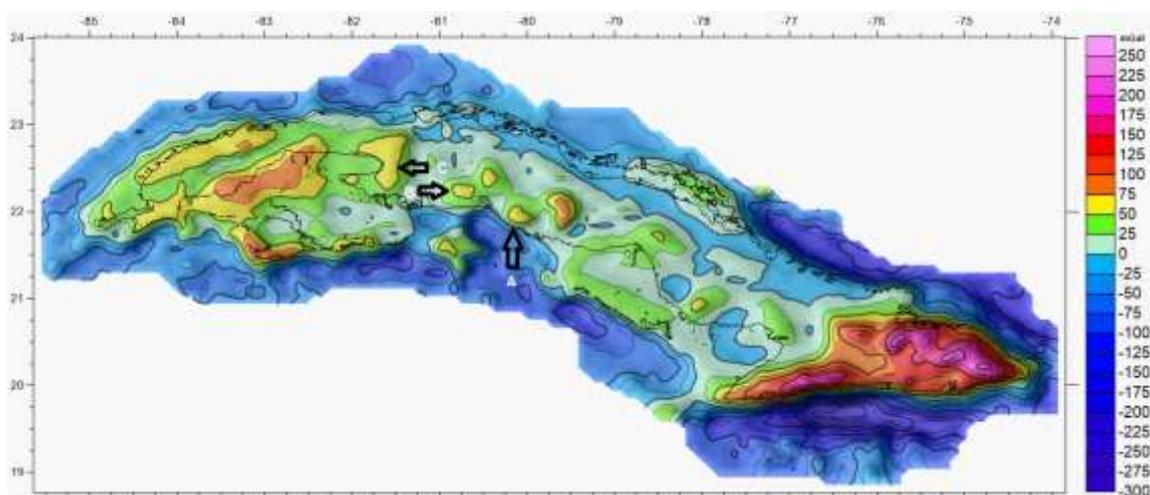


Figura 7: Mapa de anomalías isostáticas residuales de Cuba y sus mares adyacentes a escala 1:500000. Anomalías: A) Escambray [80 mGal], B) Cienfuegos [60 mGal] y C) Zapata [60 mGal] (Cuevas 1998; Cuevas et al. 2009).

Con base en la dinámica y la edad de las fallas Norte Cubana, Las Villas y Guamuhaya (inversas) e Hicacos, Colón, La Trocha (rumbo-deslizantes, normales), originadas entre el Maastrichtiano y el Eoceno medio Bartonense (Vega y Ríos 2017; Vega 2020), se supone que estas, *per se*, no juegan un importante rol en la tectónica actual del territorio investigado por ser fallas consideradas inactivas.

A partir de los criterios analizados se considera que los esfuerzos tectónicos resultantes en las provincias investigadas pueden ser tensionales, compresionales, verticales o de cizalla, provocando en los bloques y sus rocas deformaciones de traslación, rotación, distensión o distorsión. De esta manera, la liberación de la energía sísmica acumulada en las rocas de la corteza terrestre en estas condiciones puede reactivar las estructuras tectónicas y generar terremotos con diferentes mecanismos focales (Braunmiller et al. 2014); ello justifica la sismicidad del territorio investigado (Figuras 3, 4, 5).

De ahí que el comportamiento desigual de la actividad sísmica registrada en los territorios analizados, aunque sometidos por igual a las tensiones provenientes de los límites de las placas, es mayor en aquellos territorios de mayor complejidad geológico-tectónica, que a su vez están relacionados con bloques en desequilibrio isostático.

Como zonas de mayor sismicidad, se revelan: el territorio norte de las provincias analizadas, asociadas al cinturón plegado, fallado y sobrecorrido cubano que presentan una alta complejidad geológico-tectónica, donde aparecen las fallas Norte Cubana y Las Villas, cortadas por las fallas Hicacos, Colón y La Trocha, con predominio de bloques en ascenso; además, el macizo de Guamuhaya, también con alta complejidad geológico-tectónica, donde aparece la falla Guamuhaya, que es cortada por la falla La Trocha y se observan dos bloques en descenso relativo relacionados con el macizo Guamuhaya-Escambray.

El resto del territorio presenta baja complejidad geológico-tectónica y la escasa actividad sísmica registrada puede asociarse con las fallas rumbo-deslizantes que lo cortan, movilizadas por los esfuerzos provenientes de los límites de las placas y los esfuerzos tensionales de los bloques isostáticos.

4. CONCLUSIONES

- Las fallas regionales identificadas en las provincias centrales no juegan, *per se*, un importante rol en la tectónica y sismicidad actual del territorio investigado; son fallas consideradas inactivas.
- La generación de terremotos producto a la reactivación de las fallas regionales y de órdenes menores de las provincias centrales debido a la liberación súbita de la energía sísmica, acumulada en las rocas por la conjunción de los esfuerzos tectónicos provenientes de los límites de las placas, la interacción geodinámica de las placas norteamericana-caribeña y del campo gravitacional e isostático, justifica la sismicidad del territorio investigado.
- El diferente comportamiento de la actividad sísmica registrada en los territorios analizados se debe a la respuesta desigual a las tensiones acumuladas, principalmente por la complejidad geológico-tectónica del territorio y su relación o no con bloques gravitacionales e isostáticos.
- Las zonas de mayor sismicidad del territorio son: la norte, que presentan alta complejidad geológico-tectónica, aparecen las fallas Norte Cubana, Las Villas, Hicacos, Colón y La Trocha y predominan bloques en ascenso; y la sureste (macizo de Guamuhaya), con alta

complejidad geológico-tectónica, aparecen las fallas Guamuhaya, La Trocha y se observan dos bloques en descenso relativo.

5. AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Bárbara Polo González, por su contribución en la actualización, georeferenciado y digitalización de un resultado del trabajo que se utilizó en la presente investigación, su aporte ha sido significativo.

6. REFERENCIAS

- Aballi, P.; Delgado, I.; Rifá, M.; Prol J. L. 2003: Informe sobre la interpretación geólogo- geofísica (Bloque 7). Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de Energía y Minas, Cuba. 34 pp.
- Alfonso, L.; Hernández P. A.; Cabrera A. M. 2013: Caracterización sismológica de la provincia de Matanzas. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7(3): 1-74.
- Álvarez, L.; Mijáilova, R. S.; Vorobiova, E. O.; Chuy, T. J.; Zhakirdzhánova, G. N.; Pérez, E. R.; Rodiónova, L. M.; Álvarez, H.; Mirzoev, K. M. 2000: *Terremotos de Cuba y áreas aledañas*. En: Alvarez, J. L. (editor). *Sismicidad de Cuba y estructura de la corteza en el Caribe*. Editorial Academia. La Habana, Cuba, 7-35.
- Arango, E. D. 2000: *Geodinámica del sistema de fallas transformante Bartlett – Caimán, al sur de Cuba Oriental*. En: Zapata, J. A. (editor). *Red de estaciones e investigaciones sismológicas en Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 72-87.
- Arango, E. D.; González, O. F.; Palau, R.; 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.
- Borkowska, M.; Hamor, G.; Puscharovsky, Y. Y.; Suarez, J.; Velinov, I. 1988: Mapa Geológico de Cuba (1:250000). Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología.
- Braunmiller, J.; Thompson, G.; Mcnutt, S. R. 2014: 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.
- Chuy, T. J. 2005: Catálogo de terremotos perceptibles de Cuba 1528 -1990. Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba.
- Chuy, T.; González, B.; Álvarez, L. 1983: Sobre la peligrosidad sísmica en Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, 4: 37-52.

- Cotilla M. O., Franzke H. J., Cordoba D. 2007: Seismicity and seismoactive faults of Cuba. *Russian Geology and Geophysics*, 48: 505–522.
- Cuevas, J. L. 1998: Estudios sobre isostasia en Cuba. Una caracterización y delimitación de zonas potencialmente sísmicas. *Boletín Geológico y Minero*, 109(3): 265-278.
- Cuevas, J. L.; Alcaide, J. F.; Polo, B.; Arango, E. D.; Vega, N.; Ríos, Y.; Viltres, Y. 2018: Anomalías geofísicas como indicador de posibles fallas en la región centro occidental, Cuba. Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba: 81p.
- Cuevas, J. L.; Álvarez R.; García F.; Pacheco M.; González D.; Ramírez R.; Espinosa J. A. 1992: Investigaciones geofísicas regionales complejas para el estudio de la constitución profunda de la corteza terrestre en la región central de Cuba. La Habana, Instituto de Geofísica y Astronomía: 114p.
- Cuevas, J. L.; Álvarez, R.; Pérez, E.; Polo, B. 2009: Corteza Terrestre Profunda en el Caribe occidental (I): Regionalización de los campos gravimétrico, isostático y magnético en Cuba. VIII Congreso de Geología, Taller Proyecto 546 "Zonas de subducción del Caribe"). Memorias [CD-ROM], La Habana, Cuba, 16-20 marzo.
- Cuevas, J. L.; Díaz, L. A.; Polo, B. 2001: Regionalización gravimétrica en el Caribe centro occidental (I): Nuevos mapas de anomalías de Bouguer total y aire libre de Cuba, a escala 1:500 000. IV Congreso Cubano de Geofísica. Memorias [CD- ROM], La Habana, Cuba, 19-23 de marzo.
- Formell, F. 1989: Mapa tectónico de Cuba a escala 1:1000 000. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.
- García, D.; Delgado R.; Rojas Y.; Millán G.; Peñalver L.; Cabrera M.; Padilla I. 2001: Generalización y actualización geológica de la región Habana-Matanzas. Informe del proyecto 216. Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana, 174 p.
- Haghipour, A. 2006: Structural and kinematic map of the world, 1:50 M scale. Commission for the Geological Map of the World. UNESCO.
- Instituto De Geologia Y Paleontologia (IGP). 2016: Mapa Geológico de la República de Cuba. Servicio Geológico de Cuba. La Habana.
- Iturralde, M. 1978: Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico de Cuba. *Geologie en Mijnbow*, 57(2): 205-212.
- Kula, D. 2014: Neotectonics on the Edge of the Cuban Fold and Thrust Belt. University of Miami, Scholarly Repository. *Open Access Theses*. Paper 498 http://scholarlyrepository.miami.edu/oa_theses/498
- Lazarev, V. S., Lobachov A. V., Paz S., Florido P., Amador E., Martínez A.; Fonseca V. 1972: Breve nota explicativa para el esquema tectónico de las

provincias de la Habana, Matanzas, Las Villas, Camagüey y la parte norte de la provincia de Oriente. Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana. 22 p.

Masaferro, J. L.; Poblet, J.; Bulnes, M. 1998: Cuantificación del crecimiento de pliegues con sedimentos sintectónicos asociados. Aplicación al anticlinal de Santarén (orógeno cubano, cuenca de antepaís de las Bahamas). *Acta Geológica Hispana*, 33(1-4): 75-87.

Masaferro, J. L.; Poblet, J.; Bulnes, M.; Eberli, G. P.; Dixon, T. H.; McClay, K. 1999: Palaeogene-Neogene/present day (?) growth folding in the Bahamian foreland of the Cuban Fold and Thrust Belt. *Journal of Geological Society*, 156: 617-631.

Pérez, J.; Yarmoliuk, V. A. 1985: Mapa Geológico de la República de Cuba 1:500000. Centro de Investigaciones Geológicas. Ministerio de la Industria Básica. Cuba.

Puscharovski, Y. M.; Mossakovski, A. A.; Nekrasov, G. E.; Sokolov, S. D.; Iturralde, M.; Cabrera, R.; Oro, J.; Flores, R.; Formell, F. (1989): Mapa tectónico de Cuba 1:500000, 4 hojas, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, Habana.

Ríos, Y.; Vega, N.; Arango, E. D.; Noas, J. L. 2020: Biblioteca Virtual de Geociencias para los proyectos investigativos sobre la sismotectónica de Cuba. Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba.

Shein V. S.; Kleschov K. A.; Yparraquirre J. L.; García E.; López J. G.; Socorro R.; López J. O. 1985: Mapa tectónico de Cuba: Escala 1: 500 000. *Tecnológica*, 15(1): 37-40.

SSSN (Sistema del Servicio Sismológico Nacional) 2020: Catálogos sísmicos del archipiélago cubano. Fondo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba.

Vega, N. 2020: Evolución geológica del archipiélago cubano: Génesis de sus principales fallas regionales. *Minería y Geología*, 36(2): 172-187.

Vega, N.; Ríos, Y. 2017: Génesis de las principales fallas neotectónicas del archipiélago cubano. XII Congreso de Geología. Memorias [CD- ROM], La Habana, Cuba, 3-7 de abril.

Zoback, M. L. 1992: First -and second- order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *Journal of Geophysical Research*, 97(B8): 11,703-11,728.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

NVG: diseño, gerencia y desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de la información, valoraciones geológicas, sismotectónicas, redacción del manuscrito y revisión final. JLCO: desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de la información, valoraciones geofísicas, sismotectónicas, redacción del manuscrito y revisión final. EDAA: desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de la información, valoraciones geológicas, geofísicas, sismotectónicas, revisión final. JFAO: desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de la información, valoraciones geológicas, sismotectónicas, revisión final. YRM: desarrollo de la investigación, análisis e interpretación de la información, valoraciones geológicas y sismotectónicas, revisión final.

ORCID

NVG: <https://orcid.org/0000-0002-7661-7539>

EDAA: <https://orcid.org/0000-0001-6035-3121>

JLCO: <https://orcid.org/0000-0001-8386-7360>

JFAO: <https://orcid.org/0000-0002-4576-494X>

YRM: <https://orcid.org/0000-0002-9239-4929>

Recibido: 19/11/2020

Aceptado: 21/12/2021