

Evolución geológica del archipiélago cubano: Génesis de sus principales fallas regionales

Geological evolution of Cuban archipelago: Genesis of its main regional faults

Nicolás Vega-Garriga^{1*}

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba

*Autor para correspondencia: nicolas@cenais.cu

Resumen

Se propone un modelo de evolución geológica del archipiélago cubano con el objetivo de explicar los principales contextos geotectónicos y edades en que se originaron las principales fallas regionales capaces de generar terremotos en la actualidad, atendiendo a que este fenómeno no parece solucionado en su totalidad en los diferentes modelos geológicos consultados. El trabajo se fundamentó en la valoración de las asociaciones petrotectónicas del archipiélago cubano, identificadas con base en las características estratigráficas de las unidades litoestratigráficas y litodémicas descritas en los levantamientos geológicos locales y regionales, reflejadas en los mapas geológicos y reglamentadas en el Léxico Estratigráfico Cubano del 2013; así como en su correspondencia con los contextos geotectónicos, asociaciones petrotectónicas, etapas y estadios establecidos en el ciclo de Wilson.

Palabras clave: ciclo de Wilson, contextos geotectónicos; asociaciones petrotectónicas; evolución geológica de Cuba; fallas regionales cubanas.

Abstract

A geological evolution model of the Cuban archipelago is proposed with the objective of explaining the main geotectonic contexts and ages in which the main regional faults capable of generating earthquakes at present were originated, considering that this phenomenon does not seem to be fully solved in the different geological models consulted. The work was based on the assessment of the petrotectonic associations of the Cuban archipelago, identified based on the stratigraphic characteristics of the lithostratigraphic

and lithodemic units described in the local and regional geological surveys, reflected in the geological maps and regulated in the Cuban Stratigraphic Lexicon of the 2013; as well as in its correspondence with the geotectonic contexts, petrotectonic associations, stages and stages established in the Wilson cycle.

Keywords: Wilson cycle; geotectonic contexts; petrotectonic associations; geological evolution of Cuba; Cuban regional failures.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad en el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba de disponer de un modelo geológico que permitiera explicar la génesis de las fallas regionales capaces de generar terremotos en el archipiélago cubano, se desarrolló la investigación "Análisis y actualización de las zonas de fallas activas y la dinámica de los bloques del archipiélago cubano" (Arango *et al.* 2018). Para esto se examinaron numerosos trabajos geológicos en los que se corroboró la existencia de múltiples modelos y mapas geológicos, en muchos casos contradictorios, entre los que se destacan los de Furrázola, Khudoley, Meyerhoff, Pardo, Linares, Shein, Pushcharovsky e Iturralde, y la gran complejidad de su constitución geológica. Los autores consideraron que los modelos revisados sobre la constitución geológica de Cuba y su evolución en el tiempo, no esclarecían a plenitud diferentes interrogantes geológicas, como es el caso del origen, edad y evolución de las principales fallas regionales, aspecto de gran importancia para los sismólogos.

Por tanto, el presente trabajo tuvo como principal objetivo obtener un modelo geológico del archipiélago cubano que permitiera explicar, con mayor precisión, el origen de las principales fallas regionales del territorio nacional, particularmente las que tienen la capacidad de generar terremotos

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisaron y reinterpretaron artículos e informes geológicos y geofísicos realizados en Cuba y el Caribe (Khudoley 1967; Khudoley y Meyerhoff 1971; Knipper y Cabrera 1974; Iturralde 1975, 1981, 1988, 1994, 1998, 2004; Shein *et al.* 1985; Puscharovski *et al.* 1989; Lewis y Draper 1990; Draper y Barros 1994; Giunta, Beccaluva y Siena 2006; Iturralde *et al.* 2016) y se consultaron fuentes clásicas de esta temática (Miall 2000; Fichter y David 2001; Whitmeyer, Fichter y Pyle 2007; Lawver *et al.* 2015; Fichter y Whitmeyer 2019).

El marco teórico fundamental del trabajo se basó en la teoría de la tectónica de placas (Miall 2000; Condie 2003; Turcotte y Schubert 2018), que explica la generación de todas las rocas que se encuentran sobre la Tierra y relaciona cada segmento de la corteza terrestre con los ambientes tectónicos que existieron en el momento en que estas se formaron. Además, se sustentó en la clasificación de las cuencas sedimentarias modelos y asociaciones petrotectónicas de Miall (2000).

En particular, se utilizó el modelo del ciclo de Wilson (Fichter y David 2001) que explica cómo cada roca se forma bajo un conjunto específico de condiciones tectónicas (contexto geotectónico). El modelo se divide en cuatro estadios (I, II, III, IV) y nueve etapas (A, B, C, D, E, F, G, H, I) arbitrarias e ideales.

La presente investigación se apoyó en la valoración de las asociaciones petrotectónicas del archipiélago cubano identificadas con base en las características estratigráficas de las unidades litoestratigráficas (formaciones geológicas) y litodémicas (complejos geológicos) reconocidas en los diferentes informes de levantamientos geológicos regionales y locales, reflejadas en el mapa geológico 1:100 000 del Instituto de Geología y Paleontología (IGP 2016) y reconocidas en el Léxico Estratigráfico Cubano (IGP 2013); así como en su correspondencia con los contextos geotectónicos, asociaciones petrotectónicas, estadios y etapas establecidos en el ciclo de Wilson (Fichter y David 2001)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contextos geotectónicos y asociaciones petrotectónicas del archipiélago cubano

Teniendo en cuenta las características estratigráficas de las formaciones y los complejos geológicos que aparecen representados en el mapa geológico de Cuba 1:100 000 (IGP 2016) y el Léxico Estratigráfico Cubano (IGP 2013) fueron identificados los siguientes contextos geotectónicos y sus respectivas asociaciones petrotectónicas (Figura 1).

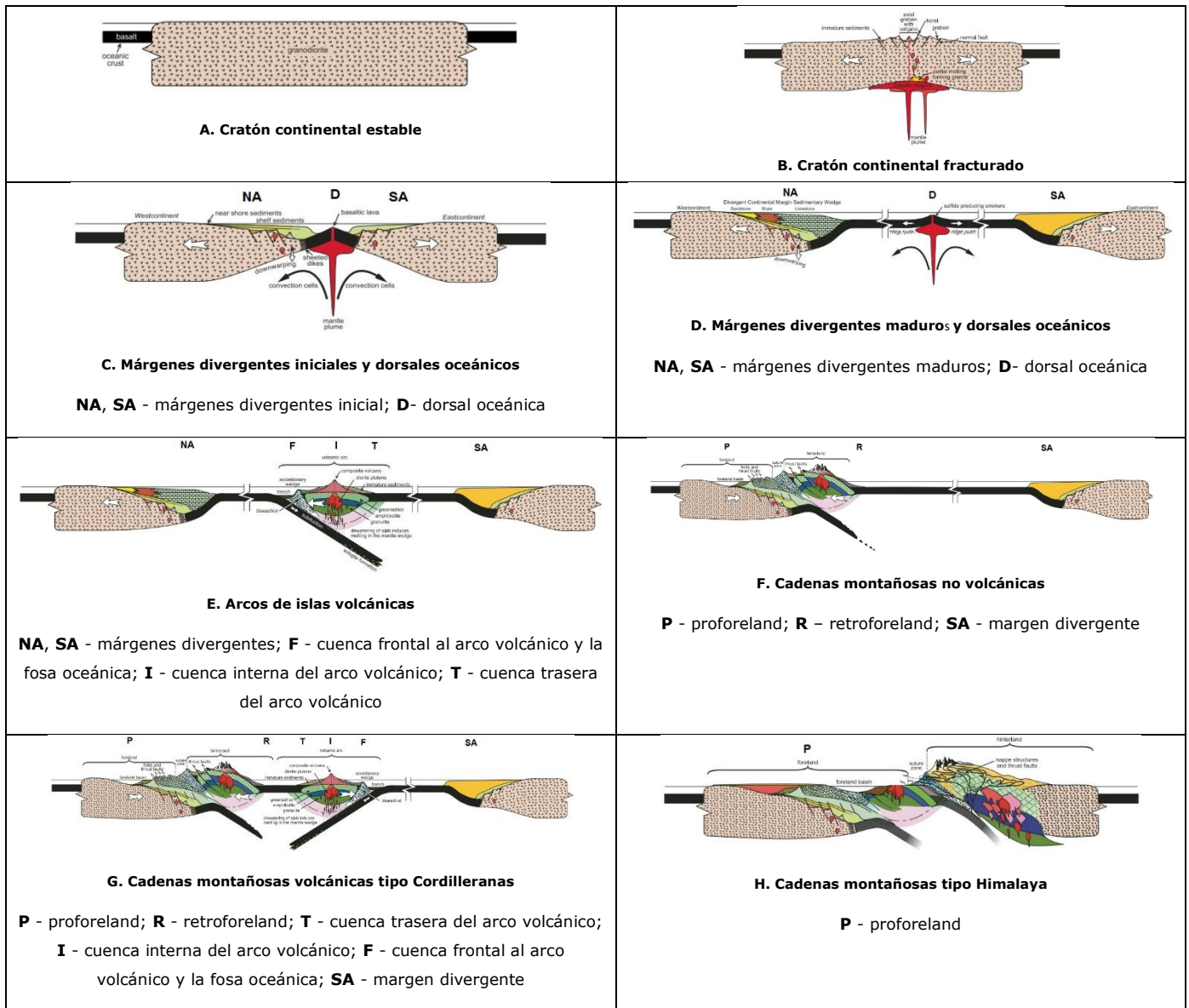


Figura 1. Contextos geotectónicos (modificados de Whitmeyer, Fichter y Pyle 2007).

A. Cratón continental estable

1. *Mármoles silicáticos con flogopita, fosterita y diópsido* que aparecen en la Teja y Socorro, provincias Matanzas y Villa Clara, con edades de 952 y 903 millones de años y *Gujarros de un gneiss leucocrático* encontrados en la provincia de Pinar del Río, con edades de 400 millones de años (Millán 1997).

B. Cratón continental fracturado

2. *Bloques de gneiss metagranitódico* de la región de Holguín-Gibara, con edades de 196 millones de años y *Granitoides* de la región Socorro, Sierra Morena, con edades de 172 millones de años (Millán 1997).

C. Márgenes divergentes iniciales y dorsales oceánicos

3. *Asociación petrotectónica terrígeno-carbonatada a veces con intercalaciones volcánicas*, originada en el margen divergente inicial de Norteamérica entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior Berriasiano. Integrada por las formaciones Chafarina, Sierra Verde y Punta Alegre (IGP 2013).

4. *Asociación petrotectónica terrígeno-carbonatada a veces con intercalaciones volcánicas*, originada en el margen divergente inicial de Suramérica entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior Valanginiano. Integrada por esquistos cristalinos El Algarrobo, rocas calcosilicatadas La Reforma, cuarcitas Cerro de Cabras; las formaciones Loma La Gloria, La Chispa, Felicidad, Herradura, La Llamagua, Cobrito, Boquerones, Narciso, Saúco, Mayarí, Collantes, Vega del Café, Cañada, Agua Santa, Mármoles Sierra de Casas, Playa Bibijagua, Colombo, Sierra Chiquita, Sierra de Caballos, San Cayetano, Arroyo Cangre, Jagua, Guasasa, El Sábalo, Francisco y Artemisa (IGP 2013).

5. *Asociación petrotectónica ofiolítica*, originada en las dorsales oceánicas entre el Jurásico inferior y el Cretácico superior Turoniano, representada por:

- Faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde 1996): Macizos ofiolíticos de Mayarí, Moa-Baracoa y Sierra del Convento. También pertenecen a esta faja las formaciones Quibijan, Güira de Jauco, La Corea y las metamorfitas Macambo (IGP 2013).
- Faja ofiolítica Septentrional (Iturralde 1996): Macizos ofiolíticos Holguín, Camagüey, Villa Clara, Iguará-Perea, Escambray, Matanzas-Los Arabos, Mariel-La Habana, Cajalbama y Guaniguanico. También pertenecen a esta faja las formaciones Mate Prieto, La Suncia, Nueva María, Bariay, Albaisa, Pico Tuerto, Zurrapandilla, Margot, Encrucijada, Quiñones, los complejos Esmeralda, Mabujina y las metamorfitas La Asunción (IGP 2013).

D. Márgenes divergentes maduros y dorsales oceánicos

6. *Asociación petrotectónica terrígeno-carbonatada*, originada en el margen divergente maduro de Norteamérica entre el Jurásico superior Tithoniano y el Cretácico superior Maastrichtiano. Integrada por las formaciones Tejas, Perros, Veloz, Palenque, Guaney, Gibara, Vilató, Carmita, Cayo Coco, Constancia, Trocha, Margarita, Paraíso, Santa Teresa, Mata, Purio, Lutgarda, Martín Mesa, Bacunayagua, Esperanza, Polier, Pinalilla, Moreno, San Miguel y Cacarajícara (IGP 2013).

7. *Asociación petrotectónica terrígeno-carbonatada*, originada en el margen divergente maduro de Suramérica entre el Jurásico superior Tithoniano y el Cretácico superior Maastrichtiano. Integrada por las formaciones Los Cedros, Yaguanabo, Loma Quivicán, La Sabina, El Tambor, Guajaibón, Pons y las anfibolitas Daguilla (IGP 2013).

E. Arcos de islas volcánicas

8. *Asociación petrotectónica vulcanógeno-sedimentaria*, originada en cuencas internas del arco volcánico entre el Cretácico inferior Valanginiano y el Cretácico superior Maastrichtiano. Integrada por las formaciones Santo Domingo, Palma Mocha, Caobilla, Sierra del Purial, Manacal, Guáimaro, Iberia, Camujiro, Caobilla, Piragua, La Sierra, Martí, Los Pasos, Relámpago, Mataguá, Cabaiguán, Provincial, Las Calderas, Seibabo, Arimao, Bruja, La Rana, Pelao, La Rosita, Hilario, Cotorro, Dagamal, Jarao, Chirino, La Trampa y Orozco (IGP 2013).

9. *Asociación petrotectónica vulcanomíctica-terriígena-carbonatada*, originada en las cuencas traseras del arco volcánico entre el Cretácico superior Campaniano y el Oligoceno inferior. Integrada por los olistostromas Haticos y Taguasco; las formaciones La Picota, Yaguaneque, Mícara, Gran Tierra, Crucero Contra maestre, Tinajita, Río Yáquimo, Lindero, Durán, La Jíquima, Presa Jimaguayú, Vigía, Vertientes, Florida, Maraguán, Nuevitas, Saramaguacán, Monos, Isabel, Palmarito, Carlota, Cantabria, Arroyo Grande, Cocos, Fomento, Santa Clara, Vaquería, Falcón, Yeras, Blanquizar, Jucillo, Loma Iguará, Siguaney, Zaza, Ranchuelo, Ochoa, Caibarién, Rodas, Meyer, Arroyo Blanco, Marroquí, Jicotea, Damují, Saladito, Caunao, Condado, Jía, Vía Blanca, Peñalver, Hatillo, Perla, Peñón, Loma El Añil, La Charca, Río Feo, Río Guamá, Los Negros, San Sebastián, Mercedes, Madruga, El Guayabo, Apolo, La Majagua, Capdevila, Toledo, Príncipe, El Cangre, Loma Candela, Punta Brava, Consuelo y Jabaco (IGP 2013).

10. *Asociación petrotectónica terrígena polimíctica-carbonatada*, originada en cuencas frontales al arco volcánico y la fosa oceánica (FRO) entre el Cretácico superior Maastrichtiano parte alta y el Eoceno medio Bartonense. Integrada por los olistostromas Senado, Rancho Bravo, Vega Alta, Vieja; las formaciones El Embarcadero, El Recreo, Venero, Lesca, Amaro, Grande, Vega, Manacas y Ancón (IGP 2013).

F. Cadenas montañosas no volcánicas

11. *Asociación petrotectónica terrígena-arcillosa-carbonatada*, originada en cuencas tipo proforeland desarrolladas sobre la cuña superior del orógeno entre el Eoceno medio Bartonense y el Holoceno. Integrada por las

formaciones Cabacú, Júcaro, Baracoa, Jaimanitas, Pastelillo, Vázquez, Camacho, Chambas, Canímar, Versalles, Bellamar, Vedado, Guanabo, Playa Santa Fe (IGP 2013) y los depósitos innominados del Holoceno en el territorio emergido y en la plataforma marina insular.

12. *Asociación petrotectónica terrígena-arcillosa-carbonatada*, originada en cuencas tipo retroforeland en fosas tectónicas tipo graben entre el Eoceno superior y el Holoceno. Integrada por las formaciones Maquey, Yateras, San Antonio, Punta Imías, La Cruz, Río Maya, Jamaica, Jaimanitas, Bitirí, Camazán, Báguanos, Sevilla Arriba, Paso Real, Río Jagüeyes, Cabo Cruz, Manzanillo, Dátil, Bayamo, Cauto, Güines, Guevara, Villarroja, Tamarindo, Banao, Lagunitas, Tinguaro, Arabos, Jatibonico, Banao, Lagunitas, Colón, Jaruco, Cojímar, Caobas, Loma Triana, Vedado, Guane, Sigüanea, Manuelita, Guanajay, Santa María del Rosario (IGP 2013) y los depósitos innominados del Holoceno en el territorio emergido y en la plataforma marina insular.

G. Cadenas montañosas volcánicas tipo Cordilleranas

13. *Asociación petrotectónica vulcanógeno-sedimentaria*, originada en cuencas internas del arco volcánico entre el Paleoceno inferior y el Eoceno superior. Integrada por el grupo El Cobre; las formaciones Pílon, El Caney y Barrancas (IGP 2013).

14. *Asociación petrotectónica vulcanomíctica-terrágena-carbonatada*, originada en cuencas traseras del arco volcánico entre el Paleoceno inferior parte alta y el Eoceno superior. Integrada por las formaciones Sabaneta, Charco Redondo, Puerto Boniato, Farallón Grande, San Ignacio, San Luis, Mucaral, Sierra de Capiro y Camarones (IGP 2013).

H. Cadenas montañosas tipo Himalaya

En el archipiélago cubano no aparecen unidades geológicas representantes de este contexto geotectónico.

4. DISCUSIÓN

4.1. Evolución geológica del archipiélago cubano y contextos geotectónicos en el que se desarrollaron las principales fallas regionales de Cuba

La Tabla 1 expone una síntesis de la evolución geológica del archipiélago cubano con base en las asociaciones petrotectónicas identificadas anteriormente, sus edades, los contextos geotectónicos en que estas se originaron y las principales características geotectónicas de las etapas del

ciclo de Wilson. Además, se muestra el contexto geotectónico en el que se desarrollan las principales fallas regionales de Cuba.

Tabla 1. Etapas por las que ha transitado la evolución geológica del archipiélago cubano (en colores y con números distribución de las asociaciones petrotectónicas en el tiempo)

TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA INTERNACIONAL (2015) ↓					CICLO DE WILSON																
					Estadio I Cratón estable		Estadio II Separación de los continentes y apertura de cuencas oceánicas				Estadio III Cierre de las cuencas oceánicas (subducción) y colisión de los continentes						Estadio IV Cratón estable				
					Etapa A		Etapa B	Etapa C		Etapa D		Etapa E			Etapa F		Etapa G		Etapa H	Etapa I	
					A		B	NA	SA	D	NA	SA	I	T	F	P	R	I	T	H	I
Eón	Era	Periodo	Época	Edad																	
F A N E R O Z O I C O	Cz	Q	Holoceno	Superior																	
			Pleistoceno	Medio																	
		N	Plioceno	Calabriense																	
				Gelasense																	
			Mioceno	Plioceno	Piacenense																
				Zandense																	
				Mastriacense	Mastriacense																
					Tortonense																
				Serravalloense																	
				Langhense																	
		P	Oligoceno	Sandgigliense																	
				Agulhasense																	
			Eoceno	Chattense																	
				Rupelense																	
	Paleoceno			Pradabense																	
				Bartoniense																	
	Lutociense																				
	Ypresense																				
	Mz	K	Cretácico superior	Therapsidense																	
				Therapsidense																	
		Therapsidense																			
		Therapsidense																			
		Therapsidense																			
		Therapsidense																			
	J	Jurásico superior	Cretácico inferior	Maastrichtiano																	
				Campaniano																	
		Santoniano																			
		Cenomaniano																			
		Turoniano																			
		Cenomaniano																			
		Albiano																			
		Apeliano																			
		Barremiano																			
		Hauteriviense																			
	J	Jurásico medio	Jurásico inferior	Valanginiense																	
				Berriasiense																	
				Titoniano																	
				Kimmeridgiense																	
	T	Pérmico	Carbonífero	Devónico superior																	
				Devónico medio																	
	Pz	Paleozoico	Paleozoico	Devónico inferior																	
				Silúrico																	
Ordovícico																					
Cámbrico																					
Ediacárico																					
Criogénico																					
Neo Prot.	Neoproterozoico	Neoproterozoico	Tónico																		
			Ediacárico																		
			Criogénico																		
Meso Prot.	Mesoproterozoico	Mesoproterozoico																			
Paleo Prot.	Paleoproterozoico	Paleoproterozoico																			

NA-margen divergente maduro de Norteamérica; SA-margen divergente maduro de Suramérica; D-dorsales oceánicas; I- cuencas internas del arco volcánico; T-cuencas traseras del arco volcánico; F- cuencas frontales al arco volcánico y la fosa oceánica; P- cuencas tipo proforeland; R- cuencas tipo retroforeland.

Etapa A. Cratón continental estable

La etapa se corresponde con el súper continente Pangea (Lawver *et al.* 2015). Por las edades radiométricas de los mármoles silicáticos de 952 y 903

millones de años (Tónico) y los *guijarros* de un *gneiss leucocrático* de 400 millones de años (Devónico), se considera a estas rocas pertenecientes a esta etapa (Figura 1A; Tabla 1, número 1).

Etapa B. Punto caliente y ruptura del cratón

Durante la etapa B, entre finales del Triásico y comienzos del Jurásico, el súper continente Pangea comienza a fragmentarse (Lawver *et al.* 2015), quedando dividido por las grietas axiales que forman graben y horst limitados por fallas normales. Se forman sills, ventanas volcánicas y/o efusiones de basaltos fisurales elevados a través de diques, y en las partes profundas de la corteza batolitos graníticos alcalinos.

Los *bloques de gneiss metagranitoidico* con 196 millones de años de edad (Jurásico inferior Sinemuriense) y los *granitoides* con 172 millones de años (Jurásico medio Aalenense), que intruyeron el basamento siálico proterozoico del margen continental norteamericano, pueden ser considerados pertenecientes a esta etapa (Figura 1B; Tabla 1, número 2).

Etapa C. Desarrollo inicial de los márgenes divergentes y creación de nueva corteza oceánica

El proceso de fragmentación del súper continente Pangea, en los inicios del Jurásico (Lawver *et al.* 2015), creó una grieta que produjo múltiples fallas que abarcaban desde el océano Thetis, al este, hasta el Pacífico, al oeste, y al final del Jurásico originó los continentes Gondwana y Laurasia, separados por el mar de Tetis. En el archipiélago cubano se pueden reconocer las siguientes asociaciones petrotectónicas:

- *Terrígeno-carbonatada, a veces con intercalaciones volcánicas*, originada en los márgenes divergentes iniciales de los continentes Gondwana y Laurasia entre el Jurásico inferior y el Cretácico inferior Valanginiano (Figura 1C; Tabla 1, números 3 y 4).
- *Ofiolitas* originadas en las dorsales centro oceánicas entre el Jurásico y el Cretácico superior Turoniano (Figura 1C; Tabla 1, número 5).

Etapa D. Desarrollo pleno de los márgenes divergentes

La etapa se caracteriza porque la fragmentación del súper continente Gondwana en el Cretácico medio (Lawver *et al.* 2015) dio lugar al océano Atlántico del sur, comenzando Sudamérica a moverse hacia el oeste alejándose de África. Hay un pleno desarrollo de los márgenes divergentes de los continentes norteamericano y suramericano y del océano Atlántico.

Pertenciente a esta etapa en el archipiélago cubano se puede reconocer la siguiente asociación petrotectónica:

- *Terrígeno-carbonatada* originada en los márgenes divergentes maduros de los continentes de Norteamérica y Suramérica entre el Jurásico superior Tithoniano y el Cretácico superior Maastrichtiano (Figura 1D; Tabla 1, número 6).
- Continúa el desarrollo de la dorsal oceánica y formación de la *asociación ofiolítica* (Figura 1D; Tabla 1, número 5).

Etapa E. Desarrollo de los arcos de islas volcánicas (orogénesis por subducción)

La etapa se caracteriza porque, entre finales del Jurásico e inicios del Cretácico, la litósfera oceánica desarrollada entre las Américas (proto-Caribe) subduce por debajo de la litósfera oceánica del Pacífico, dando lugar a los arcos de islas volcánicas del Caribe, su avance entre las placas norteamericana y suramericana, y el inicio de la desaparición de parte de la corteza oceánica del Atlántico (Proto-Caribe). Se corresponde con la separación de América del Sur de África, hace unos 100 millones de años y el océano Atlántico dejó de crecer (Lawver *et al.* 2015). En el archipiélago cubano se reconocen tres asociaciones petrotectónicas:

- *Vulcanógeno-sedimentaria*, originada en la parte interna del arco volcánico entre el Cretácico inferior Valanginiano y el Cretácico superior Maastrichtiano (Figura 1E; Tabla 1, número 8).
- *Vulcanomíctica-terrágena-carbonatada*, originada en la parte trasera del arco volcánico entre el Cretácico superior Campaniano y el Oligoceno inferior Rupeliense (Figura 1E; Tabla 1, número 9).
- *Terrígena polimíctica-carbonatada*, originada en la cuenca frontal del arco volcánico y la fosa oceánica entre el Cretácico superior Maastrichtiano superior y el Eoceno medio Bartoniano (Figura 1E; Tabla 1, número 10).

Continúa el desarrollo de la asociación *terrágeno-carbonatada* sobre los márgenes divergentes maduros de los continentes de Norteamérica y Suramérica (Figura 1E; Tabla 1, número 6 y 7).

Durante esta etapa comenzó el desarrollo de las principales fallas inversas del territorio investigado: la Norte Cubana, Las Villas, Jatibonico, Cubitas, Norte de la Española y otras de menores órdenes, por estar relacionadas principalmente con el frente de avance de los arcos volcánicos y la formación

del prisma de acreción. Este proceso es conocido por numerosos investigadores (Cobiella 2008, 2009) como la orogenia Laramídica (Figura 1E).

Etapas F. Formación de montañas por la colisión de los arcos de islas con los continentes (orogénesis por colisión)

La etapa se caracteriza por el comienzo de la colisión oblicua y fragmentación del arco de islas volcánicas del Caribe septentrional contra el continente norteamericano (Lawver *et al.* 2015), continúa desarrollándose el prisma de acreción, comienza a reducirse la cuenca oceánica y formarse una zona de sutura. Los diferentes fragmentos del arco de isla Caribeño, limitados por fallas transcurrente, avanzan indistintamente y desplazándose en forma de grandes escamas o nappes a lo largo de fallas de cabalgamiento, empotrándose secuencialmente al borde del margen continental (Mann *et al.* 1995; Giunta, Beccaluva y Siena 2006). Se van originando montañas que se elevan isostáticamente y comienzan a erosionarse. En el frente de esas montañas (cuencas tipo proforeland) y detrás de estas (cuencas tipo retroforeland) se crean cuencas que subsiden rápidamente dentro de aguas profundas que comienzan a rellenarse con sedimentos clásticos.

Asociadas a las fallas transformantes se originan cuencas sedimentarias donde se depositan enormes cantidades de sedimentos terrígenos provenientes de la erosión de las tierras emergidas. Con el tiempo, las montañas del orógeno se erosionan hasta el nivel del mar aflorando batolitos intermedios y félsicos que componen el núcleo del antiguo arco volcánico.

En el archipiélago cubano se reconocen dos asociaciones petrotectónicas:

- *Terrígena-arcillosa-carbonatada*, originada en el proforeland (cuenca de antepaís) sobre la cuña superior del orógeno entre el Eoceno medio Bartonense y el Holoceno (Figura 1F; Tabla 1, número 11).
- *Terrígena-arcillosa-carbonatada*, originada en el retroforeland en fosas tectónicas tipo graben limitadas por fallas normales entre el Eoceno superior Priabonense y el Holoceno (Figura 1F; Tabla 1, número 12).

En la etapa F, debido a la colisión y progresivo suturamiento de los arcos de islas volcánicas extintas del Cretácico contra el margen de la placa norteamericana, conocida como orogénesis Laramídica (Khudoley 1967), culmina el desarrollo de las fallas anteriormente mencionadas (Figura 1F), dándose las condiciones para el desarrollo posterior de fallas rumbo-deslizantes, tales como: Pinar, Hicacos, Colón, La Trocha, Cauto-Nipe, Oriente; y otras de menor orden, que fragmentaron al orógeno y

contribuyeron a la colisión oblicua y secuencial de la placa caribeña contra la placa norteamericana (Mann *et al.* 1995; Giunta, Beccaluva y Siena 2006).

Etapa G. Formación de montañas tipo Cordilleranas (orogénesis por subducción)

Al mismo tiempo del desarrollo de la etapa F, descrita anteriormente, y a consecuencia de este evento colisional, la corteza oceánica del Caribe, empujada oblicuamente hacia el continente norteamericano (Mann *et al.* 1995; Giunta, Beccaluva y Siena 2006), se parte y comienza a subducir por debajo de la parte trasera del orógeno, parcialmente empotrado y acrecionado al borde del margen continental norteamericano. Este evento se corresponde con la etapa G de formación de montañas tipo Cordilleranas, momento en que también ocurre la obducción de enormes escamas de ofiolitas sobre el anterior arco volcánico; este proceso se le conoce en la literatura geológica como orogénesis cubana (Cobiella 2008; Khudoley 1967). En el archipiélago cubano se reconocen dos asociaciones petrotectónicas en la región más oriental de Cuba:

- *Vulcanógeno-sedimentaria*, originada en la parte interna del arco volcánico entre el Paleoceno inferior y el Eoceno superior (Figura 1G; Tabla 1, número 13).
- *Vulcanomíctica-terrígena-carbonatada*, originada en la parte trasera del arco volcánico entre el Paleoceno inferior parte alta y el Eoceno superior (Figura 1G; Tabla 1, número 14).

Aunque se pueden reconocer algunas capas de cenizas volcánicas, provenientes de este arco volcánico muy alejado, dentro de algunas unidades litoestratigráficas del resto del país, que continuaban depositándose en la antigua parte trasera del arco volcánico, tales como: el Olistostroma Haticos; las formaciones Mícará, Gran Tierra, Vigía, Vertientes, Fomento, Santa Clara, Vaquería, Zaza, Mercedes y Apolo (IGP 2013).

Durante esta etapa, en el archipiélago cubano no se encuentran rocas originadas en la cuenca frontal del nuevo arco volcánico y la fosa oceánica porque la falla transformante Oriente, ocasionada por el proceso colisional oblicuo durante la etapa F, seccionó el arco volcánico y el fragmento correspondiente pasó a formar parte de la placa Caribe, migrando en dirección este. En esta etapa, además, se originaron fallas normales y verticales en la parte trasera del arco volcánico.

Como puede apreciarse, durante la etapa F se produjeron importantes fallas transcurrente que dividieron al orógeno en fragmentos (Mann *et al.* 1995;

Giunta, Beccaluva y Siena 2006) que impidieron el desarrollo de la etapa H del ciclo de Wilson. Una de estas fallas, la más reciente y con una importante actividad geodinámica en la actualidad, es la falla transcurrente Oriente, que limita por el sur los fragmentos empotrados del orógeno del archipiélago cubano, pertenecientes ahora a la placa de Norteamérica, con la placa del Caribe. Esta falla asimila la actividad geodinámica actual más importante de este territorio (Arango 2000).

Los terrenos Pinos, Escambray y Guaniguanico (Iturralde 1998) pueden considerarse como fragmentos arrancados y transportados de los márgenes divergentes de Suramérica o adyacentes, envueltos en este proceso colisional.

Por lo analizado se considera que en el archipiélago cubano solo aparecen asociaciones petrotectónicas representantes de los estadios II de separación de los continentes-apertura de cuencas oceánicas (Etapas C y D) y III de cierre de las cuencas oceánicas-colisión de los continentes (Etapas E, F y G) del ciclo de Wilson (Tabla 1).

El orógeno cubano (Lewis y Draper 1991), ahora formando parte de la placa norteamericana, se mueve hacia el oeste limitado por el sur por la falla Oriente, lugar donde se libera la mayor cantidad de energía potencial acumulada (Arango 2000), por la interacción con la placa caribeña; pero, a su vez, en este proceso los diferentes bloques limitados por fallas que componen al orógeno pueden originar terremotos al movilizar estas fallas.

5. CONCLUSIONES

- En el archipiélago cubano se identifican los siguientes contextos geotectónicos y sus respectivas asociaciones petrotectónicas:

Margen divergente inicial (asociación de rocas terrígenas-carbonatadas, a veces con intercalaciones volcánicas); *Dorsal oceánica* (asociación ofiolítica); *Margen divergente maduro* (asociación de rocas terrígenas-carbonatadas); *Arcos de islas volcánicas* (asociación de rocas vulcanógeno-sedimentarias, vulcanomícticas-terrígenas-carbonatadas y terrígenas-carbonatadas); *Cadenas montañosas no volcánicas* (asociación de rocas terrígenas-arcillosas-carbonatadas); *Cadenas montañosas volcánicas tipo Cordilleranas* (asociación de rocas vulcanógeno-sedimentarias, vulcanomícticas-terrígenas-carbonatadas, terrígenas-polimícticas-carbonatadas y terrígenas-arcillosas-carbonatadas).

- Las asociaciones petrotectónicas surgen en los estadios de separación de los continentes-apertura de cuencas oceánicas (etapas C y D) y de cierre de las cuencas oceánicas-colisión de los continentes (etapas E,

F y G) del ciclo de Wilson. La etapa H no se desarrolla debido a la colisión oblicua y secuencial de la placa caribeña contra la placa norteamericana.

- Las principales fallas inversas Norte Cubana, Las Villas, Cubitas, Norte de la Española se producen a partir de la etapa E; culminan su desarrollo en la etapa F. Las principales fallas rumbo-deslizantes Pinar, Hicacos, Colón, La Trocha, Cauto-Nipe, Oriente se desarrollan durante las etapas F y G; algunas de ellas actualmente se mantienen activas como Bartlett y Pinar y las principales fallas normales y verticales del archipiélago cubano se originan a partir de la etapa G.
- Las fallas mencionadas, y otras de menor orden, en numerosas ocasiones son movilizadas produciendo sismicidad.

6. REFERENCIAS

- Arango, E. D.; Vega, N.; Cuevas, J. L.; Alcaide, J. y Rios, Y. 2018: Memorias del taller conclusivo para el análisis y actualización de las zonas de fallas activas y la dinámica de los bloques del archipiélago cubano. Reporte de investigación. Fondos del CENAIIS Santiago de Cuba.
- Arango, E. D. 2000: Geodinámica del sistema de fallas transformante Bartlett–Caimán, al sur de Cuba Oriental. En: Chuy, T. J. (Editor). *Red de estaciones e investigaciones sismológicas en Cuba*. La Habana: Editorial Academia.
- Cobiella, J. L. 2008: Reconstrucción palinspástica del paleomargen mesozoico de la América del Norte en Cuba occidental y el sudeste del Golfo de México. Implicaciones para la evolución del SE del Golfo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(3): 382-401.
- Cobiella, J. L. 2009: Emplacement of the northern ophiolites of Cuba and the Campanian-Eocene geological history of the northwestern Caribbean-SE Gulf of Mexico region. En: James, K. H.; Lorente, M. A.; Y Pindell, J. L. (Editores). *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate*. London: Geological Society, Special Publications. 328 p.
- Condie, K. C. 2003: *Plate tectonics and crustal evolution*. Great Britain: Butterworth-Heinemann publications. 282 p.
- Draper, G. y Barros, J. A. 1994: Cuba. In: Donovan, S. K. and Jackson, T. A. (Editors). *Caribbean Geology, Introduction*. Kingston: U.W.I. Publishers' Association. P. 65-86.
- Fichter, L. S. y David, J. P. 2001: *Ancient Environments and the Interpretation of Geologic History*. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall. 280 p.
- Fichter, L. S. y Whitmeyer, S. J. 2019: No Rock Is Accidental. Stratigraphy, Structure, and Tectonics in the Wilson Cycle. In: Billi, A. and Fagereng, A.

- Problems and Solutions in Structural Geology and Tectonics*. Amsterdam: Elsevier. Vol. 5: 145-160.
- Giunta, G.; Beccaluva, L. y Siena, F. 2006: Caribbean Plate margin evolution, constraints and current problems. *Geologica Acta*, 4(1-2): 265-277.
- Instituto de Geología y Paleontología (IGP). 2013: *Léxico Estratigráfico de Cuba*. La Habana: Editorial Centro Nacional de Información Geológica, Servicio Geológico de Cuba. 458 p.
- Instituto de Geología y Paleontología (IGP). 2016: *Mapa Geológico de la República de Cuba*. La Habana: Servicio Geológico de Cuba.
- Iturralde, M. 1975: Problems of the application of two modern tectonic hypothesis to Cuba and the Caribbean region. *AAPG Bull.*, 59(5): 838-855.
- Iturralde, M. 1981: Nuevo modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 3: 51-90.
- Iturralde, M. 1988: *Naturaleza Geológica de Cuba*. La Habana: Editorial Científico-Técnica. 246 p.
- Iturralde, M. 1994: Cuban Geology. A new plate tectonic synthesis. *Journal of Petroleum Geology*, 17(1): 39-70.
- Iturralde, M. 1996: Geología de las ofiolitas de Cuba. En: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. First Contribution IGCP Project 364, p. 83-120.
- Iturralde, M. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, 33(1-4): 9-59.
- Iturralde, M. 2004: Principales modelos tectónicos del Caribe. En: *Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres*. La Habana: Editorial Centro Nacional de Información Geológica. ISBN: 959-7117-14-2.
- Iturralde, M.; García, A.; Rojas, Y.; Proenza, J. A.; Murphy, J. B. and Stern, R. J. 2016: The geology of Cuba. A brief overview and synthesis. *GSA Today*, 26(10): 4-10.
- Khudoley, K. M. 1967: Principal features of Cuban geology. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 51(5): 668-677.
- Khudoley, K. M. and Meyerhoff, A. A. 1971: *Paleogeography and Geological History of Greater Antilles*. Colorado, USA: Geological Society of America. Memoir 129. 188 p.
- Knipper, A. y Cabrera, R. 1974: Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio- y eugeosinclinal de Cuba y del cinturón hiperbásico de Cuba. En: *Contribución a la Geología de Cuba*. Publicación Especial Número 2: 15-77. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lawver, L. A.; Dalziel, I. W. D.; Norton, I. O.; Gahagan, L. M. and Davis, J. 2015: The PLATES 2014. Atlas of Plate Reconstructions (550 Ma to Present Day). PLATES Progress Report No. 374-0215. University of Texas, Institute for Geophysics Technical. Report No. 201. 220 p.

- Lewis, J. F. y Draper, G. 1990: Geology and tectonic evolution of northern Caribbean margin. In: Dengo, G.; Case, J. (Editors). *The Caribbean Region, The Geology of North America*. Volume H: 77-140. Geological Society of America, Inc.
- Mann, P.; Taylor, F. W.; Lawrence, E. and Lung, T. 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.
- Miall, A. D. 2000: *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Third Ed. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag. 616 p.
- Millán, G. 1997: Posición estratigráfica de las metamorfitas cubanas. En: Furrázola, G. F.; Nuñez, K. E. (Editores). *Estudios sobre Geología de Cuba*. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología. P. 251-258.
- Puscharovski, Y. M.; Mossakovski, A. A.; Nekrasov, G. E.; Sokolov, S. D.; Iturralde, M.; Cabrera, R.; Oro, J.; Flores, R. and Formell, F. 1989: *Tectónica de la República de Cuba. Texto explicativo del mapa tectónico de Cuba a escala 1,500 000*. Moscú: Nauka. 76 p.
- Shein, V. S.; Kleschov, K. A.; Yparraquirre, J. L.; Garcia, E.; Lopez-Rivera, J. G.; Socorro, R. y López, J. O. 1985: Mapa tectónico de Cuba, escala 1: 500 000. *Tecnológica*, 15(1): 37-40.
- Turcotte D. and Schubert G. 2018: *Geodynamics*. 3rd ed. Los Ángeles: Cambridge University Press. 623 p.
- Whitmeyer, S. J.; Fichter, L. S. y Pyle, E. J. 2007: New directions in Wilson Cycle concepts, Supercontinent and Tectonic Rock Cycles. *Geosphere*, 3(6): 511-526.

Información adicional

Conflicto de intereses

No existen conflictos de intereses

ORCID

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

Recibido: 20/11/2019

Aceptado: 24/03/2020