

Estructura Profunda del Caribe: Raíces Litosféricas y Corrientes de la Astenosfera

Juan Ignacio Martín de Blas

Máster en Geofísica y Meteorología. Universidad de Granada (UGR).

Tutores:

Yasmina Martos Martín (British Antarctic Survey).

Manuel Catalán Morollón (Real Instituto y Observatorio de la Armada).

Abstract. The Caribbean Arc is considered, as well as the Drake Passage, as a region where the asthenospheric flux is channeled from the Pacific region. Using the Bouguer anomaly map and the magnetic anomaly map, the Caribbean region has been divided into continental and oceanic lithospheric provinces. In addition, the 50 km upward continued Bouguer anomaly map has been used to characterize the structure of the deep lithosphere and the asthenosphere. It has been obtained lithosphere models, related to four gravity profiles along the Caribbean Arc, where lithospheric roots and the asthenospheric channels have been identified. Finally, it has been proposed an asthenospheric current model in the Caribbean, based on the lithospheric models, besides other geophysical data, such as heat flow, seismicity, seismic anisotropy and plate kinematics. The results of this research are in agreement with the hypothesis which claims the existence of Pacific asthenospheric flux in the Caribbean region.

Resumen. El arco del Caribe se considera, junto al paso de Drake, como una región donde se produce la entrada de flujo astenosférico desde el Pacífico. A partir del mapa de anomalía de Bouguer y de anomalía magnética se han distinguido las provincias litosféricas oceánicas y continentales en el Caribe. Asimismo, la prolongación ascendente a 50 km de la anomalía de Bouguer se ha utilizado para determinar la estructura de la litosfera profunda y de la astenosfera. Se han realizado modelos de litosfera, correspondientes a cuatro perfiles gravimétricos en el Caribe, y se han identificado raíces litosféricas y canales astenosféricos. Por último, se ha propuesto un modelo de corrientes astenosféricas en el Caribe, utilizando como base los modelos de litosfera, pero también otros datos geofísicos, como flujo de calor, sismicidad, anisotropía sísmica y cinemática de placas. Los resultados del trabajo están de acuerdo con la hipótesis que propone la entrada de flujo astenosférico pacífico en el arco del Caribe.

Keywords: Caribbean region, lithospheric roots, asthenospheric flow, Bouguer gravity anomaly.

Palabras clave: Arco del Caribe, anomalía de Bouguer, raíces litosféricas, flujo astenosférico.

1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que, debido al cierre de la cuenca oceánica del Pacífico, la astenosfera está siendo continuamente desplazada por las raíces litosféricas continentales que circundan esta región. Por ello, se ha supuesto que debe existir un flujo astenosférico que, procedente del Pacífico, se dirija hasta las zonas circundantes [Álvarez, 1982]. En este sentido, el flujo solo puede circular a través de aquellas zonas que no tengan raíces litosféricas profundas y que, por tanto, actúen como canales astenosféricos, permitiendo el paso de material mantélico desde el Pacífico hasta el Atlántico. Alrededor del

Pacífico, se ha señalado al paso de Drake y a la zona del Caribe como posibles zonas de paso para el flujo astenosférico [Álvarez, 1982].

En el paso de Drake, la existencia de flujo astenosférico se ha estudiado con diferentes técnicas: anisotropía sísmica [Russo y Silver, 1994; Helffrich et al., 2002], datos geoquímicos [Pearce et al., 2001] y modelización de perfiles gravimétricos [Martos et al., 2014]. En la zona del Caribe, objeto de estudio de este trabajo, también se han publicado estudios de anisotropía sísmica [Russo y Silver, 1994] y modelos neotectónicos [Negredo et al., 2004] que sugieren la existencia de flujo astenosférico. En este sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar la estructura profunda del Caribe mediante la elaboración de modelos de litosfera, correspondientes a cuatro perfiles de anomalía de Bouguer (figura 1).

2. CONTEXTO GEODINÁMICO

En la región del Caribe se identifica una zona central poco deformada, rodeada completamente por márgenes activos [Giunta et al., 2006]. Los márgenes norte y sur son grandes zonas de cizalla, y están constituidas por sistemas de fallas de desgarre (sinistrales al norte y dextrales al sur) que acomodan el desplazamiento de la placa del Caribe hacia el noreste [Weber et al., 2001; Mann et al., 2002]. Mientras tanto, los márgenes oeste y este se corresponden con zonas de subducción con actividad volcánica asociada [Molnar y Sykes, 1969]. Así, en el oeste está subduciendo la placa de Cocos bajo Centroamérica, y en el este la litosfera atlántica bajo la placa del Caribe [van Benthem et al., 2013].

El origen y evolución de la placa del Caribe es muy controvertido, por la ausencia de bandas paralelas de anomalía magnética en el mar Caribe. No obstante, la mayoría de autores sitúan el origen de la placa en el océano Pacífico [Pindell y Barret, 1990]. A finales del Cretácico, la protoplaca del Caribe acaba colisionando con las placas de Norteamérica y Sudamérica en su avance hacia el este, lo que ha ocasionado un importante levantamiento tectónico en los márgenes del Caribe [Giunta et al., 2006].

3. METODOLOGÍA

Se ha calculado la anomalía gravimétrica Bouguer para la zona del Caribe, utilizando directamente los datos de anomalía de gravedad de aire libre (Δg_{AL}), que proceden del modelo *GOCO05s* [Mayer-Gürr et al., 2015]. La anomalía de Bouguer se define por la diferencia entre la anomalía de aire libre (Δg_{AL}) y la corrección de Bouguer (C_B) [Lowrie, 2007]:

$$\Delta g_B = \Delta g_{AL} - C_B$$

Como técnica de realce se han calculado las prolongaciones ascendentes de la anomalía de Bouguer, en intervalos de 10 en 10 km, y hasta llegar a los 100 km. El objetivo de aplicación de esta técnica es el filtrado de las longitudes de onda cortas, relacionadas con cuerpos superficiales (en la corteza), y por lo tanto el resalte de las anomalías generadas por fuentes profundas, correspondientes al manto litosférico y la astenosfera. Entre todas las prolongaciones ascendentes, se ha considerado trabajar con la prolongación a 50 km. También se ha calculado el espectro de potencia de la prolongación, que permite estimar la profundidad de los horizontes principales, que representan las distintas fuentes de anomalía de gravedad.

Con estos datos, se van a realizar modelos de litosfera a lo largo de cuatro perfiles de anomalía de Bouguer definidos en el área del Caribe (*figura 1*). Los modelos incluyen capas con distinta densidad: agua marina, cobertera sedimentaria, corteza, manto litosférico y astenosfera. Asimismo, se conoce la topografía [*Smith y Sandwell, 1997*] y la geometría de la base de los sedimentos y de la Moho (modelo *Crust 1.0*) [*Laske et al., 2013*]. El objetivo es conseguir que la anomalía de Bouguer producida por los modelos se ajuste a los datos calculados, dividiendo la corteza y el manto litosférico en bloques de distinta densidad y modificando la geometría de la base de la litosfera.

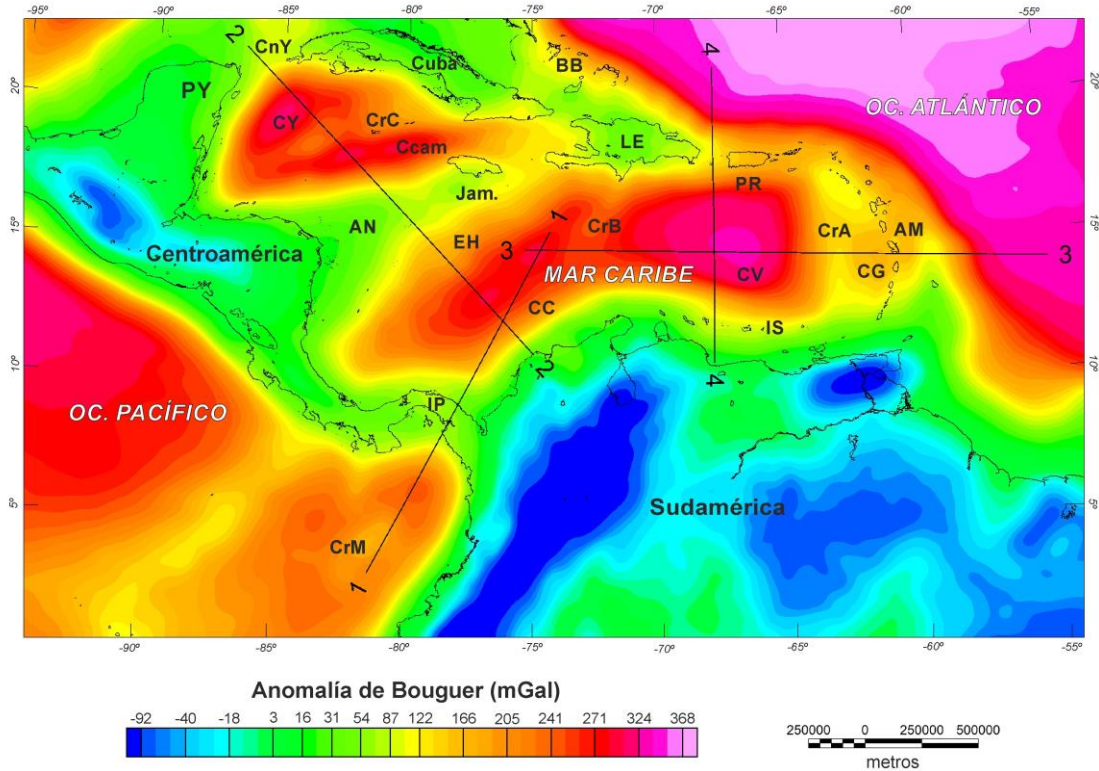


FIGURA 1: Se muestra la prolongación ascendente de la anomalía de Bouguer a 50 km. En la figura también aparece la posición de los cuatro perfiles gravimétricos a lo largo del arco del Caribe. Los elementos geográficos se indican con siglas (*AM:* Antillas Menores; *AN:* Alto de Nicaragua; *BB:* Banco de las Bahamas; *CC:* Cuenca de Colombia; *CCam:* Cuenca de las Caimán; *CG:* Cuenca de Granada; *CV:* Cuenca de Venezuela; *CY:* Cuenca de Yucatán; *CrA:* Cresta de Aves; *CrB:* Cresta de Beata; *CrCam:* Cresta de las Caimán; *CrM:* Cresta de Malpelo; *CnY:* Canal de Yucatán; *EH:* Escarpe de Hess; *IP:* Istmo de Panamá; *IS:* Islas de Sotavento; *LE:* La Española; *PR:* Puerto Rico; *PY:* Península de Yucatán).

4. RESULTADOS

El mapa de anomalía de Bouguer permite dividir el área del Caribe en distintas provincias, según los valores de anomalía. En general, las zonas oceánicas (el Atlántico, el Pacífico y la zona central del Caribe) presentan los valores más altos, mientras que en los bloques continentales (Sudamérica, Centroamérica o Antillas Mayores) se observan valores bajos o negativos de anomalía de Bouguer.

Por otro lado, se han calculado dos espectros de potencia: el primero incluyendo las áreas continentales del Caribe, y el segundo restringido en el área oceánica del mar Caribe. Se han determinado tres horizontes principales, que explican la señal gravimétrica. Los dos primeros se asocian a la base de la litosfera y de la corteza, y el

tercero presenta una profundidad negativa, por lo que se relaciona con fuentes superficiales.

Además, se han podido identificar diferentes regiones en los modelos de litosfera, en función de los valores de densidad para la corteza y el manto litosférico y de la geometría de la base de la litosfera. Se observado, por tanto, diferentes zonas de engrosamiento y adelgazamiento litosférico. También se han modelizado las láminas de subducción, tanto en las Antillas Menores como en la fosa de Puerto Rico.

5. DISCUSIÓN

A través de los modelos de litosfera se ha podido interpretar la estructura profunda del área del Caribe, incluyendo la determinación de raíces litosféricas y canales astenosféricos. Las raíces litosféricas son zonas con litosfera engrosada, que impiden el paso de corrientes astenosféricas, y se han observado en la zona central de Panamá, las Antillas Mayores, el Alto de Nicaragua y el continente de Sudamérica. Por otro lado, los canales astenosféricos son áreas con litosfera adelgazada, consideradas como zonas de paso para el flujo astenosférico. Los modelos muestran canales astenosféricos en el suroeste de Panamá, al sureste de la cuenca de las Caimán y al noreste de la cuenca de Venezuela (sur de Puerto Rico).

Asimismo, se han integrado otros datos geofísicos. Por un lado, se ha realizado un mapa de flujo de calor [Hasterok, 2013; Davies, 2013], y se han identificado las zonas con valores de flujo de calor más altos, que se corresponden con el océano Pacífico, el área de las Caimán, el este de las Bahamas y el arco de las Antillas Menores (*figura 2*). Además, se han representado la anomalía magnética y la sismicidad en el Caribe.

Utilizando todos los datos disponibles en la zona del Caribe, incluyendo también estudios de anisotropía sísmica [Russo y Silver, 1994] y de cinemática de placas [Weber et al., 2001; Mann et al., 2002], se ha propuesto un patrón de flujo astenosférico en el Caribe (*figura 2*). Según el modelo propuesto, el flujo astenosférico del Pacífico entraría en el mar Caribe en dirección SO-NE. Después pasaría por el área de las Caimán, considerado un centro de expansión activo y, al llegar hasta las Bahamas, tomaría dirección sureste hasta llegar a las Antillas Menores.

6. CONCLUSIONES

Del desarrollo de este trabajo se han podido extraer las siguientes conclusiones. En primer lugar, se han determinado los principales dominios de litosfera oceánica y continental a partir de los mapas de anomalía de gravedad de Bouguer y de anomalía magnética. Por otro lado, los modelos de litosfera han permitido identificar las principales raíces litosféricas y canales astenosféricos. Por último, a partir de la integración de diferentes datos geofísicos se ha propuesto un modelo de corrientes astenosféricas en el presente para la zona del Caribe.

Se concluye que este estudio, junto con otros trabajos realizados en el arco de Scotia [Helffrinch et al., 2002; Martos et al., 2014] sostiene la hipótesis de que el flujo astenosférico del Pacífico sale, mediante canales astenosféricos, hacia las placas de Scotia y del Caribe [Álvarez, 1982]. En el futuro, queda pendiente la elaboración de un modelo de flujo astenosférico que incluya su evolución a lo largo de la historia tectónica del Caribe.

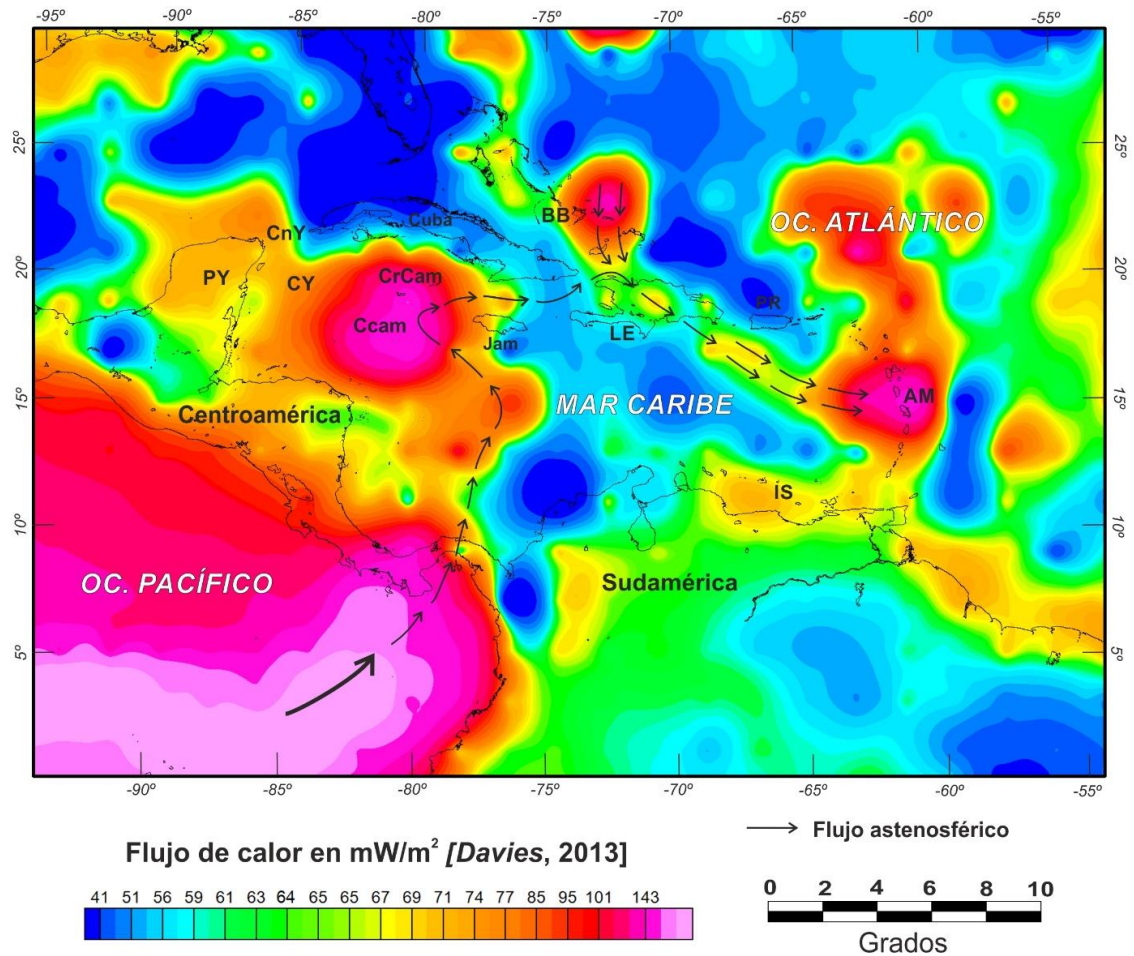


FIGURA 2: Patrón de flujo astenosférico y mapa de flujo de calor en la zona del Caribe. Los elementos geográficos se indican con siglas (véase figura 1).

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a los tutores del trabajo, la doctora Yasmina Martos Martín y el doctor Manuel Catalán Morollón, por sus consejos y explicaciones. Algunas figuras de la memoria se han elaborado con GMT (*Geological Mapping Tools*).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarez, W. (1982), Geological evidence for the geographical pattern of mantle return flow and the driving mechanism of plate tectonics, *J. Geophys. Res.*, **87**, 6697-6710.
2. Davies, J. H. (2013), Global map of solid Earth surface heat flow, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **14** (10), 4608-4622.
3. Giunta, G., Beccaluva, L., and Siena, F. (2006), Caribbean Plate margin evolution: constraints and current problems, *Geologica Acta*, **4** (1-2), 265-277.
4. Hasterok, D., A heat flow based cooling model for tectonic plates (2013), *Earth and Planetary Science Letters*, **361**, 34-43.
5. Helffrich, G., Wiens, D.A., Vera, E., Barrientos, S., Shore, P., Robertson, S., Adaros, R. (2002), A teleseismic shear-wave splitting study to investigate mantle flow around South America and implications for plate-driving forces, *Geophys. J. Int.*, **149**, F1-F7.
6. Laske, G., G. Masters, Z. Ma, and M. Pasyanos (2013), Update on *CRUST1.0* – A 1-degree global model of Earth's crust, *Geophys. Res. Abstr.*, **15**, EGU2013-2658.
7. Lowrie, W. (2007), Fundamentals of Geophysics, 2nd Edition, *Cambridge University Press*, 354 pp.

8. Mann, P., Calais, E., Ruegg, J-C., DeMets, C., Jansma, P. E. (2002), Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations, *Tectonics*, **2** (6), 26pp.
9. Martos, Y.M., Galindo-Zaldívar, J., Catalán, M., Bohoyo, F., Maldonado, A. (2014), Asthenospheric Pacific-Atlantic flow barriers and the West Scotia Ridge extinction, *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 43-49.
10. Molnar, P., and L. R. Sykes (1969), Tectonics of the Caribbean and middle America regions from focal mechanisms and seismicity, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **80**, 1639-1684.
11. Negredo, A. M., I. Jiménez-Munt, and A. Villaseñor (2004), Evidence for eastward mantle flow beneath the Caribbean plate from neotectonic modeling, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L00615, doi:10.1029/2003GL019315.
12. Pearce, J., P. T. Leat, P. F. Barker, and I. L. Millar (2001), Geochemical tracing of pacific-to-atlantic upper-mantle flow through Drake Passage, *Nature*, **410**, 457-461.
13. Pindell, J. L., Barrett, S. F. (1990), Geological evolution of the Caribbean region: a plate-tectonic perspective, *The Geology of North America*, **Vol. H, The Caribbean Region**, 405-432.
14. Russo, R. M., and P. G. Silver (1994), Trench-Parallel flow beneath the Nazca Plate from seismic anisotropy, *Science*, **263**, 1105-1111.
15. Smith, W. H. F., and D.T. Sandwell (1997), Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, **277**, 1957-1962.
16. van Benthem, S., R. Govers, W. Spakman, and R. Wortel (2013), Tectonic evolution and mantle structure of the Caribbean, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **118**, 3019-3036, doi:10.1002/jgrb.50235.
17. Weber, J. C., Dixon, T. H., DeMets, C., Ambeh, W. B., Jansma, P., Mattioli, G., Saleh, J., Sella, G., Bilham, R. and Pérez, O. (2001), GPS estimate of relative motion between the Caribbean and South American plates and geological implications for Trinidad and Venezuela, *Geology*, **29** (1), 75-78.