

## MAPAS DE GRAVEDAD Y MAGNETISMO DE LA ISLA DE CUBA DERIVADOS DE MEDICIONES SATELITALES COMBINADAS

**Andreina García<sup>(1)</sup>, Terepaima Tabare<sup>(1)</sup> y Nuris Orihuela<sup>(2)</sup>**

(1) *Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE). Base Aérea Francisco de Miranda, Complejo Tecnológico Simón Rodríguez, edificio sede ABAE, piso 1, Caracas, Venezuela. ZIP 1060, E-Mail: terepaimatabare@gmail.com y andreina\_garcia@hotmail.com*

(2) *Universidad Central de Venezuela (UCV). Ciudad Universitaria, Los Chaguaramos Caracas, Venezuela. ZIP 1050, E-mail:nurisorihuela@gmail.com*

### RESUMEN

Se presentan mapas de gravedad y magnetismo de la isla de Cuba y regiones adyacentes a escala 1:500.000 en la ventana geográfica ubicada entre la latitud norte 17° y 25° y la longitud oeste 81° y 73°, abarcando un área de aprox. 1.380.000 km<sup>2</sup>. Los datos de gravedad provienen del modelo global de geopotencial EGM2008 (Pavlis et al., 2008) y los datos magnéticos provienen del modelo de anomalías magnéticas globales NGDC-720 (Maus et al, 2010). En relación al cálculo de la anomalía de Bouguer, se utilizó el modelo digital de elevación SRTM 30 plus (Becker, 2009) y se aplicaron las correcciones por efecto de latitud, altura, densidad y topografía. El trabajo presenta una revisión general de las anomalías de gravedad y magnetismo de las provincias geológicas más importantes presentes en el área de estudio y caracteriza gravimétricamente y magnéticamente a la isla de Cuba y sus regiones adyacentes.

### ABSTRACT

We present gravity and magnetism maps of the island of Cuba and adjacent regions at the scale 1:500.000 geographically located between north latitude 17° and 25° and west longitude 81° and 73°, covering an area of approx. 1.380.000 km<sup>2</sup>. Gravity data from global geopotential model EGM2008 (Pavlis et al., 2008) and magnetic data from the model of global magnetic anomalies NGDC-720 (Maus et al, 2010). In respect to the calculation of the Bouguer anomaly, we used the digital elevation model SRTMv4 (Becker, 2009) and applied corrections for the effect of latitude, height, density and topography. The paper presents an overview of gravity and magnetic anomalies of the major geological provinces that are in the study area and gravity and magnetic features on the island of Cuba and its adjacent regions.

### INTRODUCCIÓN

Las mediciones directas de la gravedad absoluta y del campo magnético total en la superficie de la Tierra no cuentan con patrones regulares de distribución, debido a las dificultades de transporte y manejo del instrumental para este propósito; sin embargo, actualmente se dispone de una gran cantidad de datos de gravedad absoluta y del campo magnético total obtenidos mediante satélites y los correspondientes mapas derivados para todo el planeta (García, 2009).

A partir de los valores de gravedad observada obtenidos del EGM2008 y del modelo digital de terreno seleccionado (SRTMv4) se redujo la gravedad observada hasta estimar la Anomalía de Bouguer de la Isla de Cuba. La densidad de reducción fue de 2.67 g/cm<sup>3</sup> y la estimación de la gravedad teórica se hizo a partir de la Ecuación Internacional de la Gravedad del año 1967.

En el área de estudio se dispone de numerosos datos de gravedad (Cuevas et al, 2008; Cuevas et al., 2003; Cuevas y Pacheco, 1994; Cuevas, 1993; Orihuela y Cuevas, 1993; entre otros) y magnetismo provenientes de campañas regionales terrestres, marinas y aéreas. Este trabajo

pretende complementar la información geofísica existente en el área de estudio, además de proponer el uso del dato satelital como herramienta de trabajo en el campo de las geociencias.

### Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en la ventana geográfica ubicada entre la latitud norte 17° y 25° y la longitud oeste 81° y 73°, abarcando un área de aprox. 1.380.000 km<sup>2</sup> y está ubicada geográficamente sobre la isla de Cuba y regiones circundantes (ver Fig. 1)

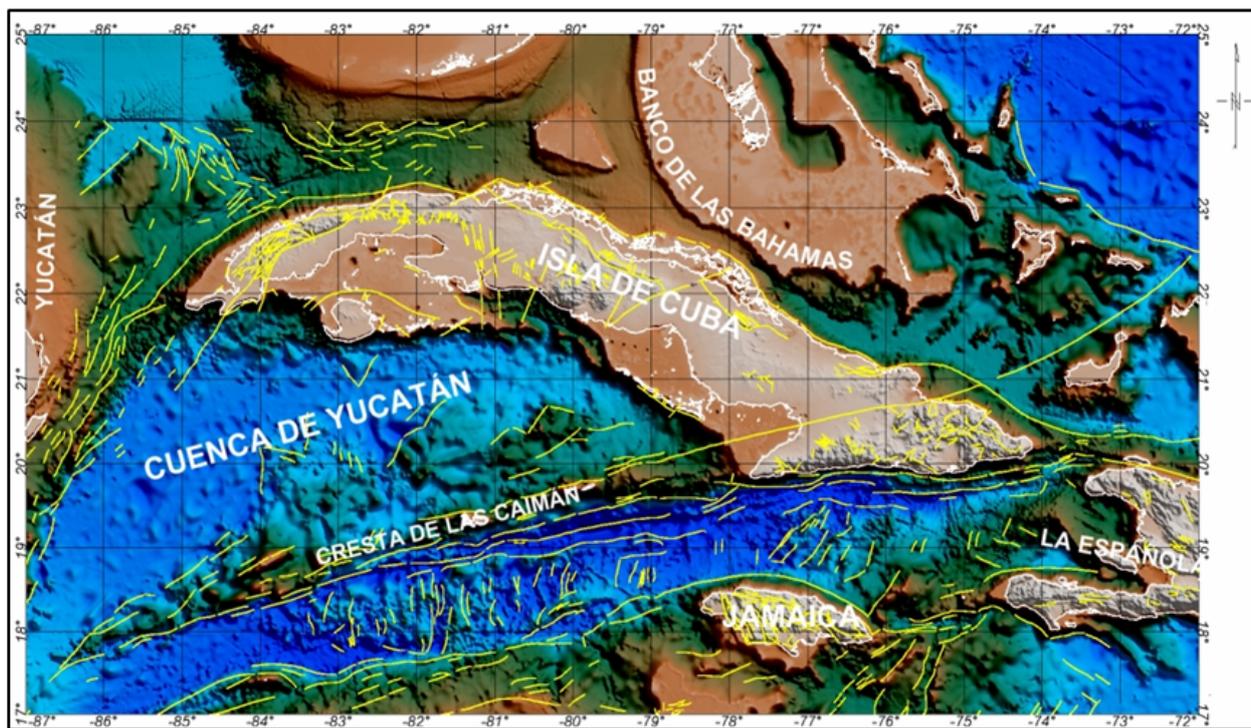


Figura 1.- Localización del área de estudio. Modelo digital de elevación utilizado: SRTM v4 Plus (Becker, 2009)

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos de gravedad.

Los datos de gravedad observada fueron suministrados por el International Center for Global Gravity Field Models (ICGEM) en Alemania. Las reducciones aplicadas a los datos gravimétricos del área de estudio fueron realizadas tomando como nivel de referencia el geoide y una densidad de reducción de Bouguer igual a 2,67 g/cc. Las reducciones aplicadas fueron las siguientes: (1) Corrección por latitud a partir de la fórmula para la gravedad teórica de 1967 (International Association of Geodesy, 1971); (2) Corrección topográfica calculada con el algoritmo del módulo Gravity and Terrain Corrections de Geosoft (2007) para una distancia externa, intermedia e interna de 167 km, 20 km y 1 km respectivamente; (3) Corrección de Bouguer diferenciando los datos terrestres y marinos y (4) Corrección de aire libre.

El modelo digital de elevación del terreno utilizado fue el SRTM v4 Plus (Becker, 2009), el cual tiene una resolución espacial de 90 m e incluye datos batimétricos. Adicional a los mapas de gravedad

observada y anomalía de Bouguer, se generó el mapa de anomalía de Bouguer filtrado, al cual se le aplicó un filtro gaussiano residual.

### Datos de magnetismo.

Los datos de anomalía magnética de campo total provienen del modelo de geopotencial NGDC-720 (Maus et al., 2010) y contienen las contribuciones al campo magnético de todos los cuerpos litosféricos que están por encima de la isoterma de Curie. Estas anomalías están referenciadas al nivel del geode y fueron suministradas por el National Geophysical Data Center (NGDC).

**Distribución geoespacial.** Las características de la distribución geoespacial del mallado de datos gravimétricos y magnéticos son las siguientes:

1. Tamaño de celda: 0.045045°
2. Método de interpolación: Mínima curvatura
3. Sistema de proyección: WGS84
4. N° de datos: 55.400

## RESULTADOS

Los valores de gravedad observada están proyectados a nivel de topografía en tierra y a nivel medio del mar en regiones marinas, mientras que los valores de anomalía de Bouguer están proyectados a nivel del geode. Los valores de anomalía de Bouguer fueron calculados tomando una densidad de reducción de 2,67 g/cc en tierra y una densidad de agua marina de 1,03 g/cc. Los valores de anomalía magnética provienen del modelo de anomalías magnéticas globales NGDC (Maus, 2010), el cual proviene del mallado de anomalías magnéticas litosféricas EMAG-2 (Maus, 2009). A continuación se presentan los mapas de gravedad observada (Fig. 1), anomalía de Bouguer (Fig. 2), anomalía de Bouguer filtrado (Fig. 3) y anomalía magnética (Fig. 4) a escala 1:500.000 respectivamente:

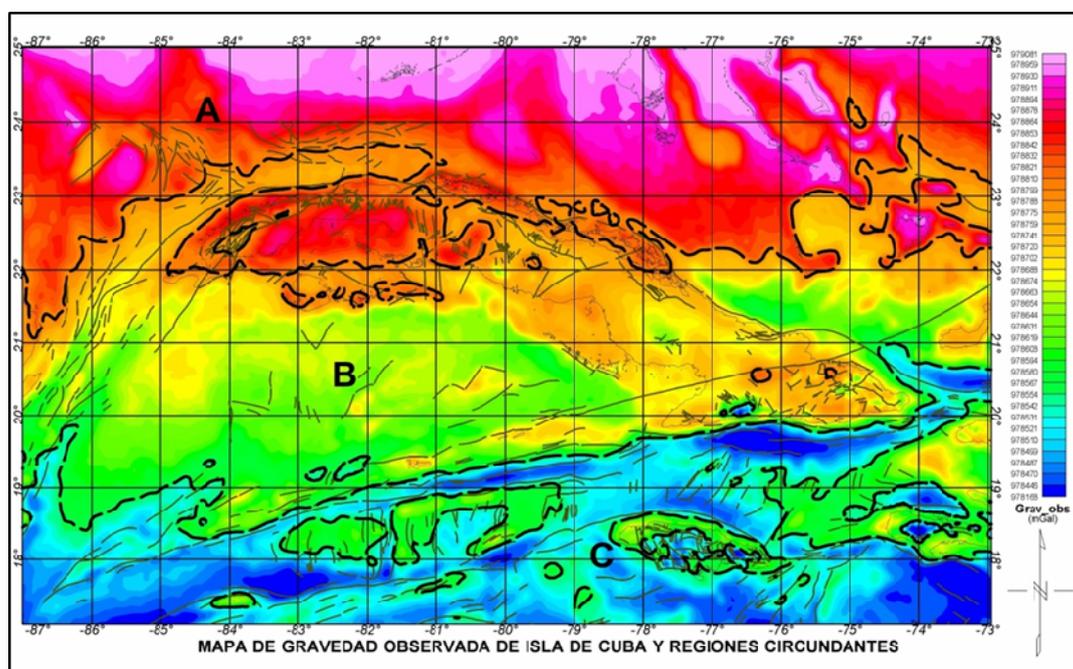


Figura 2.- Mapa de gravedad observada de la isla de Cuba y regiones circundantes. Valores de gravedad observada derivados del modelo de geopotencial EGM2008, disponibles en línea en: <http://icgem.gfz-potsdam.de>

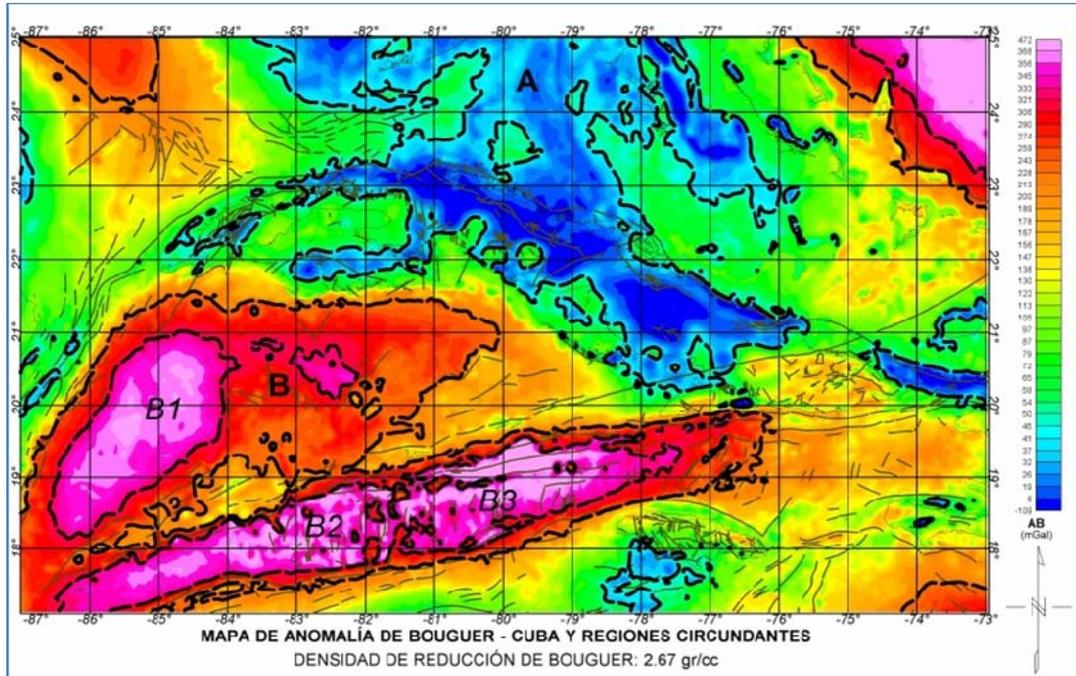


Figura 3.- Mapa de anomalía de Bouguer de la isla de Cuba y regiones circundantes. Densidad de reducción de Bouguer: 2,67 g/cc.

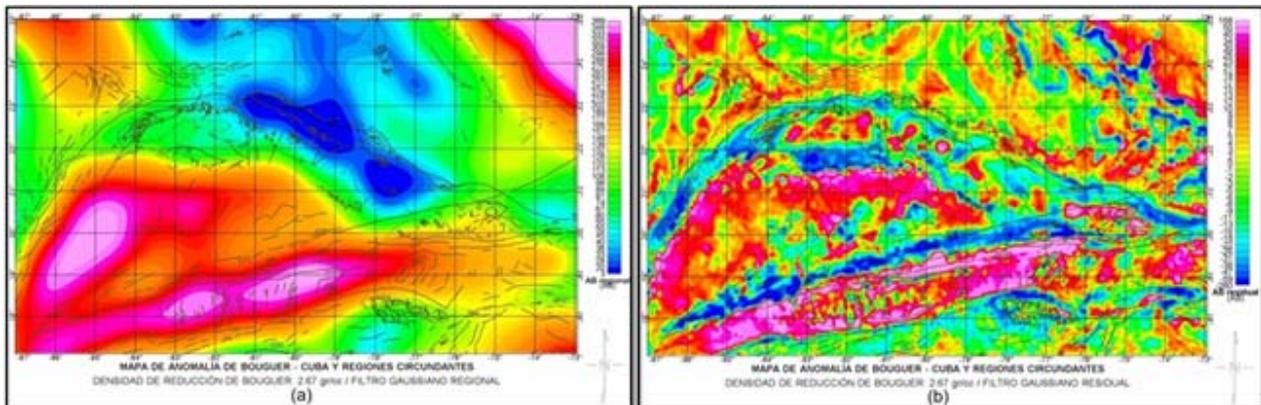


Figura 4.- Mapas de anomalía de Bouguer regionales y residuales de la isla de Cuba y regiones circundantes. (a) Mapa regional de anomalía de Bouguer, filtro aplicado: Gaussiano regional; (b) Mapa residual de anomalía de Bouguer, filtro aplicado: Gaussiano residual.

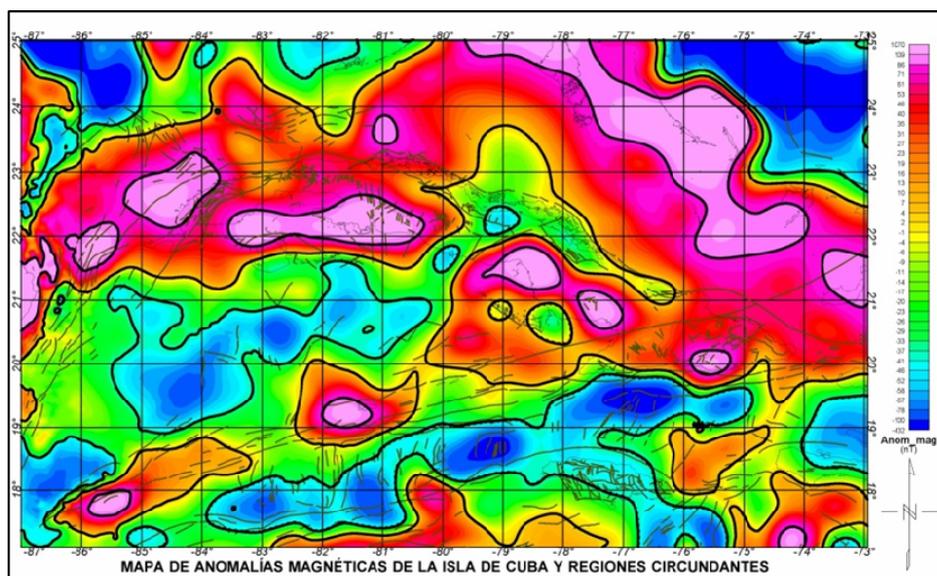


Figura 5.- Mapa de anomalías magnéticas de la isla de Cuba y regiones circundantes, derivado de la combinación de datos del modelo de anomalías magnéticas globales NGDC-720 (Maus, 2010) y de datos aeromagnéticos y marinos disponibles en el área de estudio (NGDC, 2011).

## DISCUSIÓN

### Gravedad observada.

Los valores de gravedad observada en el área de estudio descienden en dirección norte sur y están en el rango de 978168 a 978081 mGal. A nivel general, la orientación preferencial de los contornos isoanómalos está influenciada por los contrastes tectónicos presentes en el área. En la región insular estos valores están en el rango de 978886 a 978425 mGal. De esta manera, se pueden diferenciar 3 zonas: Una zona (A) de altos valores de gravedad y bajos gradientes (aprox. 0.33 mGal/km), ubicada geográficamente de este a oeste sobre el Golfo de México y el Banco de Las Bahamas (ver Fig. 2). Esta zona se extiende desde la latitud 21° hasta el norte del área en estudio y sus valores de gravedad observada están en el rango de 978825 a 979081 mGal.

Una segunda zona (B) de valores de gravedad en el rango de 978612 a 978825 mGal; cuya orientación preferencial está dominada por los límites tectónicos de las estructuras geológicas presentes en el bloque de Cuba. Los gradientes de esta zona disminuyen en dirección norte-sur (ver Fig. 2). En el área insular la zona "B" se caracteriza por tener altos gradientes, de aprox. 2.45 mGal/km.

Por último, se identifica una tercera zona (C) de valores de gravedad en el rango de 978168 a 978612 mGal (ver Fig. 2), cuyos contornos tienen una orientación preferencial aprox. N75°E la cual está influenciada por el centro de esparcimiento presente en la Fosa Barlett-Caimán. El gradiente máximo se observa en el eje del centro de esparcimiento de la fosa, el cual es de aprox. 5.42 mGal/km.

### Anomalías gravimétricas

**Anomalía de Bouguer.** Los valores de anomalía de Bouguer en el área de estudio descienden en dirección norte sur y están en el rango de -109 a 472 mGal. En la región insular estos valores están en el rango de -18 a 213 mGal aprox. Gravitacionalmente se pueden diferenciar 2 zonas: Una zona (A) de valores bajos de anomalías de Bouguer (inferiores a 45 mGal), con gradientes entre 0.19 a

3.67 mGal/km, ubicada geográficamente de norte a sur: desde el antiguo canal de Las Bahamas extendiéndose sobre el área insular (ver Fig. 3).

Una segunda zona (B) (ver Fig. 3) con valores de anomalía de Bouguer positivos en el rango de 240 a 371 mGal; cuya orientación preferencial está dominada por los límites tectónicos y contactos geológicos de las estructuras presentes en el bloque de Cuba y cuyos gradientes máximos se observan en las anomalías B1 (ubicada sobre la cuenca de Yucatán), B2 y B3 (ubicadas a lo largo de la Fosa Barlett-Caimán) (ver Fig. 3). Los gradientes en las anomalías B1, B2 y B3 están en el rango de aprox. 0.27 a 4.31 mGal/km. La orientación preferencial de la anomalía B1 es de aprox. N42°E, mientras que las anomalías B2 y B3 están alineadas con orientación preferencial aprox. de N79°E. A continuación se muestra el rango de valores de anomalía de Bouguer sobre cada una de las provincias geológicas más importantes del área de estudio:

Tabla I.- Caracterización gravimétrica según los rangos de valores de Anomalía de Bouguer.

Regiones gravimétricas	Mínimo relativo (mgal)	Máximo relativo (mgal)
Cuba, Banco de Bahamas y la Florida.	-47	54
Escarpe de Bahamas	179	373
Golfo de México	131	258
Cuenca de Yucatán	158	352
Hoya de Yucatán	352	386
Fosa de Caimán	353	453

**Anomalía de Bouguer regional.** Los valores de anomalía de Bouguer (AB) regional están en el rango de 3 a 389 mGal, y sus valores disminuyen de norte a sur. Se observa una zona de mínimos de AB ubicada sobre el Banco de Las Bahamas y a lo largo de la región Central de la Isla (ver Fig. 4a). Esta zona tiene valores en el rango de 7 a 54 mGal. Adicionalmente se observa una zona de máximos de AB ubicada sobre la Cuenca de Yucatán y sobre el centro de expansión de la fosa Barlett-Caimán (ver Fig. 4a). Sobre la cuenca de Yucatán esta zona tiene valores en el rango de 188 a 358 mGal, y sobre la fosa Barlett-Caimán tiene valores en el rango de 190 a 360 mGal.

**Anomalía de Bouguer residual.** Los valores de anomalía de Bouguer (AB) residual están en el rango de -260 a 168 mGal (ver Fig. 4b). Este mapa reafirma la separación de dominios insular y oceánico reflejados por el mapa de anomalías regionales del área, destacando la mayor carga residual sobre el segmento de afinidad insular. De oeste a este, la Isla de Cuba presenta una secuencia de anomalías alternantes de orientación NE-SO hasta la zona de fallas La Trocha donde esta orientación cambia a un patrón disperso, la falla indicada representa una importante frontera tectónica cuyos efectos se evidencia en la totalidad de los mapas presentados. El rango de anomalías residuales sobre la isla se encuentra entre -52 y 53 mGal al norte; y -47 y 72 mGal al sur de la zona de fallas La Trocha.

**Anomalía magnética.** Los valores de anomalía magnética (AM) en el área de estudio están en el rango de -432 a 225 nT aprox. En la región insular estos valores están en el rango de -50 a 163 nT aprox. Se destacan en el mapa (ver Fig. 5):

a) Una zona de AM positivas (A) ubicada geográficamente sobre el Banco de Las Bahamas y hasta La Isla La Española, las AM de esta zona están en el rango de 2 a 225 nT y sus contornos isoanómalos tienen orientación preferencial aprox. N53°O;

b) una zona de AM negativas (B) ubicada sobre la cuenca de Yucatán, cuyos valores de AM están en el rango de -8 a -88 nT y cuya orientación preferencial de sus contornos es aprox. N34°E, destaca en esta zona un área de mínimos relativos con orientación preferencial N58°E, la cual se extiende al sur de la Cuenca de Yucatán atravesando de sur a norte la isla de Cuba (B1) con una orientación preferencial en el área insular de N51°E (La anomalía en la región insular coincide con la ubicación geográfica de la zona de fallas La Trocha);

c) una zona de AM positivas ubicadas sobre la cresta de Caimán (C) de orientación preferencial N69°E y cuyos valores están en el rango de 5 a 126 nT;

d) y por último una zona de AM negativas ubicadas sobre el centro de expansión de la fosa Barlett-Caimán (D) con orientación preferencial N72°E y cuyos valores están en el rango de -32 a -121 nT.

**Área insular:** Sobre el área insular se pueden diferenciar tres regiones con características magnéticas similares

a) Al occidente de la isla, una zona "A1" con una orientación aprox. N87°E (A1) y con anomalías positivas en el rango de 3 a 164 nT;

b) en el área central insular la zona de AM negativas "B1" descrita anteriormente. Esta zona atraviesa de sur a norte la región insular y constituye la frontera entre el occidente y oriente de la Isla de Cuba, desde el punto de vista magnético;

c) y por último, una zona de AM positivas "A2" ubicadas al oriente de la isla con orientación aprox. N62°O y cuyos valores están en el rango de 12 a 185 nT.

Esta diferenciación por zonas (oriental y occidental) se aprecia de igual manera en los mapas de anomalía de Bouguer (ver Fig. 3 y 4), en los cuales se observa una respuesta gravitacional diferente para el occidente y oriente de la Isla respectivamente. La frontera entre estas dos zonas está ubicada geográficamente sobre la zona de fallas La Trocha, tanto desde el punto de vista gravitacional como magnético.

## CONCLUSIONES

1. Este trabajo presenta una revisión general de las anomalías de gravedad y magnetismo de las provincias geológicas más importantes presentes en el área de estudio y caracteriza gravimétricamente y magnéticamente a la isla de Cuba y sus regiones adyacentes.

2. Los mapas de gravedad observada, anomalía de Bouguer y de anomalías magnéticas obtenidos a partir de mediciones satelitales combinadas a escala 1:500.000, constituyen un instrumento de trabajo para el investigador dedicado a la caracterización del subsuelo profundo de la isla de Cuba y regiones circundantes, debido a la homogeneidad en la distribución espacial del dato, a la disponibilidad de información en áreas geográficas de difícil acceso y al libre acceso a los mismos.

3. Los valores de gravedad observada en el área de estudio descienden en dirección norte sur y están en el rango de 978168 a 978081 mGal; en el mapa de gravedad observada destaca la expresión gravitacional de los contactos tectónicos activos presentes en el área.

4. Los valores de anomalía de Bouguer (AB) descienden de norte a sur y están en el rango de -109 a 472 mGal. En el mapa de AB se observó que los valores más altos de anomalías y gradientes están ubicados sobre la Cuenca de Yucatán, el Escarpe de Las Bahamas y a lo largo de la Fosa de Barlett-

Caimán; mientras que los valores más bajos de anomalías y gradientes están ubicados sobre el área insular y el antiguo canal de Las Bahamas.

5. El mapa de anomalía de Bouguer residual reafirma la separación de dominios insular y oceánico reflejados por el mapa de anomalías regionales del área, destacando la mayor carga residual sobre el segmento de afinidad insular.

6. Las anomalías magnéticas positivas están ubicadas principalmente sobre la región insular, el Banco de Las Bahamas y a lo largo de las Fallas Motagua y Oriental. Destacan en este mapa, par de alineaciones de anomalías magnéticas negativas: La primera se prolonga desde la cuenca de Yucatán hasta Cuba Central en dirección aprox. N60.5°E y una segunda alineación, ubicada a lo largo de la Fosa Barlett-Caimán en dirección aprox. N74°E.

7. El occidente y oriente de la Isla de Cuba están divididos gravitacional y magnéticamente por la zona de fallas La Trocha; esta diferenciación se observa tanto en los mapas de anomalía de Bouguer como en el mapa de anomalías magnéticas.

### Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen las facilidades para la utilización de bases de datos del ICGEM y la NGDC y el apoyo brindado por Franz Barthelmes y Stefan Maus.

### BIBLIOGRAFÍA

- Becker, J. J., D. T. Sandwell, W. H. F. Smith, J. Braud, B. Binder, J. Depner, D. Fabre, J. Factor, S. Ingalls, S-H. Kim, R. Ladner, K. Marks, S. Nelson, A. Pharaoh, R. Trimmer, J. Von Rosenberg, G. Wallace, P. Weatherall., 2009. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30\_PLUS (Estados Unidos). *Marine Geodesy*, 32(4): 355-371.
- Cuevas, J. L., B. Polo, L. A. Díaz, 2008. Regionalización gravimétrica en el Caribe centro occidental (II): Nuevos mapas de anomalías de Bouguer total y aire libre de la Española y Jamaica, a escala 1:500.000. *Ciencias de la Tierra y el Espacio, Segunda Época*, 9.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz, B. Polo, 2003. Regionalización gravimétrica en el Caribe centro occidental (III): Nuevos mapas de anomalías de Bouguer total y aire libre, a escala 1:2.000.000 (Argentina). *Ciencias, Fac. Cien. Exactas, Fís. y Nat., Univ. San Juan*, jul. 2002, 8 (1): 62-69. ISSN 950-605-0327-4446.
- Cuevas, J. L., M. Pacheco, 1994. Influencia del Efecto Gravitacional del relieve Topográfico sobre las Anomalías de Bouguer hasta la Zona de Hayford O2 en Cuba oriental. *Rev. Geofísica Internacional*, 33(3):385-397.
- Cuevas, J. L., 1993. Efecto Gravitacional de la Discontinuidad de Mohorovicic en Cuba y sus territorios adyacentes. *Rev. Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH)*, julio-diciembre 1991, 35:165-180 pp.
- García, A., 2009. Mapas de anomalías de gravedad y magnetismo de Venezuela generados a partir de datos satelitales (Venezuela). Trabajo especial de grado, Fac. Ing., Univ. Cent. Ven: 215 pp.
- International Association of Geodesy, 1971. *Geodetic Reference System, 1967*. International Association of Geodesy Special Publication, 3: 16 p.
- Maus, S., U. Barckhausen, H. Berkenbosch, N. Bournas, J. Brozena, V. Childers, F. Dostaler, J. Fairhead, C. Finn, R. Von Frese, C. Gaina, S. Golynsky, R. Kucks, H. Lühr, P. Milligan, S. Mogren, R. Müller, O. Olesen, M. Pilkington, R. Saltus, B. Schreckenberger, E. Thébault, F. Caratori, 2009. Emag2: A 2 arc-minute resolution earth magnetic anomaly grid compiled from satellite, airborne and marine measurements (Estados Unidos). *Geochem. Geophys. Geosyst.*. American Geophysical Union. Doi: 10.1029.
- Maus, S., 2010. An ellipsoidal harmonic representation of Earth's lithospheric magnetic field to degree and order 720. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 11, Q06015, doi:10.1029/2010GC003026.
- Orihuela, N., J. L. Cuevas (1993). Modelaje Sismogravimétrico de Perfiles Regionales del Caribe Central (Venezuela). *Rev. Fac. Ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, 8(1): 55-73.
- Pavlis, N., S. Holmes, S. Kenyon, J. Factor., 2008. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008 (Austria). General Assembly of the European Geosciences Union, Abril 13-18.

USGS, 2006. Shuttle Radar Topography Mission DTED® Level 1 (3-arc second) documentation. En línea:  
<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtmdted.html>