

# CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS

En el desarrollo de las investigaciones geofísicas de carácter regional, en Cuba se destacan tres etapas generales: una en el período anterior a 1959 y las dos restantes con posterioridad a 1959. La primera se caracteriza por la escasez de profesionales cubanos de la especialidad y la sistematicidad de los trabajos, que fueron realizados por compañías extranjeras con fines eminentemente económicos que respondían a intereses foráneos. Es necesario mencionar de manera especial las investigaciones sismológicas que se realizaron a mediados del siglo XIX por Andrés Poey, que fue pionero de este tipo de trabajo en América; y se debe considerar, además, el trabajo efectuado por una estación sismológica instalada en La Habana entre 1907 y 1908 por la Orden de los Jesuitas. El resto de los trabajos se efectuaron gracias al interés particular de diferentes profesionales, que contaron con poco o ningún apoyo oficial.

Las otras dos etapas muestran un progreso considerable y abarcan los períodos de 1960 a 1975 y de 1975 a 1985. El primero de estos períodos se distingue por la formación de los primeros geofísicos cubanos, con la colaboración de científicos y técnicos de los países socialistas, principalmente de la Unión Soviética. Al mismo tiempo, comienzan a realizarse estudios geofísicos de carácter regional planificados y sistemáticos. Algunos de sus logros más importantes son la elaboración de los mapas gravimétricos y aeromagnéticos de la República de Cuba a escala 1:500.000 (1963), el mapa de sismicidad de Cuba y el levantamiento magnético absoluto vectorial terrestre de la República de Cuba a escala 1:5.000.000 (1970), el modelo geólogo-geofísico de Cuba a escala 1:1.000.000, el basamento de la parte occidental de Cuba, según datos geofísicos (1974), la tectónica regional de Cuba y su plataforma marina y el levantamiento magnético absoluto marino de la República de Cuba (1975).

La tercera etapa se caracteriza por el desarrollo impetuoso de las investigaciones geofísicas de carácter regional, con la introducción masiva de las técnicas de computación, el desarrollo de las nuevas variantes metodológicas de investigación y el procesamiento e interpretación de los datos geofísicos, todo lo cual persigue objetivos científicos y temáticos precisos.

Entre sus resultados más importantes tenemos la clasificación de la variación solar diaria del campo geomagnético para el territorio de Cuba (1977), mapa geomagnético del Campo Anómalo Total para la República de Cuba a escala 1:1.000.000 (1980) y mapas de las intensidades sísmicas de Cuba por datos históricos a escala 1:1.000.000, actualizado en 1983, en 1985, mapas de los elementos del campo geomagnético normal y su variación secular, modelo de la constitución geológica profunda de Cuba, mapa de peligrosidad sísmica de Cuba a escala 1:2.000.000, microrregionalización sísmica de Santiago de Cuba a escala 1:25.000, la ejecución de levantamientos aerogeofísicos complejos y otros trabajos geofísicos regionales de apoyo a los levantamientos geológicos nacionales a escala básica y la construcción de la Red de Apoyo Aeromagnética. Se construyó la escala paleomagnética para los depósitos del Plioceno-Cuaternario y se obtuvieron los primeros datos acerca de la densidad del flujo calórico en el territorio de Cuba insular.

Los estudios de las características geofísicas cubanas a escala regional tienen un gran interés científico, ya que contribuyen al esclarecimiento de cuestiones teóricas muy importantes sobre el origen y el desarrollo de los arcos insulares, del cinturón ofiolítico, la tectónica y la constitución geológica profunda, el origen de los terremotos en zonas de sismicidad baja y acerca del comportamiento del campo geomagnético y sus variaciones temporales en bajas latitudes, así como otros muchos problemas de indudable repercusión económica y social.

#### Geomagnetismo regional

La especial posición geográfica de Cuba, cuya latitud magnética es muy superior a la geográfica como consecuencia de la existencia de la anomalía magnética del Brasil, el carácter subfocal de los observatorios y el carácter insular del país hacen interesantes algunas características del campo geomagnético normal, sus variaciones e irregularidades.

Los estudios acerca del comportamiento del campo geomagnético normal de Cuba y sus variaciones han permitido valorar que la descripción del campo magnético realizada por polinomios de tercer grado está afectada por su tectónica, encontrándose que el modelo que mejor se ajusta a las características del campo magnético en nuestro territorio para su descripción está basado en las mediciones del satélite MAGSAT.

La interpretación del campo geomagnético anómalo regional ha permitido solucionar algunos problemas tectónicos estructurales de la geología del Archipié-

lago Cubano y de su plataforma marina. Por el campo geomagnético se delimita muy bien la zona de sutura marginal, destacándose también las zona donde existen importantes fallas de rechazo horizontal. El campo geomagnético anómalo regional también refleja la presencia de secuencias sedimentarias bajo las potentes capas de origen oceánico. Esto se ve en la zonación de los cálculos de la profundidad de los topes de los cuerpos generadores de anomalías. Los valores de estos topes se agrupan en tres grandes grupos: de 1 a 3 km, de 4 a 6 km y de 10 a 12 km. Estos grupos se asocian al tope de las secuencias del arco de islas, al tope de la secuencia oceánica y al tope de basamento cristalino.

El examen del mapa geomagnético del Campo Anómalo Total muestra que como resultado del levantamiento marítimo modular ha sido posible ampliar considerablemente los límites del conocimiento del campo geomagnético anómalo y obtener una valiosa información complementaria, que ha permitido extender hacia el mar la investigación de las estructuras geólogo-tectónicas que se reflejan en el campo magnético anómalo. Así, la región anómala que se encuentra en la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río se prolonga (según los datos del levantamiento marítimo) hacia el Noroeste. La frontera septentrional de esta anomalía coincide con el borde de la parte del plegamiento del eugeosinclinal de la depresión del Norte de Cuba. La zona de intensas anomalías lineales entre la parte costera meridional de la provincia de Pinar del Río y la Isla de la Juventud indica la presencia en este lugar de una perturbación tectónica. Según los datos del levantamiento marítimo, el macizo de rocas metamórficas de Guamuhaya, que está limitado según datos geológicos hasta la línea costera, continúa en el mar.

Al Oeste de la extremidad meridional del Golfo de Guacanayabo comienza una cadena de anomalías sublatitudinales que apenas se perfila por los datos del levantamiento aeromagnético, cuyo centro se sitúa en el mar. Estas anomalías están asociadas a la profunda fractura de Bartlett, que divide la zona de corteza continental y suboceánica y se prolonga hacia el Oeste en la misma dirección y paralelamente a la elevación Caimán. Las anomalías que se encuentran en la región suoriental de Cuba coinciden espacialmente con las zonas de sismicidad. La variación solar diana de los valores del campo geomagnético producida por un sistema de corrientes vorticiales, formada en la ionosfera diurna y cuyo foco se localiza en latitudes tropicales, toma en Cuba aspectos interesantes. No sólo las diferentes formas que adquiere el sistema de corrientes altera la forma del paso diario, sino que también la posición del foco del sistema respecto al observatorio produce alteraciones en él. La posición de Cuba la hace una estación subfocal, en cuyo caso son posibles quince diferentes formas del paso diario. Resulta de especial interés la frecuencia de aparición de diferentes tipos en una estación subfocal, en dependencia de la estación del año.

Los trabajos realizados sobre las variaciones del campo geomagnético de alta frecuencia y las pulsaciones geomagnéticas —continuas e irregulares— han permitido precisar la dependencia de algunas de sus características en relación con la posición geográfica de estas latitudes.

#### Sismicidad

La Isla de Cuba, así como todo el archipiélago antillano, pertenece a la faja sísmica que en América Central se une a la gran zona sísmica del Océano Pacífico. En Cuba los terremotos son de dos tipos diferentes; el primero de ellos, llamado de entre placas, se presenta en los mares de la región suoriental y se caracteriza por una alta frecuencia de ocurrencia de eventos, incluyendo los de mayores magnitudes. Este fenómeno se explica por el hecho de que Cuba forma parte de la placa Norteamericana y su región suoriental se encuentra en la frontera con la placa del Caribe, donde ocurren movimientos relativos con velocidad de hasta 2 cm·año<sup>−1</sup>; y el segundo tipo de terremotos, llamado de interior de placa, se presenta en el resto del territorio y se caracteriza por una baja frecuencia de ocurrencia de eventos con magnitudes máximas inferiores a las del tipo anterior. Estos eventos se asocian a desplazamientos en estructuras tectónicas de menor orden y generalmente ocurren en sus intersecciones.

Los primeros reportes de terremotos perceptibles se remontan a 1551, año en el que se señala la ocurrencia de un sismo catastrófico en la Villa de Bayamo. Sin embargo, es en las cercanías de la ciudad de Santiago de Cuba, en sus mares adyacentes, donde se ubica la mayor cantidad de epicentros de eventos destruc-

tores (13 de grado VII de intensidad, 5 de grado VIII y 2 de grado IX, escala MKS). No menos importantes por las afectaciones producidas lo son otros terremotos reportados en el interior de la Isla, tales como el de San Cristóbal, de VIII grados, en 1880; Torriente-Jaguéy Grande, de VI grados, en 1982; Trinidad, de VI grados, en 1943. No obstante, con efectos menores se han señalado una gran cantidad de sismos perceptibles, distribuidos prácticamente en todo el territorio nacional. Es de destacar también el caso del terremoto del 7 de julio de 1852, que se reportó perceptible en puntos aislados de todo el Archipiélago y cuyo epicentro macrosísmico se ubica en la zona de las Islas Caimán.

Para el estudio de la peligrosidad sísmica asociada a ambos tipos de terremotos se han utilizado técnicas diferentes. La peligrosidad asociada a los terremotos de entre placas se basa en la regularidad del régimen sísmico, y con pequeñas variantes metodológicas es tratada aproximadamente igual por todos los especialistas. No ocurre así con la peligrosidad sísmica en la zona de baja actividad, ya que algunos especialistas realizan estimados de las magnitudes máximas que se pueden producir en las diferentes estructuras tectónicas y no existe una metodología universalmente aceptada.

En nuestro país, el problema de la estimación de la peligrosidad sísmica se abordó, para las zonas de entre placas, a través de una variante metodológica intermedia entre las escuelas soviética y norteamericana, que toma en consideración las particularidades de la ocurrencia de terremotos en las Antillas Mayores. La peligrosidad sísmica de las zonas de interior de placa se estimó partiendo del criterio de que los terremotos más fuertes solo ocurrirán en los nudos de alineamientos tectónicos. El nivel de actividad de estos nudos se calculó utilizando datos macrosísmicos con apoyo de datos geólogo-tectónico-geofísicos y los resultados de la interpretación de fotos cósmicas. Este tratamiento desigual del problema condujo a la obtención de estimados con mucho mayor grado de detalle para la región oriental. En la actualidad se trabaja en el registro de la actividad sísmica utilizando una red de estaciones sismológicas, con perspectivas de aumentar su número empleando estaciones telemétricas.

#### Trabajos sísmicos regionales

Los trabajos sísmicos regionales sirvieron en Cuba para valorar la constitución geológica de la corteza profunda y el manto superior. En este sentido, las investigaciones realizadas con el método de las ondas de cambio de los terremotos («TIERRA»), arrojan la presencia de una frontera de inversión (guía de onda) en casi todo el territorio nacional a profundidades de 5 a 7 km, a veces menor. Esta frontera de inversión se encuentra siempre entre dos fronteras directas relativamente fuertes: la primera, denominada F<sup>1</sup>, se encuentra a profundidades del orden de 10 km, mientras que la segunda se encuentra, por lo general, por encima de la frontera de inversión y a distintas profundidades, entre 1 y 5 km.

El método de refracción, con longitud de hodógrafos de hasta 55 km, apunta el registro a los 3-4 km de profundidad de una onda intensa que sale a primeras entradas con una velocidad aparente de 6,2 a 6,4 km·s<sup>−1</sup>, y que sigue casi sin interrupción en todo el territorio. Esta onda comienza a aparecer a los 15-20 km en las primeras entradas y no cambia hasta después de los 50 km, cuando entra en interferencia con una onda que emerge de mayor profundidad y que se ha relacionado con el basamento cristalino continental autóctono, bajo las secuencias oceánicas obducidas del arco de islas. La no aparición con anterioridad de esta onda profundísima se presume que se debe, entre otras causas, a la existencia de un gradiente de velocidad negativo a la profundidad entre 6 y 10 km.

Los datos de la sísmica de reflexión en perfiles regionales, aunque no permiten de forma general asegurar que por debajo de las secuencias del arco de islas existe otro piso sedimentario, muestran en algunas regiones de la costa norte la presencia de una zonación vertical del registro sísmico que permite suponer la existencia de un piso inferior sedimentario, poco deformado, debajo de una secuencia altamente plegada.

#### Gravimetría regional

La regionalización del campo gravimétrico evidencia la presencia de dos grandes zonas: al Norte se observa una zona de máximos y mínimos regionales alargados que

corresponden al miogeosinclinal; la franja del extremo más septentrional corre a lo largo de casi toda la costa norte y la zona de los cayos y en ella predominan los máximos, lo que se corresponde con el área de desarrollo de las secuencias carbonatadas, densas, parcialmente dolomitizadas; inmediatamente al Sur se extiende la zona de mínimo regional norte cubana sobre las secuencias carbonatadas plegadas aflorcentes al Norte de Cuba y el complejo ofiolítico. En los límites de este mínimo regional, de acuerdo con la interpretación combinada de otros datos sísmicos y de pozos, se puede esperar la presencia de los complejos sedimentarios debajo de las rocas del arco de islas a profundidades variables, entre 3 y 4 km.

Al Sur se observa otra zona, donde predominan, aflorando, las secuencias del arco de islas y en la que se observan tres zonas aproximadamente paralelas a la dirección de la isla, dos de máximos y una de mínimos. Esta zona de mínimos se extiende desde la Isla de la Juventud, pasando por el Escambray, hasta las inmediaciones del Golfo de Guacanayabo; aquí se acercan a la superficie, llegando a aflorar, las secuencias infrayacentes metacarbonatado-terriígenas del basamento plegado.

#### Geotermia regional

En la región Caribe-Antillana se han realizado unas pocas determinaciones de la densidad del flujo calórico terrestre, con excepción de un valor en Puerto Rico de 25 mW·m<sup>−2</sup> y otros datos del Golfo de México, el Mar Caribe, la Cuenca de Yucatán y la Fosa de Caimán. Las mediciones precisas de la temperatura en varios pozos de Cuba y las mediciones de la conductividad térmica de muestras de rocas características de las regiones estudiadas permitieron obtener las primeras determinaciones de la densidad del flujo calórico terrestre. Los valores obtenidos oscilan entre los 29 y los 65 mW·m<sup>−2</sup> y relevan una actividad geotérmica de muy baja a subnormal en las regiones occidental y central. Los valores más bajos se encuentran en la región de La Habana y el Oeste de Matanzas, entre los 30 y 35 mW·m<sup>−2</sup>.

Los valores de la densidad de flujo calórico se incrementan a ambos lados de estas zonas, alcanzando los 60 mW·m<sup>−2</sup> en Pinar del Río y los 55 mW·m<sup>−2</sup> en la Cuenca Central, siendo aún menores que la media mundial de 64,4 + 28,4 mW·m<sup>−2</sup> reportada para mediciones en tierra. Esta actividad geotérmica baja se corresponde bien con los datos reportados de las regiones marinas aledañas del Golfo de México, menos de 40 mW·m<sup>−2</sup>, y la plataforma de Bahamas-Florida, de 50 mW·m<sup>−2</sup>.

La comparación entre los datos de la densidad de flujo calórico en Cuba por regiones y el espesor de la corteza, estimado por otros métodos geofísicos, ofrece interesantes características acerca de la distribución de la temperatura en la profundidad.

#### Estudios paleomagnéticos

Los estudios efectuados hasta el momento se han dirigido a la construcción de la escala paleomagnética de los depósitos del Plioceno al Reciente de Cuba. Se han detectado las épocas de cambio de polaridad del campo geomagnético de Brunhes (0-700,0 ma), Matuyama (0,7-2,43 Ma) y Gauss (2,43-3,36 Ma) y los eventos Blake (105,0-120,0 ma), Jaramillo (800,0-950,0 ma), Gilsa (1,6-1,8 Ma) y Olduvai (1,93-2,18 Ma); Kaena (2,8-2,9 Ma) y Mammoth (2,93-3,06 Ma); bajo el tratamiento paleomagnético de formaciones sedimentarias carbonáticas y terrígenas con dataciones con fósiles y comparándolas con formaciones equivalentes del área Caribe-Antillana datadas radiométricamente.

La escala de polaridad cronológica obtenida se comparó con la escala de polaridad internacional de Cox y con la de Europa Central.

Esta escala se ha utilizado para la solución de varios problemas de la geología de ese intervalo geocronológico, como fueron el establecimiento de un esquema magneto-estratigráfico para ese intervalo, criterios de evaluación de la neotectónica y el glacioeustatismo y velocidad de sedimentación de algunos de estos depósitos. En la actualidad los trabajos se dirigen a la construcción de la escala paleomagnética del Cenozoico-Mesozoico y su utilización en la solución de problemas de la tectónica regional.

En el presente continúan desarrollándose las investigaciones geofísicas de carácter regional en Cuba, con una política científica que se propone dar una respuesta concreta a los problemas del desarrollo socioeconómico.