

VALIDACIÓN DE LOS MODELOS GRAVITACIONALES DE LA TIERRA DE ALTA RESOLUCIÓN PARA LA REPÚBLICA DE CUBA

GRAVITATIONAL MODEL OF THE EARTH OF HIGH RESOLUTION VALIDATION FOR THE REPUBLIC OF CUBA

Dr C. Reynaldo Pascual Acosta Gutiérrez. (1)

Dr C. Ernesto Rodríguez Roche. (2)

Dr C. Jorge García Díaz. (3)

1. Unidad Científico Técnica GEOCUBA de Investigación y Consultoría. rilda.piti@nauta.cu.
2. Unidad Científico Técnica GEOCUBA de Investigación y Consultoría. erroche@uct.geocuba.cu
3. Unidad Científico Técnica GEOCUBA de Investigación y Consultoría. jgarcia66@nauta.cu.

RESUMEN

Desde el año 2012 hasta la fecha, se han desarrollado varios modernos modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución. Para validar los modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución para las condiciones de la República de Cuba se seleccionaron: EGM2008 (2012), EIGEN-6C4 (2014), XGM2019e (2019) y SGG-UGM-2 (2020). La validación se efectuó a partir de la evaluación estadística de mil cuarenta y nueve (1049) diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas calculadas. A partir del análisis de los resultados de las evaluaciones estadísticas realizadas se concluyó que, el modelo XGM2019e es el de mayor exactitud y el que mejor se adapta a las condiciones de la República de Cuba. En correspondencia, se propone adoptarlo como modelo de referencia para continuar perfeccionando el modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de la República de Cuba.

PALABRAS CLAVE: Validación; Anomalías geométrica y gravimétrica de las alturas; Alturas elipsoidal y normal; Modelo Gravitacional.

ABSTRACT

From the year 2012 so far, several modern gravitational model of the Earth of high resolution has been developed. To validate the models gravitational of the Earth of high resolution for the conditions of the Republic of Cuba they were selected: EGM2008 (2012), EIGEN-6C4 (2014), XGM2019e (2019) and SGG-UGM-2 (2020). The validation was made starting from the statistical evaluation of thousand forty-nine (1049) calculated differences between the geometric and

gravimetric anomalies. Starting from the analysis of the results of the statistical carried out evaluations were concluded that, the XGM2019e model is that of more accuracy and the one that better adapts to the conditions of the Republic of Cuba. In correspondence, its propose to adopt it like model of reference to continue perfecting the model of the anomalies of the heights for the conditions of the Republic of Cuba.

WORDS KEY: Validation; Geometric and Gravimetric Anomaly of the heights; Ellipsoidal and Normal heights; Gravitational model.

Recibido:21/09/2023

Aprobado:15/11/2023

INTRODUCCIÓN

Usando las infraestructuras geodésicas, científicas, tecnológicas y técnicas creadas en la República de Cuba, las investigaciones y trabajos geodésicos para desarrollar el modelo de las anomalías de las alturas para determinar alturas normales con exactitudes desde veinte 20.0 cm hasta 1.0 cm; se realizaron desde el año 2014 hasta el año 2022 con resultados positivos.

Los resultados obtenidos condujeron a los modelos de las anomalías de las alturas CUBA2019 (Acosta Gutiérrez, R. P., 2019) y CUBA2020B (Acosta Gutiérrez, R. P., Jorge García D. y Ernesto Rodríguez R., 2022); empleando como modelo gravimétrico de referencia el Modelo Gravitacional de la Tierra EGM2008 desarrollado por Pavlis N.K, Holmes S.A, Kenyon S.C, Factor J.K (2012).

Las nuevas misiones gravimétricas por satélites: CHAMP, GRACE y GOCE, permitieron elevar la exactitud de las señales desde las longitudes de ondas larga hasta las de ondas medianas. Además, la existencia de las anomalías gravimétricas superficiales resultantes de la gravimetría terrestre, la altimetría satelital y la gravimetría aérea, así como las calculadas a partir del modelo residual del terreno; proveyeron de información gravimétrica de onda corta de alta resolución y exactitud, muy novedosa y con una contribución importante para la ciencia.

La combinación de los datos de la gravedad satelital con los datos de la gravedad superficial existentes, a partir del año 2012, permitió crear Modelos Gravitacionales de la Tierra de Alta Resolución (MGT-AR) para desarrollar modelos de las anomalías de las alturas (geoide) de alta resolución, unificar los sistemas de altitudes, determinar la dinámica de la superficie topográfica de los océanos y explorar la estructura interior de la Tierra con mayor eficiencia y exactitud.

Las características fundamentales de los MGT-AR, fueron presentadas en Pavlis N.K., et al., (2012), Förste C, Bruinsma S. L, Abrikosov O, Lemoine J-M, Marty JC, Flechtner F, Balmino G, Barthelmes F, Biancale R (2014), Zingerle, Philipp; Pail, Roland; Gruber, Thomas; Oikonomidou, Xanthi (2019) y Wei Liang, Jiancheng Li, Xinyu Xu, Shengjun Zhang, Yongqi Zhao (2020). Ellos son: EGM2008, EIGEN-6C4, XGM2019e y SGG-UGM-2.

Los MGT-AR, arriba relacionados, fueron seleccionados para: a) evaluar su exactitud y adaptabilidad para las condiciones del territorio del archipiélago cubano y b) identificar el más preciso y que mejor se adapte para proponerlo como modelo de referencia, sustituyendo el modelo EGM2008 en el proceso de perfeccionamiento continuo del modelo de las anomalías de las alturas.

La validación de los MGT-AR seleccionados, se ejecutó a partir del análisis de los resultados de la evaluación estadística de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas, calculadas para mil cuarenta (1049) estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS. Los procesos son novedosos y fueron empleados en Acosta Gutiérrez, R.P., Ernesto, R.R y Jorge, G.D. (2023) y a nivel internacional.

1. METODOLOGÍA

La metodología para efectuar la evaluación de la exactitud y adaptabilidad de los modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución a las condiciones del territorio del archipiélago cubano, consistió en la realización de los siguientes procesos:

- a) Transformación de las alturas elipsoidales obtenidas en el sistema de mareas libres, al sistema de mareas medias;
- b) Interpolación de las anomalías gravimétricas de las alturas de las estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS disponibles, para cada moderno MGT-AR seleccionado, usando la latitud, la longitud y la altura elipsoidal en el sistema de mareas medias;
- c) Cálculo de los valores de las anomalías geométricas de las alturas mediante la diferencia entre las alturas elipsoidales referidas al sistema de mareas medias y las alturas normales referidas al Datum Vertical local;
- d) Cálculo de los valores de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas para todas las estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS disponibles y cada uno de los modernos MGT-AR seleccionados;
- e) Evaluación estadística de las diferencias entre las anomalías geométricas y las anomalías gravimétricas de las alturas para cada uno de los modernos MGT-AR seleccionados;
- f) Validación de la exactitud y adaptabilidad de los modernos MGT-AR seleccionados para las condiciones del territorio del archipiélago cubano.

Para validar la exactitud y adaptabilidad de los modernos MGT-AR, se impuso como condición que las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas fueran iguales o inferiores a los 50.0 cm, eliminando las estaciones cuyos valores sean mayores.

Las anomalías gravimétricas de las alturas para todas las estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS disponibles y cada uno de los modernos Modelo Gravitacional de la Tierra de Alta Resolución seleccionados, se calcularán referidas a los sistemas geodésicos de referencia GRS80 y WGS84, en el sistema de mareas nulas incluyéndole el término de grado cero; utilizando los servicios de cálculo del Centro Internacional para los Modelos Gravitacionales de la Tierra (ICGEM, por sus siglas en inglés), hospedado en el Centro de Investigaciones para las Geociencias de Alemania (GFZ), <https://icgem.gfz Potsdam.de>; (Ince, E. S., et al., 2019).

La decisión para adoptar el Sistema Geodésico de Referencia a utilizar definitivamente y el moderno Modelo Gravitacional de la Tierra de Alta Resolución más preciso y que mejor se adapte a las condiciones de la República de Cuba, a proponer como modelo de referencia; se tomará considerando la evaluación estadística simple y la menor cantidad de estaciones eliminadas.

Los materiales empleados para efectuar la evaluación de la exactitud y adaptabilidad de los modernos modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución para las condiciones del territorio del archipiélago cubano, fueron los siguientes:

- Las coordenadas elipsoidales (latitud, longitud y alturas elipsoidal) de mil cuarenta y nueve (1049) estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS, referidas al Marco Terrestre Internacional de Referencia del año 2014 (ITRF2014);

- Las alturas normales referidas al Datum Vertical local en el sistema de mareas medias de mil cuarenta y nueve (1049) estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS disponibles incluyeron: doscientas cuarenta y una (241) de I orden, cuatrocientas cuarenta y cinco (445) de II orden, doscientas noventa y siete (297) de III orden y sesenta y seis (66) de IV orden y;
- Los modernos modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución: EGM2008, EIGEN-6C4, XGM2019e y SGG-UGM-2.

Las características generales de los modernos MGT-AR seleccionados, disponibles en el Sitio Web del Centro Internacional para los Modelos Gravitacionales de la Tierra (ICGEM), se encuentran resumidas en la Tabla 1. En la misma, mediante las letras mayúsculas A y G se representan los datos altimétricos y gravimétricos superficiales (terrestres, en embarcaciones marinas y en embarcaciones aéreas y, entre paréntesis, las misiones satelitales cuyos datos fueron utilizados.

Tabla 1 – Características fundamentales de los moderno modelos gravitacionales

N/O	Modelo	Año	Grado máximo	Datos empleados
1	EGM2008	2008	2190	A, G, (GRACE).
2	EIGEN-6C4	2014	2190	A, G, (GOCE), (GRACE), (LAGEOS) y EGM2008.
3	XGM2019e	2019	5540	A, G y (GOCO06s).
4	SGG-UGM-2	2020	2190	A, (GOCE), (GRACE) y EGM2008.

Como se aprecia en la Tabla 1, todos los modernos modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución utilizaron datos altimétricos, gravimétricos y satelitales. Los modelos EIGEN-6C4 y SGG-UGM-2, están influenciados por el modelo EGM2008.

Los detalles específicos sobre cada una de los modelos incluidos en la Tabla 1, pueden ser consultados en: Pavlis N.K., et al., (2012), Förste C., et al., (2014), Zingerle, Philipp., et al., (2019) y Wei Liang., et al., (2020).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Resultados

2.1.1 Transformación de las alturas elipsoidales

Las alturas elipsoidales obtenidas en el sistema de mareas libres (ML), fueron transformadas al sistema de mareas medias (MM) mediante la aplicación del valor de la corrección obtenida para la componente radial del desplazamiento permanente usando la misma expresión (1) utilizada en Acosta Gutiérrez, R.P., et al., (2023).

La evaluación estadística de las correcciones aplicadas a las mil cuarenta y nueve (1049) alturas elipsoidales, dio valores: mínimo igual a 3.2 cm, máximo igual a 4.0 cm, promedio igual a 3.5 cm y una desviación estándar media igual a 2.0 mm.

2.1.2 Interpolación de las anomalías gravimétricas de las alturas

Utilizando el ‘Servicio de cálculo’ del ICGEM, para el fichero texto ‘1049datos.DAT’ constituido por las coordenadas geodésicas elipsoidales: latitud, longitud y altura en el sistema de mareas medias de las estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS disponibles, definido por el usuario; se calcularon y descargaron los valores de las anomalías de las alturas para cada uno de los modernos Modelo Gravitacional de la Tierra de Alta Resolución seleccionados, referidas a los sistemas geodésicos de referencia GRS80 y WGS84 en el sistema de mareas nulas incluyéndoles el término de grado cero.

En la Figura 1, se muestra el mapa esquema con la representación de los puntos del fichero de texto ‘1049datos.DAT’ definido por el usuario, descargado del ICGEM.



Figura 1. Mapa esquema con la ubicación geográfica de los puntos del fichero ‘1049datos.DAT’ definidos por el usuario.

2.1.3 Cálculo de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas

Las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas, para las mil cuarenta y nueve (1049) estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS, se calcularon entre las anomalías geométricas obtenidas a partir de las diferencias entre las alturas elipsoidales referidas al sistema de mareas medias y las alturas normales y, las anomalías de las alturas interpoladas para cada uno de los modernos MGT-AR seleccionados, referidas a los sistemas de referencia geodésicos GRS80 y WGS84 en el sistema de mareas nulas incluyéndoles el término de grado cero.

2.1.4 Evaluación estadística de las diferencias obtenidas

La evaluación estadística de las diferencias obtenidas para los modelos XGM2019e, EGM2008, EIGEN-6C4 y SGG-UGM-2 seleccionados, referidas al Sistema Geodésico de Referencia GRS80; se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 – Evaluación estadística de las diferencias (GRS80)

Características	XGM2019	EGM200	EIGEN-	SGG-UGM-2
Valor mínimo	-0.465	-0.615	-0.397	-0.656
Valor máximo	2.533	2.525	2.354	2.427
Valor promedio	0.926	0.942	0.984	0.964
Desviación estándar media	0.178	0.292	0.253	0.242
Error estándar del	0.005	0.009	0.008	0.007
Total de estaciones	1049	1049	1049	1049

Al establecerse como máximo el valor de las diferencias obtenidas igual a 0.5 m, se obtuvieron los resultados indicados en la Tabla 3.

Tabla 3 – Valores inferiores y mayores que 0.5 m y porcentos

Características	XGM2019	EGM200	EIGEN-	SGG-UGM-2
Valores inferiores a 0.5	12	28	20	19
Por ciento.	1.14	2.67	1.91	1.81
Valores superiores a 0.5	1037	1021	1029	1030
Por ciento.	98.86	97.33	98.09	98.19

La evaluación estadística de las diferencias obtenidas para los modernos MGT-AR seleccionados, referidas al Sistema Geodésico Mundial WGS84; se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 – Evaluación estadística de las diferencias (WGS84)

Características	XGM2019	EGM2008	EIGEN-	SGG-
Valor mínimo	-1.398	-1.549	-1.331	-1.589
Valor máximo	1.599	1.592	1.421	1.493
Valor promedio	-0.007	0.009	0.051	0.030
Desviación estándar media	0.178	0.292	0.253	0.242
Error estándar del promedio	0.005	0.009	0.008	0.007

Total de estaciones	1049	1049	1049	1049
---------------------	------	------	------	------

Al establecerse como máximo el valor de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas obtenidas, igual a 0.5 m; fueron eliminadas diecinueve (19) estaciones: 5 de I orden, 11 de II orden, 1 de III orden y 2 de IV orden. La evaluación estadística simple realizada para las mil treinta (1030) diferencias resultantes, dio los resultados que se presentan en la Tabla 5, para cada uno de los modernos MGT-AR seleccionados e incluidos por columnas.

Tabla 5 – Evaluación estadística de los mil treinta (1030) valores de las diferencias resultantes (WGS84)

Características	XGM2019	EGM2008	EIGEN-	SGG-
Valor mínimo	-0.492	-0.944	-0.712	-0.736
Valor máximo	0.450	1.497	1.231	1.151
Valor promedio	-0.007	0.007	0.052	0.031
Desviación estándar media	0.129	0.268	0.226	0.212
Error estándar del promedio	0.004	0.008	0.007	0.007
Total de estaciones	1030	1030	1030	1030

Ahora, las cantidades de valores de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas inferiores y superiores a 0.5m, obtenidas; se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6 – Valores inferiores y mayores que 0.5 m y porcentos

Características	XGM2019	EGM2008	EIGEN-	SGG-UGM-
Valores inferiores a 0.5 m.	1030	957	993	997
Porciento.	100	92.9	96.4	96.8
Valores superiores a 0.5 m.	0	73	37	33
Porciento	0	7.1	3.6	3.2

Más ilustrativa, que la evaluación estadística dada en la Tabla 5, es la representación de la serie de los mil treinta (1030) valores de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas resultantes, dada en la Figura 2.

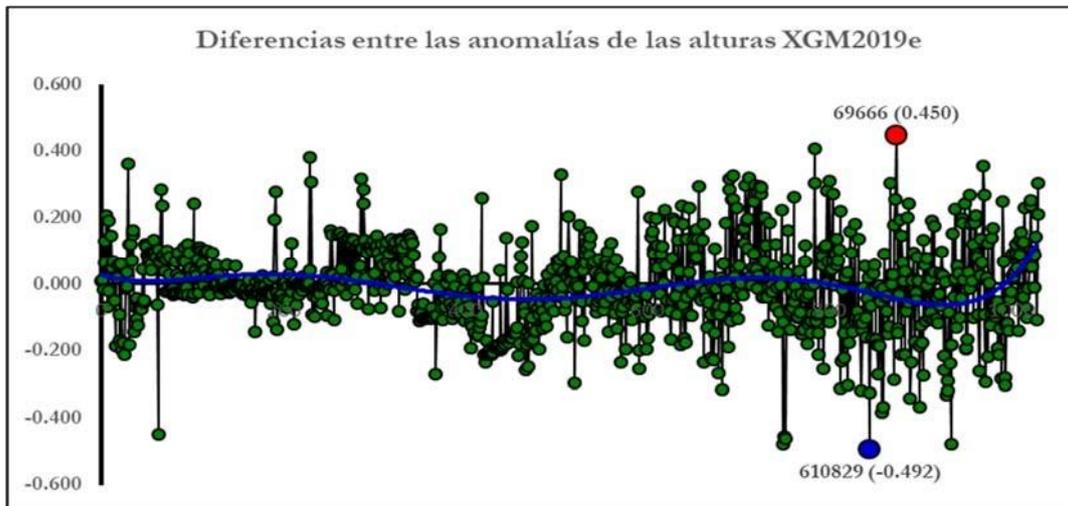


Figura 2. Representación de la serie de mil treinta (1030) diferencias.

En la Figura 2, los puntos de la serie se representan mediante círculos rellenos a color verde y los puntos de datos con valores máximo y mínimo con un círculo de mayor dimensión relleno a color rojo y a color azul respectivamente. En la misma, la línea de tendencia trazada mediante un polinomio de sexto grado, mediante una línea de color azul, como promedio está 7.0 milímetros por debajo del eje horizontal; considerado aquí como la posición del Datum Vertical local. Ella, de acuerdo con el valor de la desviación estándar media indicado en la Tabla 5, puede apartarse de la posición del Datum Vertical local hasta 12.9 cm en valor absoluto.

Para apreciar la distribución y variación espacial, en la Figura 3, se muestra el mapa esquema del modelo de las diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas (modelo de la distribución y variación espacial de la separación lineal) entre los Datum Vertical local y mundial de las altitudes del modelo XGM2019e para las condiciones de la República de Cuba.

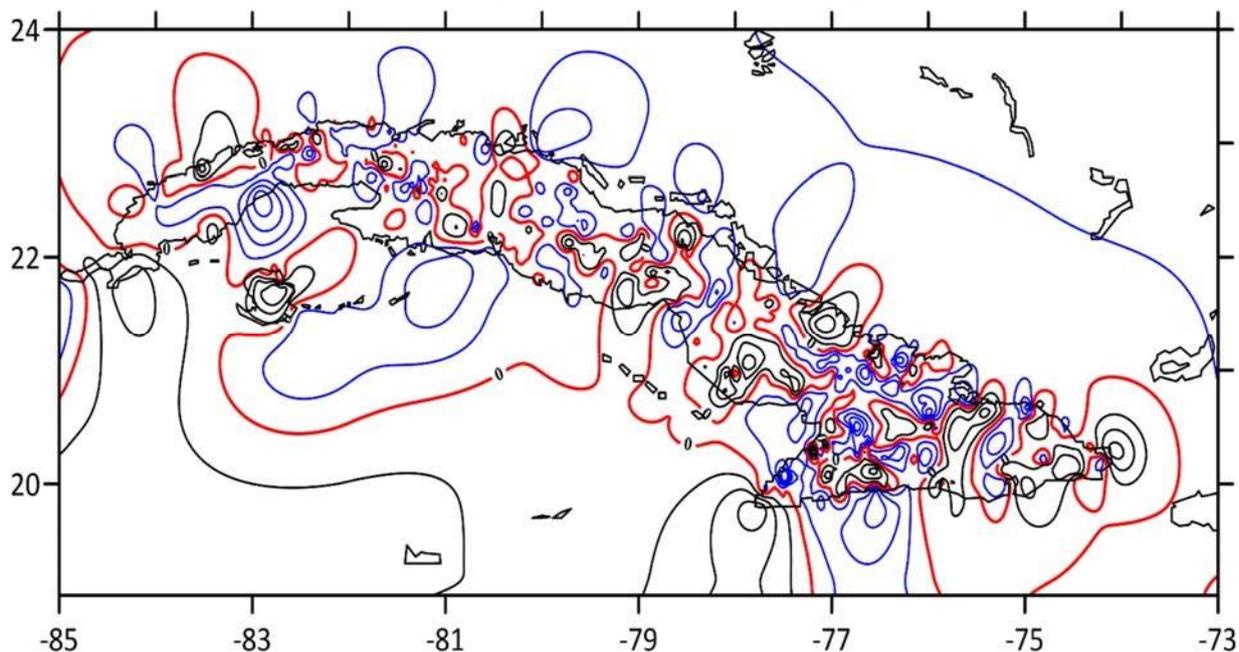


Figura 3. Mapa esquema de las mil treinta (1030) diferencias obtenidas para las condiciones de la República de Cuba.

En la Figura 3, las isolíneas de igual separación lineal, fueron trazadas cada 10.0 cm y es posible apreciar el alto nivel de aproximación alcanzado entre las superficies de las anomalías geométricas y las anomalías gravimétricas de las alturas, pues la isolínea de igual altura con valor igual a ‘cero’, trazada a color rojo, está presente en todo el territorio nacional. Sin embargo, se observa la existencia de ascensos de hasta 40.0 cm y descensos de hasta 45.0 cm respecto al Datum Vertical local; principalmente al Norte y al Sur de la provincia Artemisa y en la mayor parte de la provincia Granma. En el resto del territorio nacional los ascensos y descensos oscilan entre diez (10.0) y treinta (30.0) centímetros.

2.2 Discusiones

Como se puede apreciar en la Tabla 2, la cantidad de valores de diferencias superiores a los 0.5 m obtenidas para el Sistema de Referencia Geodésico GRS80 como promedio es de mil veintinueve (1029), el 98.12% del total consideradas. Es decir, para corregir los valores de las anomalías de las alturas en el proceso de creación del modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de Cuba, solamente quedarían disponibles veinte (20) estaciones GNSS coincidentes con estaciones de nivelación geométrica y nivelación GNSS. La densidad efectiva obtenida, igual a una estación por cada cinco mil kilómetros cuadrados, es totalmente insuficiente para desarrollar el modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de Cuba.

Al considerar los resultados obtenidos para el Sistema Geodésico Mundial WGS84, mostrados en las tablas 5 y 6; para el modelo XGM2019e ninguno de los valores de las desviaciones entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas obtenidas es superior a los 0.5 m. Sin embargo, para los modelos EGM2008, EIGEN-6C4 y SGG-UGM-2 la cantidad de valores superiores a los 0.5 m, fueron 73 (7.1%), 37 (3.6%) y 33 (3.2%) respectivamente.

Ahora, la cantidad de valores inferiores a los 0.5m representan el 98.2% del total de diferencias inicialmente consideradas y, la densidad efectiva obtenida igual a una estación por cada ciento siete kilómetros cuadrados ($1:107 \text{ km}^2$); es totalmente suficiente para desarrollar el proceso de corrección de los valores de las anomalías de las alturas interpoladas del Modelo Gravitacional de la Tierra XGM2019e, si es adoptado como modelo de referencia para la creación del modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de la República de Cuba.

Los resultados estadísticos obtenidos, al referir las anomalías de las alturas al Sistema Geodésico Mundial WGS84, demuestran que:

- a) La cantidad de diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas eliminadas, cuyos valores fueron superiores a los 0.5 m usando el WGS84, fue cincuenta y cuatro (54) veces inferiores a las eliminadas empleando el GRS80. Ello significa que, en el territorio del archipiélago cubano para el ITRF2014, las alturas elipsoidales están referidas al WGS84.
- b) De los cuatro Modelos Gravitacionales de la Tierra de Alta Resolución considerados, el modelo XGM2019e es el más preciso y el que mejor se adapta a las condiciones del territorio de la República de Cuba.

Al considerar la posición de la línea de tendencia de la serie de mil treinta diferencias entre las anomalías geométricas y gravimétricas de las alturas obtenidas, representada en la Figura 2, que está como promedio 7.0 mm por debajo del Datum Vertical local y, el comportamiento de la distribución

y variación espacial de las mismas observado en el mapa esquema dado en la Figura 3; se evidencia una buena adaptabilidad del modelo XGM2019e al territorio del archipiélago cubano.

CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación estadística de las diferencias entre las anomalías geométricas y las anomalías gravimétricas de las alturas (separación lineal entre los Datum Vertical local y mundial de las altitudes), obtenidas para los cuatro modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución seleccionados, la representación gráfica de la serie de dichas diferencias obtenidas utilizando el modelo XGM2019e, dada en la Figura 2, y el comportamiento de la distribución y variación espacial, reflejado en el mapa esquema dado en la Figura 3; demuestran con suficiente claridad que:

- 1) A partir de los resultados obtenidos, tanto en la evaluación estadística de las diferencias entre las anomalías geométricas y las anomalías gravimétricas de las alturas, como de la evaluación de la representación de la serie dada en la Figura 2 para las condiciones del territorio del archipiélago cubano, el modelo XGM2019e resultó ser el más preciso.
- 2) Según la evaluación estadística de las diferencias obtenidas usando el modelo XGM2019e se destaca:
 - a) Su posición promedio (-7.0 mm), por debajo de la posición promedio del Datum Vertical local;
 - b) La desviación estándar máxima es igual a 12.9 cm y;
 - c) El error estándar del valor promedio es igual a 4.0 mm.
- 3) El comportamiento de la distribución y variación espacial de las diferencias obtenidas, apreciado en el mapa esquema de la distribución y variación espacial de las mil treinta (1030) diferencias resultantes, representado en la Figura 3, evidencia una buena adaptabilidad del modelo gravitacional de la Tierra XGM2019e al territorio del archipiélago cubano y;
- 4) La exactitud y adaptabilidad del modelo gravitacional de la Tierra XGM2019e, propician sea el candidato ideal para sustituir al modelo gravitacional de la Tierra EGM2008.

En correspondencia con los resultados obtenidos, se propone al Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, adoptar el modelo gravitacional de la Tierra XGM2019e como modelo de referencia para perfeccionar el modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de la República de Cuba.

Lo anteriormente expresado, no excluye la necesidad de modernizar la Red Gravimétrica Estatal y elevar la densidad y calidad de los levantamientos gravimétricos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinita y sinceramente al Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba y a los coautores las contribuciones, las recomendaciones y el apoyo brindado para evaluar la exactitud y la adaptabilidad de los modernos modelos gravitacionales de la Tierra de alta resolución para las condiciones de la República de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Gutiérrez, R. P: Modelo de las anomalías de las alturas para las condiciones de Cuba. Estado actual, GEFA-02 GEF4-02 II Taller Límite de Placa y Deformación actual del Caribe:

Geodinámica y Sismicidad, X Congreso de Geofísica, en Memorias de la VIII Convención de Ciencias de la Tierra “GEOCIENCIAS 2019”, del 1 al 5 de abril, La Habana, Cuba, pág. 300-332.

Acosta Gutiérrez, R. P., Jorge García D. Ernesto Rodríguez R. Modelo de las anomalías de las alturas CUBA2020B. Geo019 en Memorias Convención y Feria Informática 2022, XII Congreso Internacional Geomática 2022, del 21 al 25 de marzo 2022, La Habana, Cuba, 2022, 6p.

Acosta Gutiérrez, R. P., Ernesto Rodríguez R. Jorge García D. Validación de los modelos gravitacionales de la Tierra para la República de Cuba. AGRI 020, ISBN: 978-959-247-189-4 en Memorias de la X Convención Agrimensura, X Congreso Agrimensura, Hotel TRYP Habana Libre, del 25 al 30 de septiembre de 2023, La Habana, Cuba, 10p.

Förste C, Bruinsma S. L, Abrikosov O, Lemoine J-M, Marty JC, Flechtner F, Balmino G, Barthelmes F, Biancale R (2014). EIGEN-6C4 the latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/icgem.2015.1>.

Ince E. S, Barthelmes F, Reißland S, Elger K, Förste C, Flechtner F, Schuh H. (2019) ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services and future plans. Earth Syst. Sci. Data 11:647–674. <http://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>.

Pavlis N.K, Holmes S.A, Kenyon S.C, Factor J.K (2012). The development of the Earth gravitational model 2008 (EGM2008). Journal Geophysical. Research. 117: B04406.

Wei Liang, Jiancheng Li, Xinyu Xu, Shengjun Zhang, Yongqi Zhao. (2020) A High-Resolution Earth’s Gravity Field Model SGG-UGM-2 from GOCE, GRACE, Satellite Altimetry, and EGM2008. Geodesy and Survey Engineering.

Zingerle, Philipp; Pail, Roland; Gruber, Thomas; Oikonomidou, Xanthi: The experimental gravity field model XGM2019e. GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/ICGEM.2019.007>.