



# INFORME TÉCNICO SOBRE LA ADOPCIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA GEODÉSICO NACIONAL SIRGAS-ECUADOR Y OFICIALIZACIÓN DE LOS 7 PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS PSAD 56 Y SIRGAS.

## Sumario

1. ANTECEDENTES .....	2
2. DESARROLLO.....	2
2.1. Sistemas de Referencia Geodésicos.....	2
2.2. La adopción de un Sistema de Referencia Geocéntrico en Ecuador .....	6
2.3. El terremoto del 16 de abril de 2016 .....	8
2.4. Parámetros de transformación entre PSAD56 y WGS84 .....	11
2.4.1. Ley de Cartografía Nacional: .....	11
2.4.2. Transformación entre Sistemas de Referencia Geodésicos .....	11
2.4.3. PSAD56 y situación actual de los Sistemas de Referencia Geodésicos en Ecuador .....	12
3. CONCLUSIONES.....	14
4. RECOMENDACIONES .....	15



## 1. ANTECEDENTES

- Resolución No 2013-003-IGMf del 26 de abril de 2013 en uno de los considerando señala que “El Ecuador desde el año 2001 inicia el proceso para la adopción del Sistema de referencia Geocéntrico para América del Sur –SIRGAS-, el cual define y establece un sistema geocéntrico para el continente; y, un datum geocéntrico y un datum vertical unificado”
- Resolución No 2016-005-e-1 del 01 de septiembre 2016, el Art. 3 señala que “Técnicamente, el IGM a través de la Red de Monitoreo Continuo (REGME) mantiene actualizado el Marco de Referencia Geodésico del país, brindando un soporte técnico científico, así como el análisis y procesamiento de datos de las Estaciones de Monitoreo continuo que están enlazadas a la Red Continental SIRGAS”
- Informe técnico para la adopción del Marco Geodésico de Referencia Nacional SIRGAS-ECUADOR, de fecha 01 noviembre de 2011.

## 2. DESARROLLO

### 2.1. Sistemas de Referencia Geodésicos

Los sistemas de referencia geodésicos clásicos fueron utilizados antes del desarrollo de la técnica de posicionamiento por satélite (Global Navigation Satellite System - GNSS), donde las medidas, a excepción de las distancias geométricas, deben realizarse materializando físicamente la vertical astronómica del lugar. Estos sistemas que tienen origen topocéntrico y son válidos para una determinada región, se materializan mediante un punto de origen (datum), en el cual, por definición, el geoide y el elipsoide se consideran coincidentes. Las coordenadas geodésicas son transportadas desde el datum mediante la observación de ángulos y distancias, utilizando para esto, expresiones matemáticas que provienen de la geometría elipsoidal.

Por su naturaleza, los Sistemas de Referencia Geodésicos Clásicos, son válidos para una determinada región y provocan la incompatibilidad de productos cartográficos referidos a sistemas diferentes.

El desarrollo de la técnica de posicionamiento satelital, trajo consigo las herramientas necesarias para la materialización de un Sistema de Referencia Geodésico Global. Es así que durante las décadas de los 70 y 80, el sistema TRANSIT marcaba el inicio de la técnica que revolucionaría los métodos geodésicos. El sistema TRANSIT consistía en el rastreo de 7 satélites (localizados a 1000 km de altura sobre la superficie terrestre) mediante la estimación de distancias (observador - satélite) basada en el efecto Doppler.

Posterior al sistema TRANSIT, surge NAVSTAR-GPS, el cual es un sistema de radionavegación desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. El



sistema fue declarado operacional el 27 de abril de 1985 cuando contaba con 24 satélites en órbita. El objetivo principal del sistema es la determinación instantánea de la posición de un usuario en cualquier lugar de la Tierra, independientemente de las condiciones atmosféricas, en un referencial global y homogéneo, con base a la medida de distancias. Estas distancias son denominadas pseudo distancias debido al no sincronismo entre el reloj del usuario y los relojes de los satélites, el cual aparece como una incógnita adicional en el problema a ser resuelto (Galera Monico, 2007).

El mismo principio utilizado por el sistema NAVSTAR-GPS fue replicado por otros países, los cuales han establecido sus propios sistemas de posicionamiento satelital. Entre estos sistemas tenemos GLONASS de Rusia, Galileo de la Unión Europea, Beidou/Compass de China e IRNSS de India. Actualmente gran parte de receptores GNSS tienen la capacidad de recibir señales de satélites pertenecientes a diferentes constelaciones, lo cual, potencializa el desempeño de la técnica.

Las coordenadas (posiciones) de un usuario, obtenidas mediante la técnica de posicionamiento satelital, están necesariamente referidas a un Sistema Geodésico de Referencia geocéntrico, definido por la orientación de una terna de ejes cartesianos y la posición del geocentro (centro de masas terrestre incluyendo océanos y atmósfera). Este sistema, conocido como ITRS (*International Terrestrial Reference System*), constituye un conjunto de preceptos, convenciones y modelos requeridos para definir origen, escala, orientación y evolución temporal de un Sistema de Referencia Terrestre Convencional (*Conventional Terrestrial Reference System - CTRS*). El ITRS es un sistema de referencia ideal, definido en la Resolución No. 2 de IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*) adoptada en Viena en 1991 (IERS, 2013).

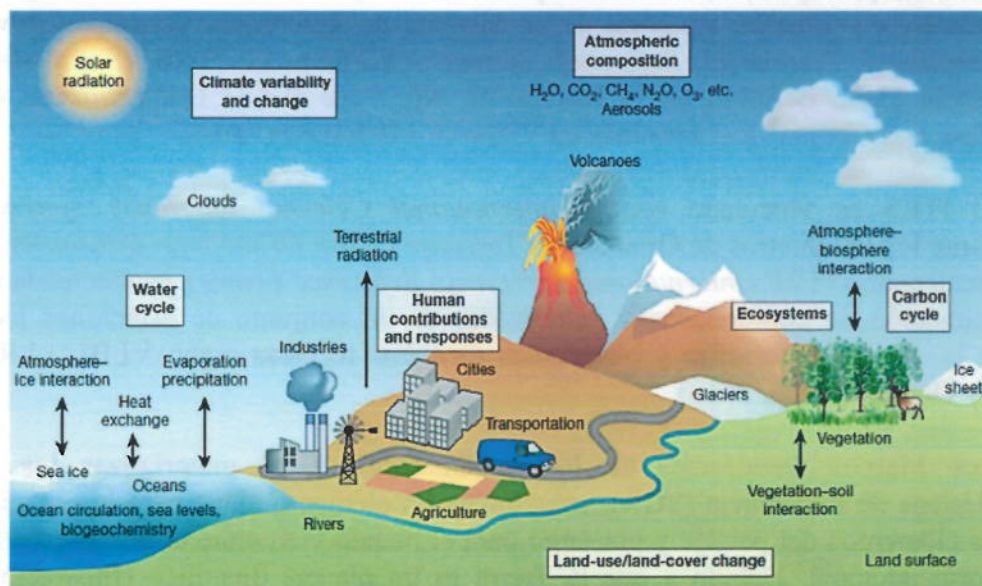
El ITRS es vinculado con el *International Celestial Reference System (ICRS)* mediante los Parámetros de Orientación Terrestre (*Earth Orientation Parameters - EOP*), y su realización ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), es efectuada mediante la estimación de coordenadas y velocidades de un conjunto de estaciones localizadas sobre la superficie terrestre y observadas mediante técnicas como VLBI, LLR, GNSS, SLR y DORIS (IERS, 2013).

Los Marcos Geodésicos de Referencia (MGRs), al materializar los Sistemas Geodésicos de Referencia (SGR), constituyen un elemento clave para la espacialización de los elementos del paisaje y por tanto para el mapeo y en general la representación del territorio nacional. Debido a que la Tierra es un planeta dinámico (Ilustración 1), los Marcos de Referencia Geodésicos requieren ser sometidos a un monitoreo constante y, en condiciones particulares, a eventuales actualizaciones. En este sentido y considerando los efectos del terremoto del 16 de abril de 2016, evidenciados sobre la infraestructura geodésica del país, surge la necesidad de actualizar el Marco Geodésico de Referencia para el Ecuador. Las estaciones GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de monitoreo continuo permiten registrar, con precisiones milimétricas, las posiciones y la geodinámica asociada a los lugares en los cuales estas han sido instaladas. De esta forma, es posible caracterizar a cada estación en función de cuatro dimensiones fundamentales ( $X, Y, Z, t$ ), es decir su coordenada tridimensional referida a un Sistema de Referencia Geodésico Global y su variación en el tiempo. Adicionalmente, las estaciones de monitoreo continuo son utilizadas para el posicionamiento relativo, el cual se basa en la ejecución de correcciones

diferenciales en la posición de receptores GNSS. Estas correcciones, necesarias para eliminar errores intrínsecos a la técnica de posicionamiento satelital, son realizadas mediante el establecimiento de líneas base que vinculan al receptor localizado en una posición desconocida con receptores asociados a coordenadas conocidas y referidas al Marco de Referencia Geodésico Oficial.

Según Rotchater, et al. (2009), las redes GNSS globales deben cumplir con un rol multipropósito, de esta forma atienden algunas funciones fundamentales para la observación de los fenómenos y procesos que se desarrollan en el planeta, entre las cuales se pueden mencionar:

- Realización, monitoreo y mantenimiento del Marco Geodésico de Referencia Global.
- Densificaciones regionales del Marco de Referencia Global.
- Monitoreo de tectónica de placas y deformaciones.
- Monitoreo de desplazamientos después y durante eventos sísmicos (sismología GNSS). Adquiriendo información adicional de la magnitud del evento sísmico y procesos de ruptura asociados.
- Monitoreo atmosférico en tierra (tropósfera e ionósfera).



**Ilustración 1:** Procesos dinámicos en el Sistema Tierra

**Fuente:** <https://www.gfdl.noaa.gov/earth-system-model/>

Los marcos de referencia en la actualidad están siendo definidos con mucha precisión a través de las estaciones permanentes instaladas por todo el planeta, las que reciben en forma continua datos provenientes de las constelaciones de satélites NAVSTAR y GLONASS. El Sistema se lo denomina por sus siglas en inglés GNSS (*Global Navigation Satellite System*), y las estaciones permanentes son las que materializan los marcos de referencia a nivel mundial, como por ejemplo la Red SIRGAS Continental.

La REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo de Ecuador) (Ilustración 2), materializa el marco geodésico de referencia oficial de Ecuador, y está vinculada a la red de estaciones GNSS mantenida por el IGS (*International GNSS Service*), con aplicaciones a escala regional y global.



Ilustración 2: Estaciones de la REGME  
Fuente: IGM

La REGME (Ilustración 3) se encuentra compuesta por 45 estaciones, de las cuales 30 pertenecen al IGM y el restante a otras instituciones.

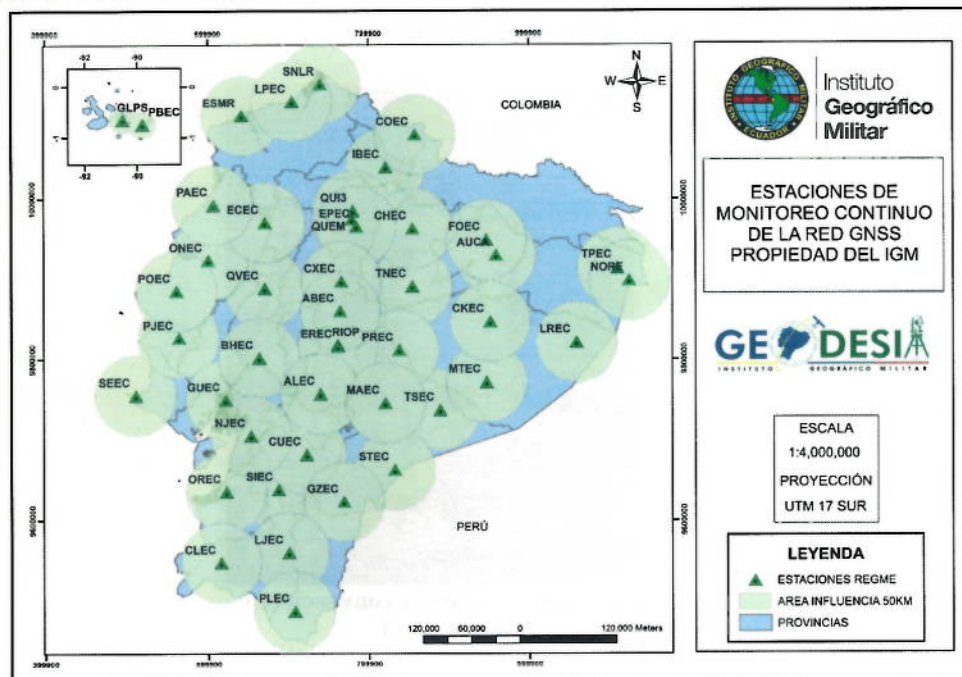


Ilustración 3: Distribución de las estaciones de la REGME  
Fuente: IGM

## 2.2. La adopción de un Sistema de Referencia Geocéntrico en Ecuador

En el artículo titulado: "*Análisis de la Red Nacional Pasiva enlazada al Sistema de Referencia SIRGAS95 y su evolución hacia la nueva infraestructura soportada por la red GNSS de monitoreo continuo de Ecuador*", Cisneros D. (2013) desarrolla los aspectos históricos de la cartografía en Ecuador, describiendo también la evolución desde el marco de referencia clásico al marco de referencia geocéntrico. En este contexto, se considera relevante presentar en este informe un extracto del mencionado artículo, con el objeto de exponer y clarificar las circunstancias en que Ecuador adoptó un marco geodésico de referencia geocéntrico (i.e. SIRGAS95):

*El 11 de abril de 1928, el Dr. Isidro Ayora quien para entonces cumplía las funciones de presidente de la República, crea el Servicio Geográfico Militar (SGM) con el objetivo de que la institución se encargue de la elaboración de la cartografía nacional.*

*La generación de cartografía, implica la disponibilidad de una referencia espacial (i.e sistema, datum), es así que el SGM inicia los trabajos cartográficos a nivel nacional considerando como origen de coordenadas el vértice de Riobamba, el cual formaba parte de la red triangular medida por la Misión Francesa en 1906. Esta red estaba compuesta por 15 vértices materializados por pilares de concreto de 1 m de alto x 0.6 m de ancho, y localizados sobre la cordillera oriental de la Sierra Central. Para aquel entonces, los trabajos geodésicos se realizaban mediante técnicas convencionales (Geodesia clásica) (Ilustración 4), que involucraban la medición de ángulos horizontales y verticales obtenidos por observaciones intervisibles, para lo cual en algunos casos era necesaria la construcción de torres mayores a 50 m de altura.*



**Ilustración 4: Geodesia convencional**  
Fuente: IGM

*A finales de la década de 1960, la consecución de las campañas de campo da paso a la Red Geodésica de Primer Orden, cuya Referencia Geodésica Nacional era el Datum Provisional de 1956 para América del Sur. De esta manera se adopta el PSAD56, como datum oficial del Ecuador, a partir del 6 de agosto de 1960.*



*Estos procedimientos convencionales de medición (geodesia convencional, medidas astronómicas, etc.) fueron totalmente compatibles en el pasado a través del uso de Sistemas de Referencia Locales; sin embargo, el incesable cambio tecnológico y científico, experimentó una verdadera evolución con la llegada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, a partir de 1980) y sus técnicas de medición, incluyendo la definición de un Sistema de Referencia homogéneo y compatible con este tipo de tecnología espacial.*

*La Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur celebrada en el año 1993 en Asunción, Paraguay; da inicio al Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, cuyo objetivo principal es homogeneizar el sistema de referencia oficial en todos los países de América.*

*El Ecuador, en común acuerdo con los demás países del continente americano, forma parte del proyecto SIRGAS a partir del año 1993, con el firme objetivo de determinar la Red Nacional GPS, enlazada al Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRS, sustentado técnicamente por el Sistema de Rotación Terrestre Internacional IERS, lo cual garantiza una permanente actualización del Marco de Referencia Geodésico Nacional.*

*Las actividades del proyecto SIRGAS a nivel nacional, inician a partir del año 1994, con la medición de tres puntos principales (Galápagos, Latacunga y Zamora); y paralelamente se desarrolla la materialización de la Red Nacional GPS del Ecuador – RENAGE. La RENAGE es una red pasiva compuesta por 135 mojones de concreto (vértices) distribuidos a nivel nacional, cuyas campañas de observación GPS se desarrollaron entre los años 1994, 1996 y 1998.*

El ajuste de la RENAGE concuerda con el ITRF94, época 1995.4; siendo que SIRGAS95 y sus correspondientes coordenadas geocéntricas cartesianas se encuentran descritas en el Report 73, Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame (Tremel H., Urbina R., 2000).

La RENAGE, constituye el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional y se encuentra compuesta por 135 estaciones pasivas distribuidas en el territorio nacional y materializado mediante mojones de concreto.

En el texto citado del artículo de Cisneros D. (2013), se evidencia que la adopción de un marco de referencia geodésico en Ecuador data del año 1994, año en el que Ecuador densifica en el país estaciones de la red SIRGAS con el objeto de integrarse a la red SIRGAS que a su vez constituye una densificación del ITRF.

En la Resolución No. 2013003-IGM-f de fecha 28 de abril del 2013, se habla de la Adopción del Marco de referencia SIRGAS-Ecuador citando lo siguiente:

*“Que, el Ecuador desde el año 2001 aplica el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur –SIRGAS-, el cual define y establece un sistema geocéntrico para el*



continente y establecer un datum geocéntrico y datum vertical unificado, y estableció para el cumplimiento de este fin los términos universales:

- *SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur;*
- *IERS: International Earth Rotation Service;*
- *ITRF: International Terrestrial Reference Frame; y,*
- *Datum Geocéntrico: Ejes coordenados basados en el sistema de referencia SIRGAS y parámetros de 31 elipsoide del sistema de referencia "Geodetic Reference System (GRS) of 1980 (GRS80)".*

*"Que, la Red Nacional Geodésica del Ecuador está enlazada al Sistema de Referencia para América del Sur (SIRGAS)."*

Adicionalmente existe el Informe técnico para la adopción del Marco Geodésico de Referencia Nacional SIRGAS-ECUADOR, de fecha 01 noviembre de 2011 del Ing. Patricio Zurita en donde se concluye que el IGM como ente rector de las actividades cartográficas adopta SIRGAS-ECUADOR.

### 2.3. El terremoto del 16 de abril de 2016

El evento telúrico del 16 de abril de 2016, con epicentro en el Cantón Pedernales afectó a la infraestructura geodésica del país, en sus componentes vertical y horizontal. Las repercusiones registradas en la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), como consecuencia del evento sísmico del 16 de abril de 2016 (Ilustración 5), evidencian una pérdida de consistencia en el Marco de Referencia Geodésico, la cual se traduce en variaciones en su posición (X, Y, Z) y en la pérdida de consistencia de sus velocidades (f(t)). La remediación de las estaciones mediante rastreo GNSS, el monitoreo de sus variaciones temporales y la realización de un nuevo ajuste de la red, luego de haber superado los efectos post-sísmicos, son, por tanto, los aspectos fundamentales para el establecimiento de un nuevo Marco de Referencia Geodésico consistente y útil para fines ingenieriles y científicos.



**Ilustración 5:** Efectos del terremoto del 16 de abril de 2016 sobre el litoral ecuatoriano  
**Fuente:** IGM





Los efectos del evento sísmico conllevaron a ejecutar acciones emergentes para la rehabilitación del Marco de Referencia Geodésico, en este sentido, y en base al convenio que mantiene el IGM con el IRD (Institut de Recherche pour le Développement) de Francia, se coordinó el procesamiento de la información proveniente de las estaciones de monitoreo continuo, con el objetivo de obtener soluciones ajustadas para la época pre-sísmica y pos-sísmica. Los trabajos fueron realizados en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional con la colaboración del Dr. Jean-Mathieu Nocquet (investigador del IRD), y entre las principales actividades realizadas se mencionan:

- Cálculo de las coordenadas de las estaciones de monitoreo continuo de la REGME ajustadas al ITRF 2008 (*International Terrestrial Reference Frame 2008*).
- Cálculo de la diferencia entre las coordenadas ajustadas (pre-sísmica y pos-sísmica).
- Generación de gráficos de repetitividad y series de tiempo semanal y combinada, generados para cada una de las estaciones de monitoreo continuo que estaban activas durante y después del evento telúrico. Adicionalmente se utilizaron los registros GNSS provenientes de las estaciones Pedernales y Portoviejo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

El análisis tenía como objetivo principal el conocer el desplazamiento inicial de las estaciones de monitoreo continuo, como producto del terremoto del 16 de abril de 2016. En este contexto, fueron contrastadas coordenadas de la semana 1892 (pre-sísmica) y 1893 (pos-sísmica). Del análisis realizado se pudo constatar que las variaciones en las coordenadas alcanzan valores máximos de 74 cm y valores mínimos de aproximadamente 1 cm (Tabla 1).

**Tabla 1: Terremoto del 16 de abril de 2016**

Magnitud	7.8 en la escala de Richter
Coordenadas presísmicas	SIRGAS95, época de referencia 1995.4
Desplazamiento máximo	0.7403 m (Pedernales) → 25 km del epicentro
Desplazamiento mínimo	0.0179 m (COEC) → 261 Km del epicentro
Desplazamiento medio	0.1291 m

La variación registrada en las coordenadas de las estaciones de monitoreo continuo que materializan el marco geodésico de referencia, implica la necesidad de que este sea actualizado para que se habilite su funcionalidad, de la cual se benefician usuarios con distintos intereses y perfiles. Ante la premura de la actualización del marco, la semana 1900 (5 al 11 de junio de 2016) fue seleccionada como época de referencia para el ajuste del nuevo marco de referencia (pos-sísmica), esta semana fue escogida debido a que las soluciones asociadas a la misma presentaban mayor estabilidad. De esta forma, el Marco de Referencia Geodésico provisional para Ecuador que entró en vigencia en septiembre del año 2016 es caracterizado por los siguientes aspectos:

- Marco Geodésico de Referencia SIRGAS – Ecuador.
- ITRF08
- Semana GPS: 1900.



- Época de referencia: 2016.43 (8 de junio de 2016).
- Solución de coordenadas: IGM-EC.
- Redes geodésicas consideradas: REGME (red GNSS activa con 27 estaciones de monitoreo continuo). Las referencias geodésicas de la RENAGE, y las estaciones de la REGME de la región oriental e insular, no fueron consideradas para el ajuste del nuevo marco de referencia.

La definición del Marco Geodésico provisional, permitió que trabajos de distinta índole (principalmente de ingeniería y generación de cartografía), puedan continuar siendo ejecutados, al disponer de una referencia espacial definida por un Sistema de Referencia Geodésico Global. No obstante, el Marco de referencia provisional no dispone de velocidades asociadas para cada una de las estaciones (campo de velocidades), ni de un modelo de velocidades que permita realizar transformaciones de épocas de referencia. La carencia de un campo y modelo de velocidades se debe a que la REGME iba a ser afectada por efectos pos-sísmicos y a que implicaría una dinámica anómala en las estaciones y en general una inestabilidad en las series temporales.

El Marco de Referencia provisional, por lo tanto, será consistente y útil, mientras la deformación de la red geodésica fundamental, producto de los efectos pos-sísmicos, no supere las precisiones mínimas requeridas para los trabajos en que el marco de referencia es utilizado como referencia. Conforme consta en la Resolución No. IGM-2016-005-e-1: “El tiempo aproximado de adopción del Nuevo Marco de Referencia dependerá de la estabilidad de las series de tiempo en la corteza terrestre; y también estará en función de la disponibilidad económica asignada para el proyecto.

En los artículos 3 y 4 de la Resolución No. IGM-2016-005-e-1, de fecha 01 de septiembre de 2016, se hace referencia a la adopción del marco de referencia post sísmico, como respuesta al terremoto ocurrido el 16 de abril. En los referidos artículos se menciona lo siguiente:

**Art. 3.-** *Técnicamente, el IGM a través de la Red de Monitoreo Continuo (REGME) mantiene actualizado el Marco de referencia Geodésico del país, brindando un soporte técnico-científico, así como el análisis y procesamiento de datos de las Estaciones de Monitoreo Continuo que están enlazadas a la Red Continental SIRGAS.*

*Sistema Actual:*

**Marco de referencia vigente:**

- SIRGAS 95
- ITRF 94
- Época de referencia 1995.4
- Redes Geodésicas: REGME (activa con 45 estaciones de monitoreo continuo) y RENAGE (135 mojones)

*Nota aclaratoria: Las coordenadas SIRGAS95 de la Red geodésica nacional REGME, RENAGE se garantiza su consistencia hasta el 15 de abril del 2016 (coordenadas Per-Sísmicas)."*

**Art. 4.-** Para la actualización Post-Sísmica se ha considerado:  
*Actualización Post-Sísmica del Marco de Referencia Nacional*

#### **Marco de Referencia Post-Sísmico:**

- SIRGAS-Ecuador
- ITRF08
- Semana GPS: 1900 (5 al 11 de junio de 2016)
- Época: 2016.43 (07 de junio de 2016)
- Solución de coordenadas: IGM – EC
- Redes Geodésicas: REGME (activa con 45 estaciones de monitoreo continuo).

*Nota aclaratoria: El marco geodésico de Referencia Nacional se basará únicamente en las estaciones de la Red Activa REGME."*

## **2.4. Parámetros de transformación entre PSAD56 y WGS84**

### **2.4.1. Ley de Cartografía Nacional:**

La Ley de Cartografía Nacional fue aprobada mediante Decreto Supremo 2686-B, Registro Oficial 643 de 4 de agosto de 1978. En la misma se especifican los lineamientos operativos para la elaboración de cartografía oficial en Ecuador, así como también se define a las instituciones responsables y los mecanismos para coordinar acciones con otras dependencias del estado. Adicionalmente, en el Reglamento a la Ley de Cartografía Nacional, de fecha 9 de diciembre de 1991, se detallan los aspectos técnicos que deben cumplirse en el marco de la generación de cartografía en el país.

En el artículo 18 del Capítulo II de mencionado Reglamento (De las Cartas y Mapas), se menciona que:

a) *"El elipsoide de referencia para el país es el internacional de Hayford de 1924, con sus parámetros:"*

$$a = 6378388$$

$$f = 1/297$$

*Punto Origen: El Datum para América del Sur, La Canoa, o el que el Ecuador lo adopte.*

Es así que, en base a lo especificado en esta ley y su correspondiente reglamento, la cartografía oficial en Ecuador debe estar referida al sistema PSAD56.

### **2.4.2. Transformación entre Sistemas de Referencia Geodésicos**

La transformación de coordenadas entre diferentes Sistemas de Referencia Geodésicos, implica el conocimiento de parámetros de transformación. Cuando se trata



de transformar desde un sistema clásico (como el PSAD56) a un sistema geocéntrico (como el ITRS), es usual estimar los parámetros de transformación mediante un ajuste por mínimos cuadrados. Existen varios modelos matemáticos que pueden ser usados como base para el ajuste para la estimación de parámetros de transformación. Entre estos se pueden mencionar: Bursa-Wolf, Badekas-Molodensky, modelo de cuatro parámetros y modelos polinómicos.

Debido a que, en Ecuador, se dispone de cartografía referida al PSAD56 y además éste consta en la Ley de Cartografía Nacional como el sistema oficial para la generación de productos cartográficos en el país, se manifiesta la necesidad de contar con los parámetros que permitan la transformación de coordenadas hacia sistemas globales. Es así que, en el año 2003 mediante la realización de una tesis de grado, desarrollada por el Ing. César Leiva, se calculan los 7 parámetros de transformación (tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala) entre los sistemas PSAD56 y SIRGAS (WGS84). Para el cálculo de los parámetros se utilizaron 42 puntos pertenecientes a la base de datos del IGM y que contaban con coordenadas conocidas en los dos sistemas de referencia en cuestión. Para la estimación de parámetros se usó el modelo matemático de Helmert, consiguiendo así una primera aproximación al cálculo de parámetros para transformación de coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95 (Leiva, 2003).

Adicionalmente, otros cálculos fueron realizados para la estimación de parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95. Leiva y Cañizares (2015), estimaron parámetros de transformación entre los mencionados sistemas, esta vez considerando el modelo Molodensky-Badekas, utilizando para esto un conjunto de 37 puntos geodésicos, y otro conjunto de 73 puntos como insumo para el ajuste. Los resultados de estos cálculos fueron comparados con los obtenidos por el IGM, el cual utiliza el modelo de Bursa-Wolf para la determinación de los 7 de parámetros de transformación entre los sistemas antes mencionados. En el trabajo de Leiva y Cañizares (2015), se concluye que el uso de diferentes modelos matemáticos para el ajuste por mínimos cuadrados, no conlleva a diferencias significativas en los resultados (siendo estos prácticamente iguales). La variación en el número de registros, sin embargo, se refleja en los parámetros obtenidos, lo cual hace referencia al hecho de que la distribución espacial y densificación de los puntos influye directamente en la calidad del ajuste para la estimación de los parámetros de transformación.

#### **2.4.3. PSAD56 y situación actual de los Sistemas de Referencia Geodésicos en Ecuador**

Los datos geodésicos utilizados para los cálculos antes mencionados, pertenecen al registro histórico del IGM. Las coordenadas referidas al sistema PSAD56 fueron obtenidas en base a técnicas compatibles con un sistema topocéntrico, y utilizando técnicas de observación que se diferencian considerablemente con las técnicas geodésicas utilizadas en la actualidad para el posicionamiento de puntos sobre la superficie física del planeta (conforme ya fue explicado anteriormente).

La obtención de nuevas coordenadas en el sistema PSAD56, implicaría la observación de ángulos y distancias basadas en un sistema astronómico local, utilizando las técnicas de la geodesia clásica (vigentes antes del desarrollo de la técnica de



posicionamiento por satélite) y referidas al datum de La Canoa (datum horizontal local). En este contexto, se debe considerar adicionalmente la pérdida de consistencia en las coordenadas referidas al sistema local, como efecto de la geodinámica local y regional. Nuevas observaciones realizadas considerando La Canoa como origen de coordenadas, deberían tomar en cuenta también la pérdida de consistencia en el datum horizontal local. La calidad de las coordenadas transformadas depende de los parámetros de transformación, y éstos a su vez dependen de la precisión de las coordenadas de los puntos comunes a los dos sistemas.

Sistema Global (GNSS): Alta precisión (cm ... mm)  
Sistema local (PSAD 56): (m ... dm)

La precisión de los parámetros de transformación obtenidos mediante los diferentes métodos disponibles, depende fundamentalmente de la calidad y distribución espacial de los datos utilizados, y, por lo tanto, el empleo de otro método no garantizaría una mayor precisión ni confiabilidad en los mismos. Cualquier nueva estimación realizada, deberá ser necesariamente realizada en base a los datos ya utilizados por el IGM y esto conllevaría a la obtención de resultados prácticamente iguales.

Por muchos años se han utilizado sistemas de referencia locales, los cuales se encuentran definidos por un elipsoide de referencia y un datum (origen) que se acoplan de mejor manera a la superficie de una región o país como es el caso del PSAD56, el cual tiene como elipsoide de referencia el *Internacional de Hayford* y su punto de origen es *La Canoa* ubicado en Venezuela.

En la actualidad, el amplio uso de la tecnología de posicionamiento satelital ha traído consigo la utilización de sistemas de referencia geocéntricos como es el caso de SIRGAS, el cual tiene como elipsoide de referencia el *GRS80* y origen geocéntrico.

De acuerdo al trabajo de César Leiva (2003) "*Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos de referencia PSAD56 y WGS 84 para el Ecuador*", el cálculo de estos parámetros se basó en el modelo matemático de Helmert, el cual expresa relación entre dos sistemas de referencia por medio de 3 traslaciones, 3 rotaciones y un factor escala conforme la Ecuación 1.

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{bmatrix} + (1 + \delta) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_x & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_x & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

Ecuación 1: Modelo matemático de Helmert

Los 7 parámetros de transformación resultantes del mencionado cálculo fueron los presentados en la Tabla 2:





**Tabla 2: Parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS (WGS84)**

Parámetros	$x_0$ (m)	$y_0$ (m)	$z_0$ (m)	$\epsilon_x$ (seg)	$\epsilon_y$ (seg)	$\epsilon_z$ (seg)	$\delta$ (ppm)
Valor	-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447
$\frac{1.96 * RMS}{\sqrt{n}}$	±1.900	±1.172	±1.698	±0.055	±0.0371	±0.062	±0.177

### 3. CONCLUSIONES

- La estimación de parámetros de transformación de coordenadas entre los sistemas PSAD56 y SIRGAS95 (WGS84) han sido realizados en base al histórico de registros geodésicos que dispone el Instituto y los resultados fueron validados replicando el cálculo mediante la utilización de distintos modelos matemáticos y mediante la comparación de coordenadas con información proveniente de puntos de validación.
- La obtención de nuevas coordenadas en el sistema local PSAD56 no es factible técnicamente, puesto que se requiere utilizar técnicas de geodesia clásica, obsoletas en la actualidad.
- Los 7 parámetros calculados se encuentran disponibles en el Geoportal del IGM ([http://www.igm.gob.ec/work/files/Param\\_Transf1.pdf](http://www.igm.gob.ec/work/files/Param_Transf1.pdf)) y cuyos valores son los siguientes:

7 Parámetros de Transformación del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS95 (WGS 84)							
Parámetros	$x_0$ (m)	$y_0$ (m)	$z_0$ (m)	$\epsilon_x$ (seg)	$\epsilon_y$ (seg)	$\epsilon_z$ (seg)	$\delta$ (ppm)
Valor	-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447
$\frac{1.96 * RMS}{\sqrt{n}}$	±1.900	±1.172	±1.698	±0.055	±0.0371	±0.062	±0.177

- Se ratifica el Marco de referencia nacional SIRGAS-ECUADOR conforme las resoluciones No 2013-003-IGMf del 26 de abril de 2013 y No 2016-005-e-1 del 01 de septiembre 2016
- El IGM brindará apoyo técnico a la comunidad de usuarios a través de acciones encaminadas a socializar el uso y adopción de SIRGAS-Ecuador mediante la generación de documentos técnicos y eventos de divulgación.



#### 4. RECOMENDACIONES

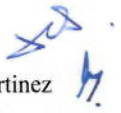
- Se recomienda que en base al presente informe, el IGM emita una resolución oficial, en la cual se haga referencia, a la ratificación de SIRGAS-Ecuador como el marco de referencia nacional y a los parámetros de transformación oficiales entre los sistemas PSAD56 y WGS84 (equivalente a SIRGAS).

#### JEFE DEL PROCESO DE GEODESIA

  
EDGAR F. PARRA C.  
MAYO. DE E.

Elaborado por: Ing. José Carrión

Elaborado por: Ing. Alejandro Martínez







## SIGLAS:

*CTRS - Conventional Terrestrial Reference System*  
*DV – Datum Vertical*  
*DVE – Datum Vertical Ecuatoriano*  
*DVG – Datum Vertical Global*  
*DVL – Datum Vertical Local*  
*EOP - Earth Orientation Parameters*  
*GNSS - Global Navigation Satellite System*  
*IAG - International Association of Geodesy*  
*ICRS - International Celestial Reference System*  
*IERS - International Earth Rotation Service*  
*IGM - Instituto Geográfico Militar*  
*IGSN71 - International Gravity Standardization Net (1971)*  
*IHRF – International Height Reference Frame*  
*IRD - Institut de Recherche pour le Développement*  
*ITRF - International Terrestrial Reference Frame*  
*IUGG- International Union of Geodesy and Geophysics*  
*MGR - Marco Geodésico de Referencia*  
*NMM – Nivel Medio del Mar*  
*PSAD56 - Provisional South American Datum - 1956*  
*PVCG – Problema de Valor de Contorno de la Geodesia*  
*REGME - Red GNSS de Monitoreo Continuo de Ecuador*  
*RENAGE - Red Nacional GPS de Ecuador*  
*RN – Referencias de Nivel*  
*RNFE – Red de Nivelación Fundamental de Ecuador*  
*SGM - Servicio Geográfico Militar*  
*SGR - Sistema Geodésico de Referencia*  
*SIRGAS - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*  
*SVR – Sistema Vertical de Referencia*  
*SVRE - Sistema Vertical de Referencia de Ecuador*  
*SVRG – Sistema Vertical de Referencia Global*

## Índice de Ilustraciones:

Ilustración 1: Procesos dinámicos en el Sistema Tierra .....	4
Ilustración 2: Estaciones de la REGME .....	5
Ilustración 3: Distribución de las estaciones de la REGME.....	5
Ilustración 4: Geodesia convencional.....	6
Ilustración 5: Efectos del terremoto del 16 de abril de 2016 sobre el litoral ecuatoriano ...	8





## Índice de Tablas:

Tabla 1: Terremoto del 16 de abril de 2016 .....	9
Tabla 2: Parámetros de transformación entre PSAD56 y WGS84.....	14

## BIBLIOGRAFÍA

- Blitzkow, D., De Matos, A., Alves Costa, S., 2018. Primeros esfuerzos para el establecimiento del IHRF en Brasil, in: Simposio SIRGAs 2018.
- Galera Monico, J., 2007. Posicionamento pelo GNSS. São Paulo.
- IERS, 2013. International Earth Rotation and Reference System Service [WWW Document]. URL <https://www.iers.org/IERS/EN/Science/ITRS/ITRS.html>
- Ihde, J., Sánchez, L., Barzaghi, R., Drewes, H., Foerste, C., Gruber, T., Liebsch, G., Marti, U., Pail, R., Sideris, M., 2017. Surv. Geophys.
- Leiva, C., 2003. Parámetros de transformación entre los sistemas geodésicos de referencia PSAD56 y SIRGAS95 (WGS84) para el Ecuador.
- Leiva, C., Cañizares, E., 2015. Bol. Contrib. Científicas del Prim. Congr. Int. Ciencias la Tierra y la Construcción.
- Sánchez, L., Denker, H., Pail, R., Lieb, V., Huang, J., Roman, D., Agren, J., Amos, M., Ihde, J., Barzaghi, R., Sideris, M., Oshchepkov, I., Blitzkow, D., Matos, A., Piñón, D., Avalos, D., De Freitas, S., Luz, R., 2017. A first approximation to the International Height Reference Frame (IHRF), in: Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. Kobe.
- Tocho, C., Vergos, G.S., 2016. Estimation of the Geopotential Value  $W_0$  for the Local Vertical Datum of Argentina Using EGM2008 and GPS/Levelling Data  $W_0$  LVD, in: Rizos, C., Willis, P. (Eds.), IAG 150 Years: Proceedings of the IAG Scientific Assembly in Postdam, Germany, 2013. Springer International Publishing, Cham, pp. 271–279.
- Zurita, P., 2011. “Informe técnico para la adopción del Marco Geodésico de Referencia Nacional Sirgas – Ecuador”

Quito, 19 de noviembre de 2019

