

Sistema y marco de referencia terrestre

Claudio Brunini

AGGO – CONICET y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

El Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRS¹) es un conjunto de definiciones, convenciones, constantes y modelos matemáticos que permiten establecer un sistema euclidiano tridimensional de ejes (X,Y,Z), co-rotante con la corteza terrestre, con origen en geocentro, eje Z cercano al polo norte de rotación y eje X cercano al meridiano de Greenwich.

El Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF²) es la materialización práctica del ITRS. Consiste en un conjunto de puntos monumentados sobre la superficie terrestre a los que se les asigna posiciones (X₀,Y₀,Z₀) en una época convencional (t₀) y velocidades (X',Y',Z') que, eventualmente, pueden variar con el tiempo (X'(t),Y'(t),Z'(t)).

Para calcular las posiciones y velocidades del ITRF se combinan resultados proporcionados por cuatro técnicas de medición: VLBI³, SLR⁴, GNSS⁵ y DORIS⁶, cuya operación es coordinada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG⁷) a través de cuatro servicios internacionales IVS⁸, ILRS⁹, IGS¹⁰ e IDS¹¹.

Cada servicio calcula regularmente una solución con las posiciones de todas sus estaciones usando las mediciones acumuladas en un intervalo determinado (p. ej., 24 hs en IGS o una semana en ILRS). El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS¹²) combina las soluciones acumuladas a lo largo de los años por los 4 servicios y genera el ITRF. A la fecha se han generado 13 ITRFs, el primer fue el ITRF 1988 y el más reciente el ITRF 2014.

Los ITRFs han mejorado por la acumulación de mediciones, por el aumento de estaciones y por la mejora de los métodos de cálculo. El ITRF 88 estuvo basado en VLBI y SLR y contó con 120 estaciones; el 91 incluyó a GNSS y el 94 a DORIS. ITRF 2014 cuenta con 1499 estaciones distribuidas en 975 sitios.

Cada técnica aporta fortalezas complementarias: el geocentro es materializado principalmente por SLR, la escala por SLR y VLBI, la orientación del eje X por VLBI, la orientación del eje Z por GNSS y la cobertura global por GNSS y DORIS.

Las posiciones de las estaciones monumentadas sobre la corteza terrestre varían con el tiempo a causa de diferentes procesos geofísicos. El de mayor magnitud es la deriva continental, que genera desplazamientos de las masas continentales y los lechos oceánicos, deforma la corteza y origina terremotos y erupciones volcánicas en las cercanías de las fallas activas.

Los terremotos provocan dos tipos de desplazamientos: un salto abrupto en la posición de la estación, denominado desplazamiento co-sísmico, y un lento reajuste de la

¹ International Terrestrial Reference System

² International Terrestrial Reference Frame

³ Very Long Baseline Interferometry

⁴ Satellite Laser Ranging

⁵ Global Navigation Satellite Systems

⁶ Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellites

⁷ International Association of Geodesy

⁸ International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

⁹ International SLR Service

¹⁰ International GNSS Service

¹¹ International DORIS Service

¹² International Earth Rotation and Reference Systems Service



Facultad de Ciencias
Astronómicas
y Geofísicas



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie

velocidad de desplazamiento, denominado relajación post-sísmica. Las velocidades de 123 estaciones en 117 sitios del ITRF 2014 se hallan afectadas por movimientos sísmicos.

La corteza terrestre también se deforma a causa de la presión ejercida sobre ella por diferentes cargas, p. ej.: agua de los océanos, aire de la atmósfera, agua superficial y subterránea, hielos, etc.

Si las cargas varían en el tiempo, las deformaciones también lo hacen. Se distinguen dos tipos de variaciones: las mareales, que responden a la marea astronómica; y no-mareales, que responden a otros fenómenos geofísicos. Las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol, combinadas con la fuerza centrífuga de la traslación terrestre, generan deformaciones de la tierra sólida (marea terrestre); y redistribuciones de las aguas oceánicas (marea oceánica) y el aire en la atmósfera (marea atmosférica). Las mareas oceánica y atmosférica producen, a su vez, deformaciones variables de la corteza terrestre. Ente las cargas no mareales se hallan los hielos que se derriten y vierten agua a los océanos, disminuyendo la carga de hielo y aumentando la de agua; el agua superficial y subterránea, etc.

Las soluciones calculadas por el IVS, el ILRS, el IGS y el IDS están libres de variaciones mareales, pero contienen las variaciones no-mareales. Estas últimas son representadas por el ITRF 2014 con cuatro formulaciones matemáticas: lineal (velocidad constante); periódica (coeficientes armónicos); co-sísmica (un salto); y post-sísmica (coeficientes de funciones exponenciales y logarítmicas).

El insumo básico para calcular el ITRF son las series temporales de soluciones proporcionadas por los servicios. ITRF 2014 acumuló 35 años de soluciones de VLBI, 32 años de soluciones de SLR, 21 años de soluciones de GNSS y 22 años de soluciones de DORIS. En forma resumida, el proceso de cálculo es el siguiente:

- Se aplican condiciones mínimas a todas las soluciones de SLR, provistas por el ILRS bajo la forma de ecuaciones normales débilmente condicionadas (*'loosely constrained'*).
- Se aplican condiciones de no traslación ni rotación global (*'no net translation, no net rotation'*) a las soluciones de VLBI, provistas por el IVS bajo la forma de ecuaciones normales libres.
- Se utilizan sin cambios las soluciones de GNSS y DORIS, provistas por el IGS y el IDS bajo la forma de ecuaciones normales con condiciones mínimas.
- Se calculan soluciones multi-anales para cada técnica resolviendo, cómo incógnitas las posiciones y velocidades de las estaciones, los parámetros de orientación de la Tierra, las variaciones periódicas anuales y semi-anales y los siete parámetros de transformación de similaridad entre la solución de cada época y la solución multi-anual.
- Los desplazamientos co-sísmicos y la relajación post-sísmica en las estaciones afectadas por terremotos se corrigen antes de calcular las soluciones multi-anales.
- Se identificaron y corrigieron o descartaron los datos discordantes y discontinuidades en las soluciones multi-anales de cada técnica.
- Se combinan las cuatro soluciones multianuales aplicando las vinculaciones locales y la igualación de velocidades en sitios co-localizados.

Como se ha visto, ITRF resulta del esfuerzo mancomunado y sostenido en el tiempo de la comunidad geodésica internacional. Su última realización, el ITRF 2014, proporciona la mejor referencia geodésica global para el estudio de numerosos problemas geofísicos y para la operación de muchas misiones espaciales.

Referencias

Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., Collilieux, X. (2016) ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 6109–6131, doi:10.1002/2016JB013098.



Facultad de Ciencias
Astronómicas
y Geofísicas



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie

- Drewes, H. (2011) How to Fix the Geodetic Datum for Reference Frames in Geosciences Applications? IAG Symposia, volume 136, pp. 67-76.
- Koalevsky, J, Seidelmann, P. K. (2004) Fundamental of Astrometry, Cambridge University Press, Cambridge, UK, ISBN 0 521 64216 7.
- Petit, G., Luzum, B. (2010) IERS Conventions (2010), IERS Tech. Note 36, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 179 pp., Frankfurt am Main, Germany.
- Sánchez L., Drewes H. (2020) Geodetic Monitoring of the Variable Surface Deformation in Latin America. IAG Symposia, Springer, doi 10.1007/1345_2020_91.



Facultad de Ciencias
**Astronómicas
y Geofísicas**



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie