

**NUEVA REALIZACIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA DE TIERRA DEL  
FUEGO.  
COMPARACIÓN CON OTROS MARCOS PRE-EXISTENTES**

**Mendoza, L.<sup>1</sup>, Gomez, M.E.<sup>1,3</sup>, Perdomo, R.<sup>1,3</sup>, Del Cogliano, D.<sup>1,3</sup>, Hormaechea, J.L.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – UNLP

<sup>2</sup> Estación Astronómica de Río Grande (CONICET-UNLP)

<sup>3</sup> CONICET

[catans@infovia.com.ar](mailto:catans@infovia.com.ar)

Resumen:

La provincia de Tierra del Fuego contó con el primer marco de referencia geocéntrico del país medido con GPS. En 1993, un emprendimiento conjunto de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas y el gobierno de la provincia hicieron posible el diseño, monumentación, medición y procesamiento de una red con una veintena de puntos.

En 1995, dicha red fue vinculada y reprocesada para referirla al marco nacional POSGAR94. Con posterioridad, también fue posible su transformación al marco POSGAR98.

Durante los años siguientes, y hasta el presente, la red fue periódicamente remedida, densificada y procesada con precisión creciente. En 1999 se detectaron por primera vez desplazamientos horizontales poniendo en evidencia el movimiento relativo actual entre las placas de Scotia y Sudamericana.

Recientemente se reprocesó toda la información en un marco de referencia coherente, utilizando observaciones de estaciones IGS, adoptando distintas estrategias para no deformar la red propia, pero de forma tal que el marco resultante, TDF08, coincida con el materializado por dichas estaciones.

Este marco fue utilizado para comparar con otras realizaciones existentes en la misma región y encontrar parámetros de transformación que permitieran utilizar en forma coherente toda la información disponible.

Palabras claves: geodesia, GPS, marco de referencia, Tierra del Fuego.

Abstract

Tierra del Fuego was the first Argentinean province which had a GPS geocentric reference frame. In 1993 a joint effort made by the Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas and the province government made the design, monument establishment, GPS measurement and processing possible.

In 1994 the existing GPS network was transformed into the national reference frame, POSGAR94. Then, it was also possible to transform it into POSGAR98.

The network has been measured almost each year up to the present, increasing the number of stations together with precision. The first horizontal displacements were detected in 1999 evidencing the relative movement between the Scotia and South American plates.

Recently all the data was reprocessed in a coherent reference frame involving IGS stations

and adopting different strategies to preserve the quality of the local network but making the new frame coincide with IGS.

This frame was used to compare with other local frames and to find the transformation parameters between them in order to use all the information coherently.

Keywords: geodesy, GPS, reference frame, Tierra del Fuego.

### **Introducción**

La provincia de Tierra del Fuego contó con el primer marco de referencia geocéntrico del país medido con GPS. En 1993, un emprendimiento conjunto de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP y la Gobernación de la provincia hizo posible el diseño, monumentación, medición y procesamiento de una red de 20 puntos, los que conformaron el marco TDF93. En 1995, fueron calculados los parámetros de transformación que permitieron integrar dicha red al marco de referencia nacional POSGAR94, adoptando el nombre de TDF95.

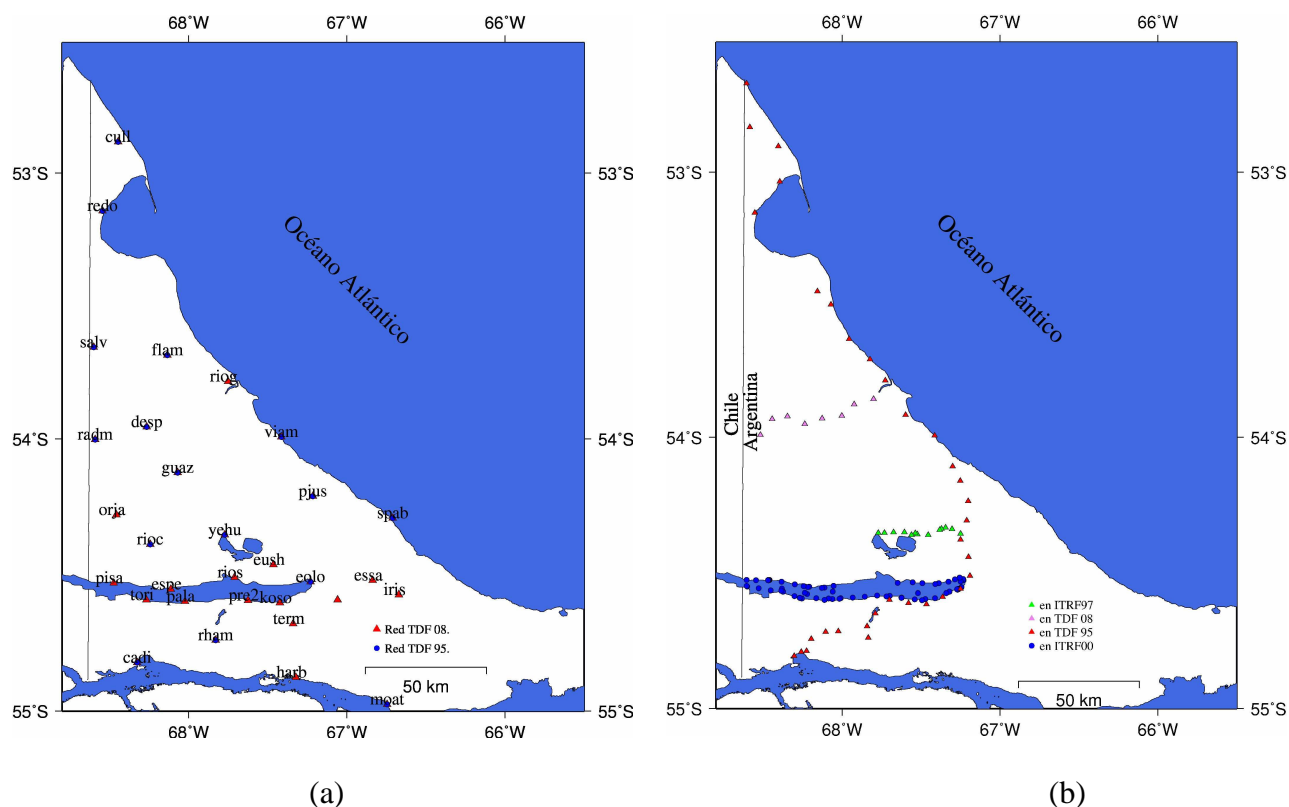
En 1999 se detectaron por primera vez desplazamientos horizontales poniendo en evidencia y cuantificando el movimiento relativo actual entre las placas tectónicas de Scotia y Sudamericana (Del Cogliano et al, 2000).

La red TDF95 ha sido periódicamente remediada, calculada con precisión creciente y densificada hasta alcanzar 31 sitios (fig. 1a), que cuentan en la actualidad con coordenadas y velocidades en el marco TDF08 (Mendoza, 2008).

Recientemente, todas las observaciones acumuladas entre 1993 y 2008, fueron reprocesadas con Bernesse GPS Software versión 5.0. En este procesamiento se utilizaron modelos y productos coherentes entre sí a lo largo de la serie temporal, como también consistentes con el marco IGS05. Éste fue introducido por medio de cinco estaciones, adoptando para ello la estrategia de condiciones mínimas con el propósito de no deformar la red propia, pero de forma tal que el marco resultante, denominado TDF08, resultara alineado con IGS05. Las cinco estaciones que se emplearon, con posiciones y velocidades en este marco, son: SANT, LPGS, ISPA, GOUG, OHI2.

Por otra parte, se desarrollaron campañas GPS con el objetivo de contribuir al desarrollo de un modelo local de geoides. Las primeras campañas se realizaron en el año 1998 y consistieron en el posicionamiento GPS de puntos acotados pertenecientes a una nueva línea de nivelación del IGM (Del Cogliano et al, 2001). Las coordenadas de los primeros puntos con GPS/nivelación incorporados quedaron expresadas en TDF95. No obstante, posteriores mediciones sobre puntos de nivelación fueron originalmente ajustados al marco ITRF97 y luego llevados, conjuntamente con el resto, a POSGAR98. Entre los años 2003 y 2005, también se incorporaron mediciones con boyas GPS sobre el lago Fagnano (Del Cogliano et al., 2007) cuyas coordenadas quedaron expresadas en ITRF00.

Por lo tanto, en lo que a GPS/nivelación se refiere, conviven varios marcos de referencia y diferentes épocas de observación. Para las últimas mediciones realizadas en 2008, se adoptó TDF08 (fig. 1 b).



**Figura 1:** a) En triángulos rojos, los puntos de la red geodésica TDF08 y superpuestos, aquellos de la red TDF95 (círculos azules); b) líneas de nivelación y los marcos originales en los que se encontraban sus coordenadas.

### Necesidad de unificación

Si bien los diferentes marcos citados en las secciones anteriores están claramente definidos, la diversidad de los mismos agrega complejidad al momento de establecer un geoide local, especialmente en lo relacionado con la definición del origen.

Más delicada aun es la situación si se quiere contrastar la información de GPS/nivelación con los modelos geopotenciales globales. Por estas razones consideramos necesario llevar toda la información GPS a un marco común, TDF08, compatible con los modelos globales recientes. El marco TDF08 materializa a IGS05, época 2000.0 en la Isla Grande de Tierra del Fuego.

Previo a la homogeneización de los marcos, presentamos a continuación, un estudio sobre las discrepancias entre los marcos coexistentes. En particular, lo hallado en relación a TDF95-TDF08, será determinante al momento de definir la transformación a efectuar.

### Análisis de consistencia entre marcos de referencia

Aquí se presenta un análisis del acuerdo entre los distintos marcos de referencia utilizados en Tierra del Fuego. Para ello se llevaron las coordenadas de los puntos TDF08, comunes con las redes geodésicas anteriores, a la época media de observación de cada campaña, mediante el modelo de velocidades obtenido por Mendoza (2008). Se efectuaron entre ellas, transformaciones de 3 y 7 parámetros. En el caso de los 3 parámetros sólo se consideraron traslaciones. El mismo análisis se realizó con respecto a las diferencias entre POSGAR98 y POSGAR 94, haciendo uso de los cuatro puntos en común que se ubican sobre la isla. Una última comparación se hizo entre TDF08 y el que llamaremos TDF98. Este último se obtuvo reajustando las observaciones que originaron la red TDF93, con el software original

(FILLNET) con que se habían procesado estos datos, al marco POSGAR98 materializado por los puntos HITO, VEGA y EARG. A diferencia de las transformaciones aplicadas hasta aquí, en este último caso se empleó la época 1995.4 para las coordenadas TDF08, que es la época de referencia de las coordenadas POSGAR 98 y no se utilizó el punto MUSH debido al desacuerdo que presentó este punto (~ 7 cm) entre el ajuste que lo incluye y aquel que no, proveniente de la comparación entre los marcos POSGAR.

Red1 a red2	<i>O-C ajuste de 3 parámetros</i>				Nro de ptos.	<i>O-C ajuste de 7 parámetros</i>			
	r.m.s. lat	r.m.s. lon	r.m.s. h	r.m.s. ajuste		r.m.s. lat	r.m.s. lon	r.m.s. h	r.m.s. ajuste
TDF93- TDF95	0.015	0.019	0.014	0.016	19	0.004	0.007	0.005	0.006
TDF93- TDF08	0.013	0.009	0.07	0.041	16	0.011	0.007	0.047	0.029
TDF95- TDF08	0.026	0.021	0.07	0.047	16	0.013	0.007	0.05	0.03
PG94- PG98	0.032	0.032	0.19	0.11	4	0.027	0.01	0.15	0.118
TDF98- TDF08	0.014	0.011	0.163	0.090	16	0.008	0.007	0.03	0.019

**Tabla 1:** Análisis estadístico de los residuos luego de las transformaciones de 3 y 7 parámetros entre los puntos comunes a las redes involucradas en cada caso. Todos los valores están expresados en metros.

En la tabla 1, se muestran los r.m.s obtenidos en cada coordenada, luego de los respectivos ajustes. De esta misma tabla, se puede observar un buen acuerdo entre las diferentes redes, excepto para POSGAR94-POSGAR98.

De la tabla 1, se aprecia el buen acuerdo que presentan las dos redes primarias de Tierra del Fuego (TDF93 y TDF95) respecto del marco TDF08, el cual tiene una calidad ciertamente mayor a la de estos dos.

Podría decirse que TDF98 es la que mejor se ajusta a TDF08, sin embargo, esto implica un costo adicional ya que requiere de una transformación de siete parámetros.

Por estas razones, teniendo en cuenta que nuestro interés reside en los puntos de GPS/nivelación, no se emplearon las coordenadas expresadas en POSGAR98, sino que se recuperaron las coordenadas en los marcos originales, TDF95 e ITRF97, y se las refirió al nuevo marco, TDF08.

Mientras en la presente sección el objetivo fue establecer las discrepancias que podrían existir entre un marco y otro, en lo que sigue nos centraremos en los marcos involucrados con los puntos de GPS/nivelación. En este caso, el interés se centrará en las transformaciones aplicadas a cada uno, para llevarlos al marco TDF08.

Las transformaciones pertinentes, son las que se describen en la siguiente sección, de acuerdo con el análisis comparativo mostrado en la tabla 1.

### **Transformaciones aplicadas**

En función de los marcos de referencia disponibles en las distintas líneas de nivelación (fig.

1b), la transformación aplicada no fue única, sino que estas se han establecido según el marco y la época de cada juego de coordenadas. Es así que para los puntos cuyas coordenadas estaban expresadas en TDF95, se aplicó una transformación de 3 parámetros que consistió en la siguiente traslación:

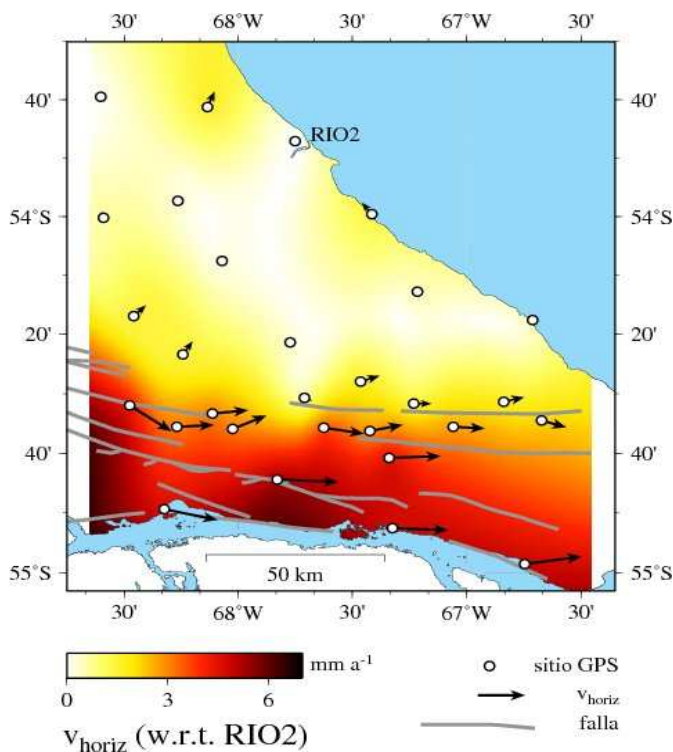
$$\Delta x = 0,667\text{m} \pm 0.011\text{m} \quad \Delta y = -1,057\text{m} \pm 0.035\text{m} \quad \Delta z = -0,311\text{m} \pm 0.034\text{m}$$

Estos valores son el resultado del ajuste entre la red TDF95 y la red TDF08 disponible en Tierra del Fuego y cuyo análisis se ha descripto anteriormente. En el caso de los puntos con coordenadas ITRF97, la obtención de coordenadas IGS05, materializada en nuestro caso por TDF08, no fue directa, sino que efectuaron tres transformaciones en el siguiente orden:

- 1- ITRF97 a ITRF00
- 2- ITRF00 a ITRF05
- 3- ITRF05 a IGS05

Los parámetros aplicados para las transformaciones entre estos marcos globales son los que figuran en el capítulo 4 de la Nota Técnica 32 del IERS a excepción de los últimos disponibles en el web mail (Ferland, 2006).

Finalmente, luego de llevar todas las coordenadas al marco TDF08, estas fueron reducidas a la época media utilizada para las boyas GPS, esta es 2003.0. Las transformaciones de época, se llevaron a cabo teniendo en cuenta la distribución de velocidades absolutas provenientes del marco TDF08. La figura 2 muestra, en cambio, la distribución de velocidades relativas a la estación RIO2. Se aprecia claramente, las velocidades de los puntos ubicados al sur, sobre la placa tectónica de Scotia, en relación a los ubicados al norte sobre la placa tectónica Sudamericana.



**Figura 2:** Mapa de velocidades horizontales estimadas con respecto a la estación RIO2 (Mendoza, 2008).

### Conclusión

Mediante el análisis de las redes geodésicas existentes y la aplicación de las transformaciones correspondientes, fue posible expresar las coordenadas de todos los sitios con GPS/nivelación de la Isla Grande de Tierra del Fuego, en un marco único. Para ello fue de gran importancia contar con un marco de referencia altamente preciso (TDF08) y el correspondiente modelo de velocidades.

Del análisis de las discrepancias entre marcos, debe resaltarse la calidad de las redes TDF93 y TDF95 en relación a TDF08. El ajuste presentado, en particular sobre la altura geodésica, es de pocos centímetros para la transformación de siete o tres parámetros.

### Referencias

- Del Cogliano D., R. Perdomo, J. L. Hormaechea, E. Olivero, J. Strelin and D. Martinioni. 2000. GPS detection of movements between SCO and SAM plates in the Argentinean part of Tierra del Fuego Island. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brasil.
- Del Cogliano D., J.L. Hormaechea, R. Perdomo, F. Galban, E. Lauría, G. Ramos 2001. Geoid Study in Tierra del Fuego. IAG Symposia. Volume 124. Vertical Reference Systems. Springer.
- Del Cogliano D., R. Dietrich, A. Richter, R. Perdomo, J. L. Hormaechea, G. Liebsch and M. Fritsche. 2007. Regional geoid determination in Tierra del Fuego including GPS levelling. Geologica Acta. In Press, Vol. 5.
- EARG-1995. Red Geodésica de Tierra de la Fuego. Vinculación con la red POSGAR.
- Ferland R., 2006. [IGSMail-5447]: Proposed IGS05 Realization. <http://igsb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2006/msg00170.html>
- McCarthy, D. and G. Petit. IERS Conventions 2003, IERS Technical Note No. 32. IERS Conventions Centre, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- Mendoza L. 2008. Densificación del Marco de Referencia Terrestre ITRF y determinación de movimientos de la corteza en la Tierra del Fuego. Resultados del procesamiento de 14 años de observaciones GPS. Tesis Doctoral.