

## EL TERREMOTO DE CHILE Y SUS CONSECUENCIAS GEODÉSICAS EN ARGENTINA

El terremoto ocurrido en el país vecino de Chile el 27 de febrero de 2010 ocasionó grandes daños materiales por ser uno de los sismos de mayor escala en los últimos años (8.8 en la escala de Richter), y se llegó a sentir en muchos lugares de la República Argentina, incluso las réplicas posteriores al gran sismo.

La corteza terrestre, de acuerdo a la teoría de las placas tectónicas, está conformada por placas que representan la parte más fina y fría de la Tierra (Litosfera).

Estas placas están sobre el manto terrestre y se mueven e interactúan entre sí produciendo deformaciones entre los límites de cada una de ellas.

Existen numerosos ejemplos que avalan esta teoría, pero en los últimos 15 años el uso de la tecnología GPS (Global Positioning System), permitió dimensionar actualmente esos movimientos y deformaciones.

Existen en Argentina y en el mundo redes de receptores GPS geodésicos instalados en forma permanente en lugares que permitan estar fijos a la Tierra, los mismos registran información proveniente de los satélites las 24 hs. del día, los 365 días del año.

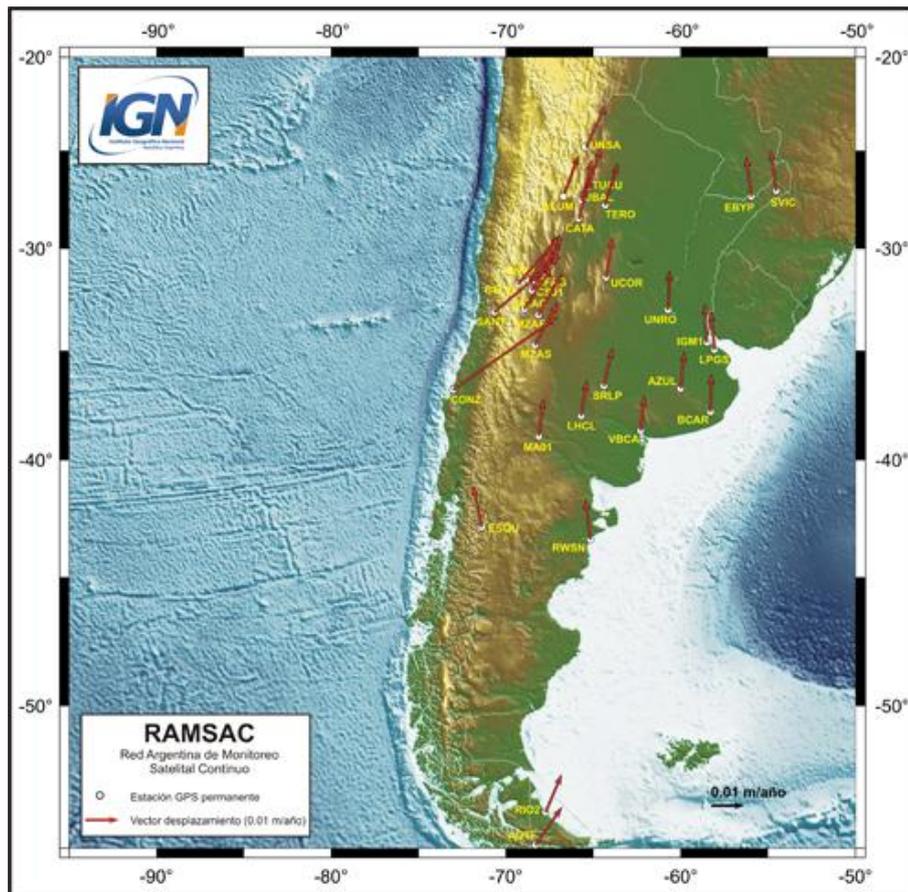
El procesamiento científico de los datos provenientes de los receptores GPS geodésicos instalados en Sudamérica y en Argentina en el marco de RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo, [www.ign.gob.ar/ramsac/introduccion](http://www.ign.gob.ar/ramsac/introduccion)), permite determinar variaciones de posición de las estaciones GPS permanentes con precisión milimétrica. De esta manera es posible determinar coordenadas precisas para cada estación y la variación de su posición en el tiempo.

Esa variación de las coordenadas de un punto en el tiempo, se materializa a través de vectores que simbolizan el desplazamiento del mismo en un año. Este corrimiento refleja en forma compuesta el desplazamiento de la placa junto con su deformación, es decir los movimientos de la misma producidos por la teoría de la tectónica de placas.

Para obtener estos resultados, el Instituto Geográfico Nacional procesa diariamente los datos de las estaciones GPS permanentes provenientes de RAMSAC, de las redes de todos los países de Sudamérica y del International Geodetic Service (IGS); este procesamiento se realiza también en el marco del proyecto SIRGAS ([www.sirgas.org](http://www.sirgas.org)).

Al procesar en forma continua los datos de las estaciones, se obtienen coordenadas precisas de cada una y a lo largo del tiempo se puede establecer la tendencia de desplazamiento. De esta manera se monitorea y actualiza el Marco de Referencia Geodésico Nacional, cuya definición y mantenimiento es responsabilidad del IGN.

En el siguiente mapa se muestran flechas (vectores), que representan la dirección y el tamaño del movimiento de las estaciones RAMSAC a lo largo del último año en el Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07:



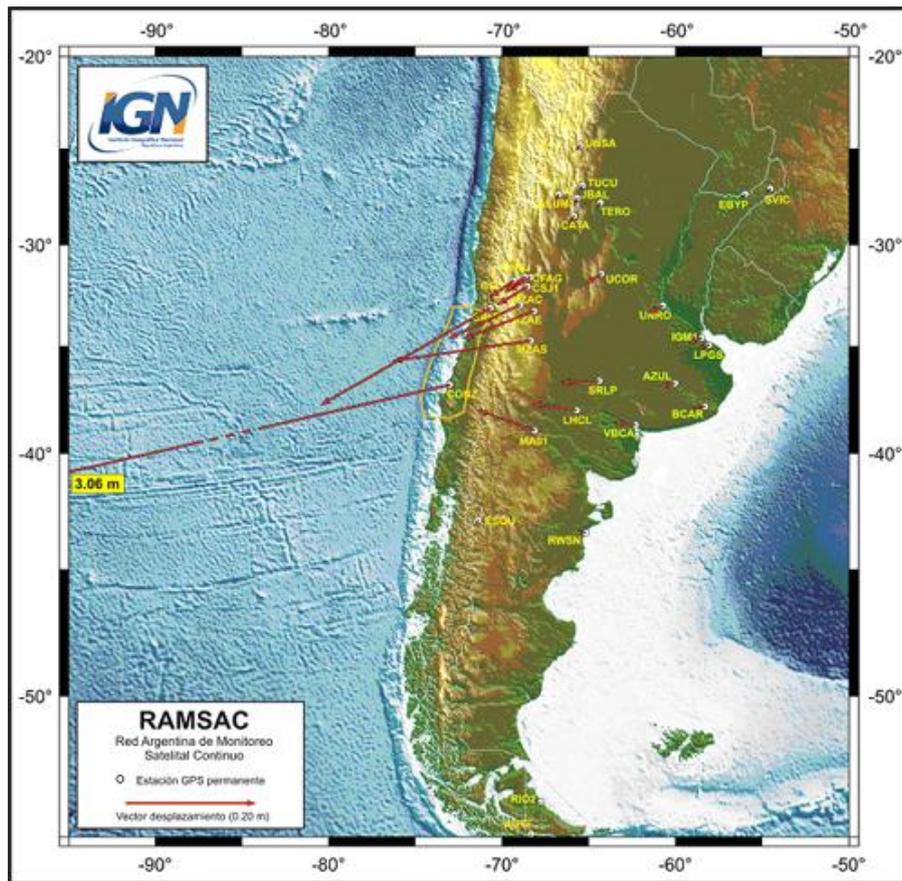
En base a la escala de los vectores, es posible diferenciar un mayor movimiento de las estaciones ubicadas en la zona de la Cordillera de los Andes respecto de las instaladas en la Región Este de Argentina. Esto se debe a los procesos orogénicos que se desarrollan en la zona de la cordillera, que hacen que la región sea de alta actividad sísmica.

Mientras no existan terremotos o sismos importantes en la región, en líneas generales se mantendrá la tendencia del movimiento de las estaciones GPS permanentes.

La tendencia se calcula con el procesamiento de los datos por un período no inferior a 2 años, de tal manera de poder estudiar el comportamiento del movimiento de la estación.

Cuando ocurre un sismo como el sucedido en Chile, se produce una fractura entre las dos placas y esto genera una deformación violenta de las mismas. Entonces al comparar las coordenadas de las estaciones RAMSAC del día anterior al sismo con las del día posterior, se manifiesta una diferencia de posición de las mismas que refleja la deformación producida por el terremoto.

En el siguiente mapa se muestra el corrimiento de las estaciones mencionado debido al sismo:



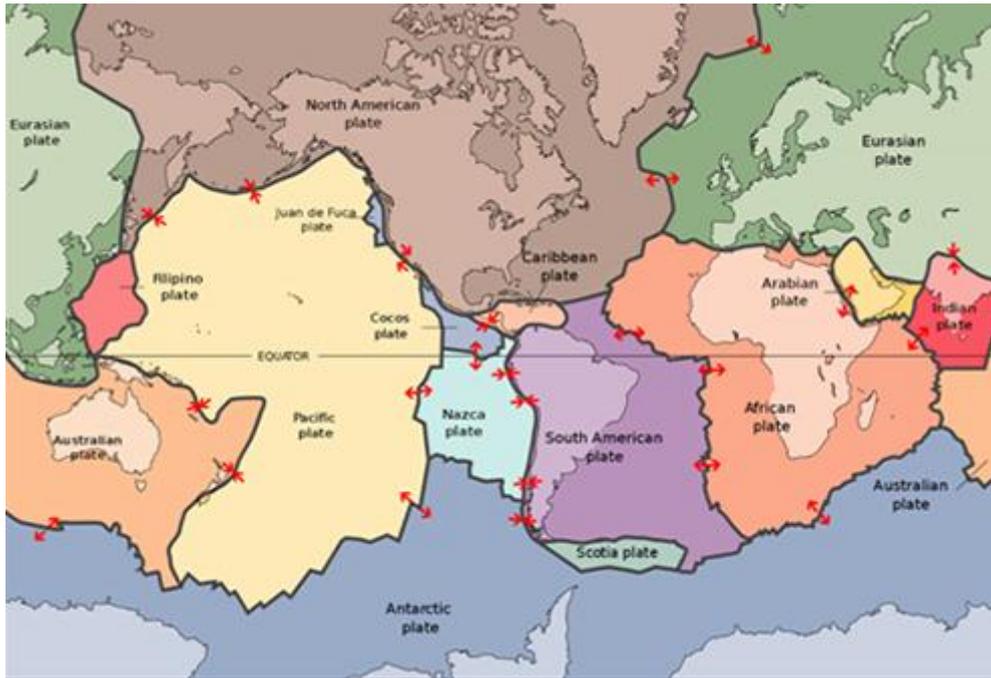
La zona encerrada con una figura color naranja es la de influencia del terremoto, cuyo epicentro se ubicó en la región cercana a la localidad de Concepción, en esta ciudad está ubicada la estación GPS permanente CONZ, que sufrió un desplazamiento de 3.06 m.

Como se puede observar, a medida que las estaciones GPS permanentes se encuentran mas distantes del epicentro del terremoto, menor es el desplazamiento que se produjo en las mismas. En esta situación, el terremoto ocurrido en Chile modificó la corteza terrestre entre los paralelos  $-30^{\circ}$  y  $-45^{\circ}$  de latitud, es decir sufrió un proceso brusco de deformación.

Es importante comparar las escalas de cada uno de los mapas para interpretar la diferencia en magnitud de los movimientos.

La explicación de este proceso que genera los desplazamientos de las estaciones de la Red, se debe en gran medida a la teoría de la tectónica de placas.

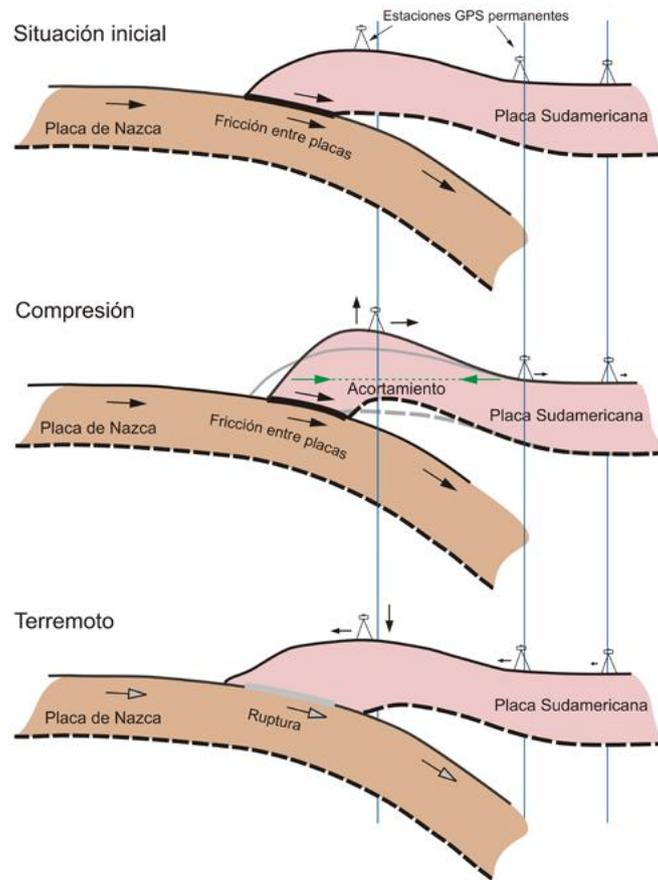
El siguiente mapa describe la ubicación de las placas tectónicas en la Tierra:



En base al mapa, Argentina se encuentra ubicada sobre la placa Sudamericana que se desplaza en forma relativa hacia el Oeste respecto del manto, mientras que en contacto con ella en la zona del Océano Pacífico se encuentra la placa de Nazca, que se hunde por debajo de la Sudamericana en un movimiento hacia el Este respecto al manto. El proceso de hundimiento de una placa por debajo de otra en términos geológicos se lo denomina “subducción”, y este proceso es lo que generan sismos en esa zona.

En junio de 2009 el geofísico Francés Jean Claude Ruegg, junto con otros investigadores publicó un artículo en la revista Science acerca de la posibilidad de un sismo importante en la zona cercana a las localidades de Constitución y Concepción (Chile), ya que el último terremoto registrado data de 1835 cuando Darwin visitaba la zona. La cantidad de energía acumulada a lo largo de estos años a través de la interacción de las placas indicaba esta posibilidad (ver artículo “Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile”, J.C.Ruegg et al).

La siguiente gráfica muestra una hipótesis que explica el proceso que ocurre en la interacción de las 2 placas a lo largo de los años:



En estos gráficos se expone el proceso de deformación de la corteza, sin tener en cuenta el movimiento de la misma por efectos de la tectónica de placas.

En la situación inicial, la Placa de Nazca presiona a la Sudamericana y se genera una zona de fricción en donde se acumula tensión entre las mismas ya que no hay desplazamiento. En el gráfico se indica la ubicación de receptores GPS geodésicos a lo largo de la placa Sudamericana, para describir el desplazamiento de los mismos por efecto de la deformación de la placa producida por la subducción.

En la segunda situación se produce la compresión y la deformación de la corteza acumulando tensión, la deformación entonces hace que los receptores GPS geodésicos ubicados sobre la placa Sudamericana indiquen un desplazamiento hacia el Este, cada vez menor a medida que se alejan de la zona de fricción. Este desplazamiento es a razón de unos pocos centímetros por año en la zona cercana al encuentro de las placas y de algunos milímetros en la zona más alejada. Este proceso de acumulación de tensión dura muchos años.

En algún momento, luego de la acumulación de suficiente tensión se produce la ruptura que genera el terremoto, en ese instante se libera la energía acumulada y la corteza se descomprime. En esta situación los receptores GPS geodésicos indican un desplazamiento brusco hacia el Oeste de los mismos, recuperando parte de su posición inicial.

Esta descripción es la que explica los diferentes desplazamientos hacia el Oeste de las localidades de Argentina. Este fenómeno ocurría desde siempre, pero no existían las herramientas tecnológicas para describirlo con magnitudes. Estos movimientos ahora son detectados a través de la medición

continua de las estaciones GPS permanentes y realizando un procesamiento en forma científica de los datos obtenidos como se explicara anteriormente.

El Instituto Geográfico Nacional colabora con las Universidades de Memphis (Robert Smalley), de Ohio (Mike Bevis), y de Hawaii (Ben Brooks), en los proyectos CAP (Central Andes Project) y GeoSur, realizando mediciones GPS a lo largo de toda la República Argentina, en el Marco de la actualización del Marco de Referencia Geodésico Nacional.

El listado de ciudades que se movieron a raíz del terremoto en las que se encuentran estaciones GPS permanentes es el siguiente:

Estación	Ciudad	Desplazamiento (m)
CONZ	CONCEPCIÓN (Chile)	3.06
SANT	SANTIAGO (Chile)	0.30
MZAS	SAN RAFAEL (Mendoza - Argentina)	0.22
MZAC	MENDOZA (Mendoza - Argentina)	0.12
MZAE	SANTA ROSA (Mendoza - Argentina)	0.12
MA01	NEUQUÉN (Neuquén - Argentina)	0.09
VALP	VALPARAISO (Valparaiso - Chile)	0.08
LHCL	LIHUÉ CALEL (La Pampa - Argentina)	0.07
SRLP	SANTA ROSA (La Pampa - Argentina)	0.06
CSJ1	VILLA MEDIA AGUA (San Juan - Argentina)	0.05
CSLO	COMPLEJO ASTRONÓMICO EL LEONCITO (San Juan - Argentina)	0.05
UNSJ	SAN JUAN (San Juan - Argentina)	0.04
CFAG	CAUCETE (San Juan - Argentina)	0.04
VBCA	BAHÍA BLANCA - (Buenos Aires - Argentina)	0.03
UCOR	CÓRDOBA (Córdoba - Argentina)	0.03
AZUL	AZUL (Buenos Aires - Argentina)	0.03
UNRO	ROSARIO (Santa Fe - Argentina)	0.03
IGM1	BUENOS AIRES (Buenos Aires - Argentina)	0.02
LPGS	LA PLATA (Buenos Aires - Argentina)	0.02
BCAR	BALCARCE (Buenos Aires - Argentina)	0.02

En relación al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07, el terremoto ha producido modificaciones en la posición de gran parte de los puntos, lo que implica que las coordenadas han cambiado abruptamente y entonces es necesario hacer una evaluación minuciosa del desplazamiento para estudiar como corregir las coordenadas de la Red.

En el transcurso del presente año el IGN realizará observaciones para determinar el corrimiento efectivo de los puntos y de esta manera poder hacer una evaluación más precisa de los cambios producidos en el Marco.

Con el continuo procesamiento de los datos de las estaciones GPS permanentes, se verificará la estabilidad de las coordenadas a lo largo del tiempo, ya que todavía existen movimientos que producen algunas variaciones en la posición y es necesario encontrar una situación de equilibrio.

El IGN informará a todos los usuarios de existir algún cambio en las coordenadas del Marco POSGAR 07, por el momento se están realizando los estudios necesarios para la evaluación de la situación originada por el terremoto.

IGN, Marzo 2010.