



## **EL CAMBIO DE MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE INTERNACIONAL (ITRF) EN MÉXICO”.**

**ABRIL DE 2011**

# INDICE

Pág.

Presentación.....	1
¿Por qué el cambio de marco?.....	2
I.- Actividades del INEGI para el cambio de marco.....	3
I.1.- Cálculo de coordenadas de la RGNA.....	3
I.2.- Transformación de coordenadas de la RGNP.....	4
II.- Modelo matemático de la Transformación.....	4
II.1.- Modelo matemático del IERS.....	5
II.2.- Épocas de referencia (fuente y destino) .....	6
II.3.- Modelo global de movimiento de placa tectónica.....	6
III.- Consideraciones sobre la aplicación de modelos de placas .....	9
III.1.- Modelo de placas seleccionado para la transformación.....	10
III.2.- Aplicación del algoritmo en la placa Norteamericana.....	11
III.3.- Magnitud teórica de la transformación.....	11
III.4.- Error teórico de la transformación.....	11
IV.- Consideraciones sobre no aplicar el algoritmo de Transformación.....	13
IV.1.- Placa del Pacífico.....	13
IV.2.- Frontera entre placas.....	13
IV.3.- Puntos geodésicos ligados a estaciones RGNA en diferente Placa .....	13
IV.4.- Desplazamientos locales.....	14
V.- Efecto del cambio en mapas a diferente escala.....	15
Resumen de la Transformación.....	15

## **Presentación**

El artículo 5 de la norma técnica del Sistema Geodésico Nacional publicada en el DOF el 23 de diciembre de 2010, establece que el Sistema de Referencia Geodésico del país se materializa en el Marco de Referencia Geodésico en sus tres vertientes: Red Geodésica Horizontal, Red Geodésica Vertical y Red Geodésica Gravimétrica.

Tales redes se conforman por estaciones, vértices o puntos geodésicos en los cuales se determinaron o determinarán sus coordenadas; dichos puntos pueden pertenecer a las tres redes simultáneamente.

Este documento se refiere al cambio de marco geodésico en su vertiente horizontal que establece la norma técnica, situación que involucra la Red Geodésica Horizontal del país, integrada por estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) y de la Red Geodésica Nacional Pasiva (RGNP).

Por otra parte, en el artículo 10 dicha norma especifica que toda estación geodésica de propósito horizontal deberá estar referenciada al Marco de Referencia Terrestre Internacional definido por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS) para el año 2008, con datos de la época 2010.0, denominado **ITRF2008 época 2010.0**, asociado al **elipsoide de referencia** del Sistema Geodésico de Referencia de 1980, es decir, **GRS80**.

Este señalamiento implica realizar una serie de actividades por parte del INEGI para llevar las coordenadas de la RGNA y de la RGNP del marco anterior al marco actual, es decir, del ITRF92, época 1988.0 a ITRF2008, época 2010.0, y viceversa, planteamiento que se desarrolla en este documento, así como las consideraciones del caso.

Con respecto a vértices geodésicos levantados por las diferentes Unidades de Estado productoras de información geográfica, cuyas coordenadas se determinaron en el ITRF92, época 1988.0 al ligarse a la RGNA, se recomienda considerar que la transformación a ITRF2008, época 2010.0 en el área estable de la placa norteamericana mediante la herramienta que INEGI tiene disponible en el portal institucional, implica una diferencia aproximada entre ambas coordenadas de 0.3 m la cual es representada a mayor detalle en la figura 7, el error asociado a la transformación es mostrado en la figura 8.

Cabe mencionar que en aplicaciones cartográficas el efecto de la transformación de coordenadas es prácticamente despreciable.

### ¿Por qué el cambio de marco?

A partir de la adopción del Sistema de Referencia Terrestre Internacional como base del Marco de Referencia Geodésico Horizontal, y la utilización generalizada de las técnicas de medición geodésicas basadas en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), nuestro país desarrolló un nuevo marco constituido por las Redes Geodésicas Nacionales Activa y Pasiva, denominado Marco de Referencia Terrestre Internacional de 1992, con datos de la época 1988.0 (ITRF92, época 1988.0)

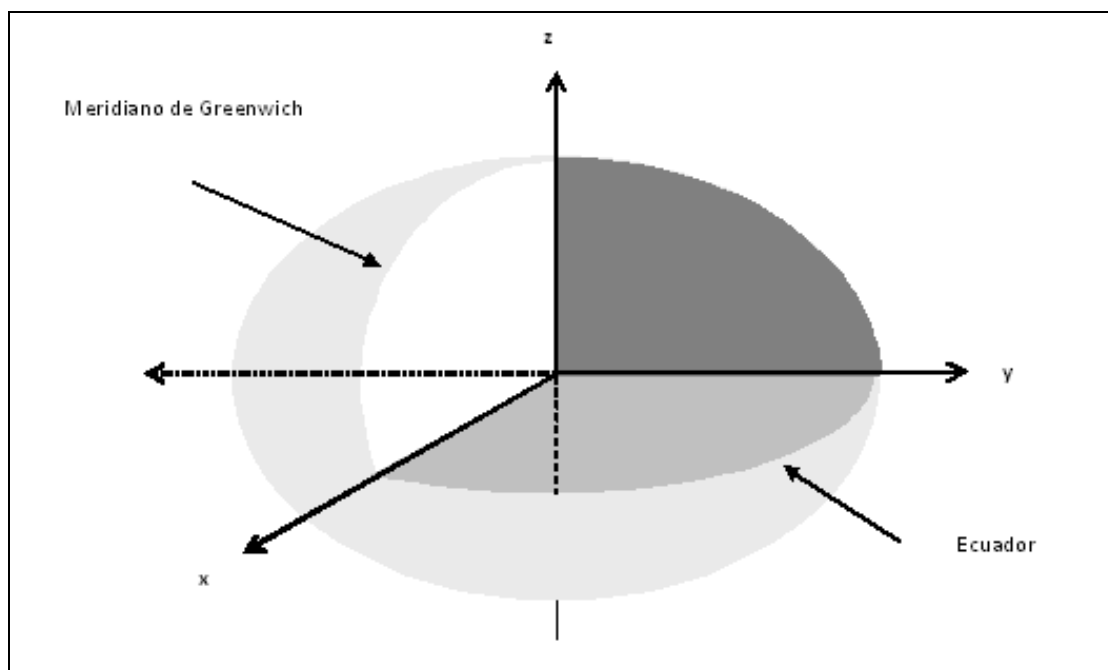


Figura 1. Sistema de Referencia Terrestre Internacional (Fuente: NTG-SGN)

Dado que la época de referencia representa la fecha en que las coordenadas del Marco de Referencia se fijan en el tiempo, es claro que en nuestro país han transcurrido 22 años desde que se fijaron las coordenadas en el ITRF92, época 1988.0.



Figura 2. Diferencia de tiempo entre épocas ITRF

Debido al comportamiento dinámico de la Tierra en el tiempo (principalmente desplazamiento de las placas tectónicas y efectos locales o regionales), las redes geodésicas acusan efectos de distorsión, ya que la posición de los puntos en el marco de referencia se mantiene fija conforme a la época oficial, en tanto que la superficie terrestre se mueve.

Esto hace necesario la actualización del marco geodésico a una época de referencia reciente, con el objetivo de mejorar la consistencia de las redes y minimizar las distorsiones acumuladas en el tiempo.

Adicional a lo anterior, migrar a ITRF2008, época 2010.0 permitirá:

- Obtener coordenadas de mayor precisión
- Garantizar solución estable
- Evitar obsolescencia del Marco Geodésico Nacional
- Comparar y estandarizar resultados en el ámbito internacional

## **I.- Actividades del INEGI para el cambio de marco**

En su calidad de unidad central coordinadora del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, el INEGI tiene entre otras funciones la de normar y coordinar el Sistema y a tal efecto, establecer las especificaciones tendientes a estandarizar y generar información que permita a los usuarios integrarla a sus procesos de producción, y a las Unidades de Estado a fin de producir e intercambiar datos consistentes y comparables.

Por ello, al emitir la norma técnica del Sistema Geodésico Nacional, el INEGI realiza una serie de actividades para el cambio de marco, las cuales se describen a continuación.

### ***1.1.- Cálculo de coordenadas de la RGNA***

La RGNA constituye el conjunto de estaciones de monitoreo continuo del Sistema Satelital de Navegación Global (por sus siglas en inglés GNSS), distribuidas en el territorio nacional, que proporciona permanentemente al usuario datos RINEX gratuitos, en línea, y coordenadas de las estaciones en el Marco de Referencia Geodésico Nacional vigente, para el posicionamiento geodésico.

La RGNA posee el mayor estándar de exactitud posicional horizontal del país, en el orden de 5 centímetros. La obtención de coordenadas de las estaciones de la RGNA en el ITRF2008, época 2010.0, se realiza mediante un **cálculo** en un programa geodésico científico, empleando insumos tales como efemérides precisas, carga oceánica, modelos calibrados de centros de fase de las antenas y satélites, así como datos Rinex a la época de referencia del marco, por mencionar algunos.

En el INEGI las coordenadas de la RGNA se calcularon con el programa GAMIT/GLOBK desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en los Estados Unidos de Norteamérica, con resultados comparables a nivel internacional.

## ***1.2.- Transformación de coordenadas de la RGNP***

La RGNP es el conjunto de estaciones, vértices o puntos con coordenadas conocidas en el ITRF, distribuidos en el país e identificados mediante monumentos de concreto y/o roca sana con una placa metálica empotrada que al centro identifica al punto. La posición de estos vértices se determinó a partir de levantamientos con equipos geodésicos del GPS, ligándolos a las estaciones de la Red Geodésica Nacional Activa.

Para obtener las coordenadas de las estaciones de la RGNP en el marco ITRF2008, época 2010.0, se cuenta con un modelo o algoritmo matemático para realizar la **transformación de coordenadas**, cuyo insumo de entrada son las coordenadas del ITRF92, época 1988.0 de los vértices.

La responsabilidad de realizar la transformación de los puntos de la RGNP es del INEGI, así como publicar sus coordenadas en el ITRF2008, época 2010.0 en el portal institucional, para consulta del usuario.

El artículo 14 de la NTG-SGN establece que para realizar la transformación recíproca entre el ITRF92, época 1988.0 y el ITRF2008, época 2010.0, el INEGI pondrá a disposición un programa de cómputo, el cual puede consultarse en la siguiente liga: <http://www.inegi.org.mx>

Se recomienda el empleo de este programa para transformar aquellos vértices que formen parte de redes o subredes geodésicas, tomando en cuenta las consideraciones que se indican en esa misma liga y en el presente documento.

A continuación se describe el modelo matemático que se emplea en la referida transformación.

## **II.- Modelo matemático de la Transformación**

Los elementos que intervienen en la transformación de coordenadas de vértices de la RGNP, y de otras redes y subredes geodésicas que cuenten con coordenadas ITRF92, época 1988.0 ligados a la RGNA, para llevarlas al ITRF2008, época 2010.0, son los siguientes:

1. Modelo matemático del IERS
2. Épocas de referencia (fuente y destino)
3. Modelo global de movimiento de placa tectónica

## II.1.- Modelo matemático del IERS

Se basa en la conocida Transformación de Helmert, generalizando, el modelo es el siguiente:

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Donde:

**X, Y, Z** son las coordenadas en el marco origen

**XS, YS, ZS** son las coordenadas a obtener en el marco destino

**T1, T2, T3** son los parámetros de Traslación

**R1, R2 y R3** son los parámetros de Rotación

**D** es el parámetro de Escala

También el IERS publica las tablas con los valores y velocidades de los parámetros para efectuar la transformación entre las diferentes soluciones ITRF, (véase: [http://itrf.ensg.ign.fr/trans\\_para.php](http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php)).

Las tablas señalan los valores de los parámetros a aplicar para la transformación entre marcos ITRF en diferentes épocas de referencia. En general, para un determinado parámetro **P**, su valor puede ser llevado a cualquier otra época **t** aplicando la siguiente ecuación:

$$P(t) = P(\text{EPOCH}) + P * (t - \text{EPOCH})$$

Donde EPOCH es la época indicada en las tablas del IERS y P es la velocidad del parámetro (fuente: <ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP> )

Es importante señalar que el modelo del IERS establece que el sentido de la transformación y obtención de coordenadas va de un marco reciente, por ejemplo, ITRF2000, época 1997.0, a un marco previo, como ITRF92, época 1988.0.

Dado que se requiere transformar de ITRF92, época 1988.0 a un marco reciente –es decir, al ITRF2008, época 2010.0-, es necesario **invertir el signo** de los parámetros de transformación en el modelo del IERS, quedando de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -T1 \\ -T2 \\ -T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -D & R3 & -R2 \\ -R3 & -D & R1 \\ R2 & -R1 & -D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} XS \\ YS \\ ZS \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1) es la formulación a aplicar en México para la transformación de 7 parámetros.

A partir de la determinación de los valores apropiados para los parámetros se aplica la formulación del modelo del IERS efectuando las siguientes transformaciones:

1. De ITRF92, época 1988.0 a ITRF2000, época 2000.0
2. De ITRF2000, época 2000.0 a ITRF2005, época 2005.0
3. De ITRF2005, época 2005.0 a ITRF2008, época 2010.0

## **II.2.- Épocas de referencia (fuente y destino)**

Se requiere identificar las épocas de referencia (fuente y destino) entre los marcos involucrados debido a que se requiere conocer el tiempo transcurrido entre la fecha de las coordenadas en el marco anterior y la fecha en que se determinarán las coordenadas en el marco actual.

Esto se obtiene a través de la siguiente diferencia:

$$dt = (\text{época destino} - \text{época fuente})$$

Donde:

$$dt = \text{diferencia de épocas}$$

Sustituyendo:

$$dt = (2010.0 - 1988.0)$$

$$dt = 22 \text{ años}$$

## **II.3.- Modelo global de movimiento de placa tectónica**

El movimiento de la corteza terrestre causado por la tectónica de placas produce el desplazamiento de los puntos de las redes geodésicas en el tiempo, generando distorsiones.

Actualmente es posible determinar la magnitud del movimiento de la superficie terrestre empleando modelos globales de placas tectónicas publicados por científicos del ámbito internacional ya sea geodésico como geofísico.

Algunos de estos modelos son los siguientes:

- NNR-NUVEL 1A (DeMets et al., 1994)
- APKIM (Drewes, 1998, 2005; Drewes and Angermann, 2001)
- SOPAC (Scripps Orbit and Array Center)
- ITRF2005 (Altamimi, 2007)

Para llevar la posición de los puntos geodésicos de una época fuente a la época oficial o destino del marco geodésico adoptado, la placa tectónica donde se ubican es rotada a su posición en la época destino.





Figura 3. Rotación de la placa tectónica al ITRF oficial

El vector de rotación de una placa (en coordenadas cartesianas) es obtenido mediante las siguientes expresiones:

$$\varpi_x = \Omega * \cos(lat) * \cos(lon)$$

$$\varpi_y = \Omega * \cos(lat) * \sin(lon)$$

$$\varpi_z = \Omega * \sin(lat)$$

$\varpi_x, \varpi_y$  y  $\varpi_z$  son obtenidos de los modelos de placas, cuyos valores se muestran a continuación:

Valores para los modelos de Placas en Norteamérica y el Pacífico

NNR-NUVEL 1A						
Placa	Vector de Rotación (geográficas)			Vector de Rotación (cartesianas)		
	$\rho$ [grados]	$\lambda$	$\Omega$ [grados/Ma]	$\Omega_x$	$\Omega_y$ [rad/Ma]	$\Omega_z$
N. América	-2.438	-85.895	0.2069	0.000258	-0.003599	-0.000153
Pacífico	-63.045	107.325	0.6408	-0.001510	0.004840	-0.009970

APKIM						
Placa	Vector de Rotación (geográficas)			Vector de Rotación (cartesianas)		
	$\rho$ [grados]	$\lambda$	$\Omega$ [grados/Ma]	$\Omega_x$	$\Omega_y$ [rad/Ma]	$\Omega_z$
N. América	-2.4	280.8	0.1977	0.0370	-0.1940	-0.0083
Pacífico	-65.2	107.1	0.6584	-0.0812	0.2640	-0.5977

ITRF2005 (ALTAMIMI)						
Vector de Rotación (geográficas)				Vector de Rotación (cartesianas)		
Placa	$\rho$ [grados]	$\lambda$ [grados]	$\Omega$ [grados/Ma]	$\Omega_x$	$\Omega_y$ [rad/Ma]	$\Omega_z$
N. América	-4.291	-87.385	0.192	0.000152	-0.003338	-0.000251
Pacífico	-62.569	112.873	0.682	-0.002131	0.005052	-0.010565

Seleccionado algún modelo de placas se aplica la siguiente formulación:

$$\begin{bmatrix} Dx^{Placa} \\ Dy^{Placa} \\ Dz^{Placa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{ITRF} \\ Y^{ITRF} \\ Z^{ITRF} \end{bmatrix} + \delta t * [\dot{\Omega}] * \begin{bmatrix} X^{ITRF} \\ Y^{ITRF} \\ Z^{ITRF} \end{bmatrix}$$

El vector de coordenadas corresponde a los valores ITRF de entrada para el punto a transformar.

Los valores de la matriz de rotación angular  $[\dot{\Omega}]$  son obtenidos del modelo de placas:

$$[\dot{\Omega}] = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 0 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 0 \end{bmatrix}$$

De este modo, la formulación del modelo de placas es:

$$\begin{bmatrix} Dx^{Placa} \\ Dy^{Placa} \\ Dz^{Placa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X^{ITRF} \\ Y^{ITRF} \\ Z^{ITRF} \end{bmatrix} + \delta t * \begin{bmatrix} 0 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 0 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X^{ITRF} \\ Y^{ITRF} \\ Z^{ITRF} \end{bmatrix}$$

En nuestro caso la época destino es 2010.0 y la época fuente es 1988.0. La diferencia de épocas es de 22 años.

Es importante mencionar que los modelos de placas sólo describen desplazamientos horizontales en el tiempo (latitud y longitud), no verticales (altura geodésica).

Con respecto a la altura geodésica, hay que tener presente que la precisión puede verse afectada por efectos regionales o locales tales como subsidencia o levantamiento de la corteza terrestre.

### III.- Consideraciones sobre la aplicación de los modelos de placas

En el mapa siguiente se observan las placas tectónicas y su comportamiento en el territorio nacional.



Figura 4. Placas en México (Fuente: PBO 2002); sentido y magnitud general del desplazamiento.

Adviértase el diferente sentido y magnitud de desplazamiento entre las placas norteamericana y del pacífico en nuestro país. Generalizando, el desplazamiento anual para la placa norteamericana es de 1 a 2 cm; para la placa del pacífico es de 4 a 5 cm.

En Baja California, de acuerdo a la solución más reciente publicada a la fecha por el Instituto Geodésico Alemán (DGFI) para estaciones de la RGNA en esa zona del país, la velocidad anual en metros es la siguiente:

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
Estación LPAZ	0.0203	-0.0484	-0.0015
Estación MEXI	0.0144	-0.0243	0.0060

Fuente: [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/SIR10P01\\_DGFI\\_Report\\_86.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/SIR10P01_DGFI_Report_86.pdf)

Obsérvese que el movimiento de la estación LPAZ en el componente **Y** es prácticamente el doble que en la estación MEXI.

Ahora bien, el procedimiento de procesamiento y ajuste habitual que omite modelos de velocidades, tuvo variados efectos en los resultados de los puntos levantados en esta área del país al emplear estaciones de la RGNA con diferentes velocidades y ubicadas en placas distintas.

Dadas las situaciones señaladas, para la transformación de **puntos situados en la placa del Pacífico no se recomienda la aplicación del modelo de transformación** aquí propuesto.

Por otra parte, en las **áreas circunvecinas a las fronteras entre placas** (falla de San Andrés; pequeña porción de Chiapas) con fuerte actividad tectónica y/o sísmica, **tampoco aplica el modelo general de transformación** debido a la tectónica local (figura 5)



Figura 5. Frontera entre placas –falla de San Andrés-.

### III.1.- Modelo de placas seleccionado para la transformación

El modelo de placas elegido para efectuar la transformación de puntos geodésicos del país ubicados en la placa norteamericana es el ITRF2005 (Altamimi, 2007); éste ofrece resultados razonablemente aceptables al comparar en el tiempo coordenadas de prueba obtenidas en diferentes épocas para estaciones horizontales.

Los valores de este modelo de placas son los siguientes:

Placa	Vector de Rotación (geográficas)			Vector de rotación (cartesianas)		
	$lat (^{\circ})$	$lon (^{\circ})$	$\Omega (^{\circ}/Ma)$	$\omega_x (Rad/Ma)$	$\omega_y (Rad/Ma)$	$\omega_z (Rad/Ma)$
Norteamérica	-4.291	-87.385	0.192	0.000152	-0.003338	-0.000251

Figura 6. Valores del modelo ITRF2005 (Altamimi 2007) para la placa norteamericana.

Dado que los valores de  $\omega_x, \omega_y$  y  $\omega_z$  están en Radianes por millón de años, para obtener el desplazamiento anual los valores se dividen entre un millón y se introducen en la formulación del modelo de placas planteada en el punto 3. Formulación del modelo de placa tectónica.

### **III.2.- Aplicación del Algoritmo en la Placa Norteamericana**

En general, el desplazamiento de la mayor parte del territorio nacional asentado en la placa norteamericana es uniforme, relativamente acorde al modelo de placas conocido como ITRF2005 (Altamimi, 2007),

Por esa razón el modelo general de transformación aquí explicado **aplica para la mayoría de los puntos asentados en la placa norteamericana**, con las consideraciones que a continuación se mencionan.

### **III.3.- Magnitud teórica de la Transformación**

En el mapa de la figura 7 se representa para diferentes áreas la distancia existente entre la posición ITRF 1992, época 1988.0 y la ITRF 2008, época 2010, determinadas con el modelo de placas mencionado, bajo el supuesto de un comportamiento acorde con este modelo.

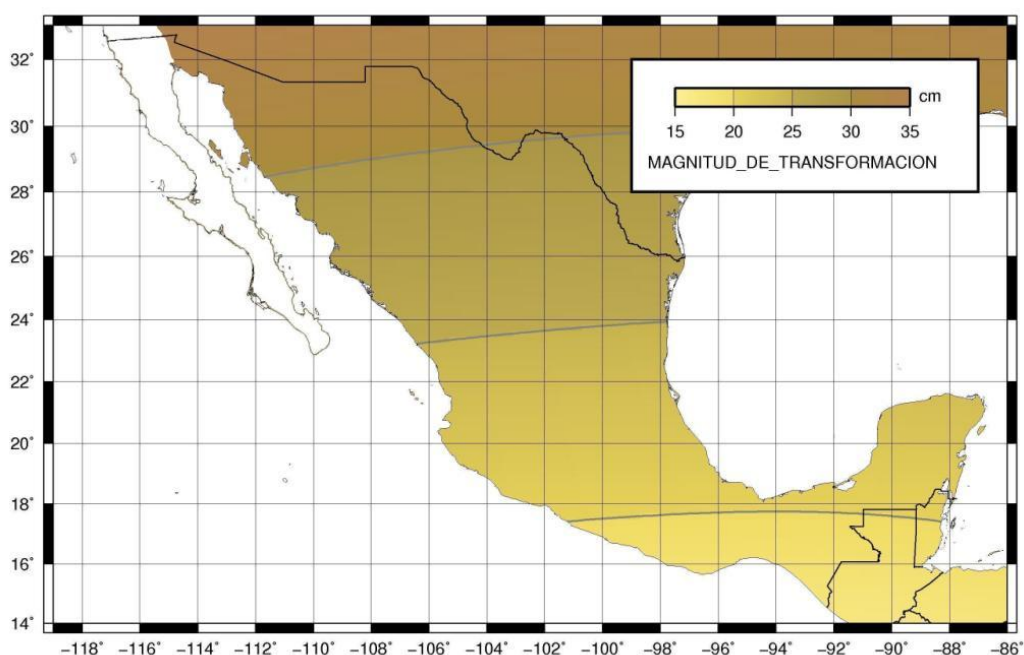


Fig. 7. Diferencia teórica entre coordenadas obtenida con el modelo de placas de Altamimi.

Sin embargo, en zonas de la placa norteamericana con diferente comportamiento al modelo de placas mencionado, también será diferente la magnitud real del cambio de coordenadas o posición con respecto a la mostrada teóricamente en el mapa.

### **III.4.- Error teórico de la transformación**

Para la aplicación del algoritmo de transformación en la placa norteamericana, es importante considerar tanto los desplazamientos diferenciales que ocurren al interior del territorio, como efecto de la tectónica regional, como el efecto de la precisión del algoritmo de transformación en la precisión del punto transformado.



En el mapa de la figura 8 se observa el error teórico aproximado asociado a la transformación que puede ocurrir en las diferentes áreas que se muestran. Este error se determinó en base a comparar velocidades reales de estaciones de monitoreo continuo y el desplazamiento calculado con el modelo de placas ITRF2005 (Altamimi, 2007), en los 22 años de diferencia entre las épocas destino y fuente.

Respecto al mapa es conveniente comentar que la transformación **puede ofrecer menor precisión a la teórica:**

- a) En áreas donde existan movimientos locales
- b) En zonas sísmicas del país con movimientos corticales de variable magnitud, por ejemplo Sierra Madre del Sur, costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, Sistema Volcánico Transversal
- c) Considerando el posible error asociado para la determinación de coordenadas ITRF92, época 1988.0.

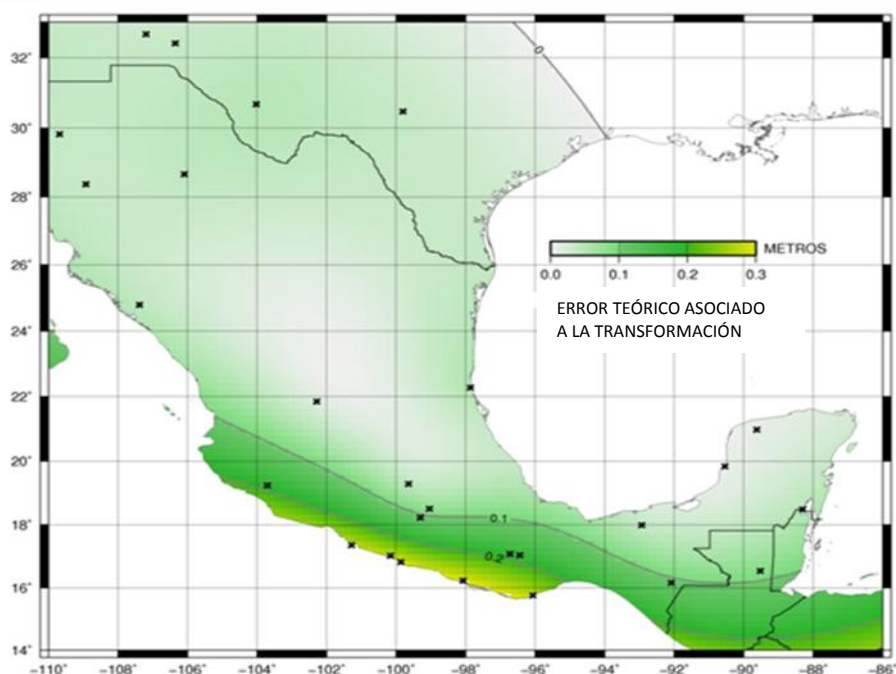


Figura 8. Error teórico asociado a la transformación.

Es importante recordar que el modelo general de transformación (modelo matemático del IERS más la formulación del modelo de placas) **sólo aplica para puntos geodésicos situados en la placa de Norteamérica;** a continuación se describen sugerencias importantes.

## IV.- Consideraciones sobre no aplicar el algoritmo de transformación

### IV.1.- Placa del Pacífico

Ya se mencionó que en la península de Baja California no aplica el modelo general o algoritmo de transformación propuesto.

Para los puntos geodésicos situados en esta placa se recomienda:

- **Procesamiento geodésico riguroso** con las estaciones RGNA de ambas placas que se procesaron originalmente con el vértice.

De no existir datos a la época del levantamiento, entonces:

- **Posicionamiento de vértices y procesamiento geodésico riguroso** con estaciones de la RGNA de ambas placas.

A tal efecto, en caso necesario podrá solicitar asesoría técnica al INEGI

### IV.2.- Frontera entre placas

En los puntos cercanos a éstas áreas (falla de San Andrés en Baja California y pequeña porción de Chiapas limítrofe con placa del Caribe), se recomienda **posicionamiento y procesamiento geodésico riguroso**, para lo que se requiere analizar los modelos particulares de desplazamiento para estas áreas.

En caso necesario, se sugiere solicitar asesoría técnica del INEGI

### IV.3.-Puntos geodésicos ligados a estaciones RGNA en diferentes placas

Para **puntos geodésicos** situados en la placa norteamericana que fueron **ligados a las estaciones de LPAZ y/o MEXI no se recomienda aplicar la transformación.**



Figura 9. Cobertura aproximada de Mexicali y La Paz en la placa norteamericana

Como ya se mencionó, el procesamiento geodésico habitual utilizado para la determinación de las coordenadas no consideró las diferentes velocidades entre placas y entre estaciones, causando distorsiones en los resultados.

En la figura 9 se señala mediante círculos con centro en cada estación la cobertura territorial aproximada de LPAZ y MEXI a equipos de dos bandas en esta área del país. Obsérvese que hay áreas en la placa norteamericana con puntos geodésicos que pudieran haberse ligado a las estaciones LPAZ y/o MEXI, con los efectos comentados.

Para los puntos geodésicos en esta situación en la placa norteamericana se recomienda:

- **Reprocesamiento y/o ajuste de vértices**, ligando el punto únicamente a estaciones de la RGNA de la placa norteamericana con datos de la época del levantamiento y coordenadas ITRF2008, época 2010.0.
- **Procesamiento geodésico riguroso** con las estaciones RGNA de ambas placas que se procesaron originalmente con el vértice.

De no existir datos a la época del levantamiento, entonces:

- **Posicionamiento de vértices**, ligándolos únicamente a estaciones de la RGNA en la placa norteamericana en ITRF2008, época 2010.0; si se desea utilizar estaciones de ambas placas, se recomienda implementar procesamiento geodésico riguroso.

#### IV.4.-Desplazamientos Locales

La ocurrencia de **fenómenos locales o regionales** en la superficie terrestre tales como hundimiento local o subsidencia, volcanismo, afallamientos o sismicidad **no son considerados por el modelo de transformación** aquí planteado.

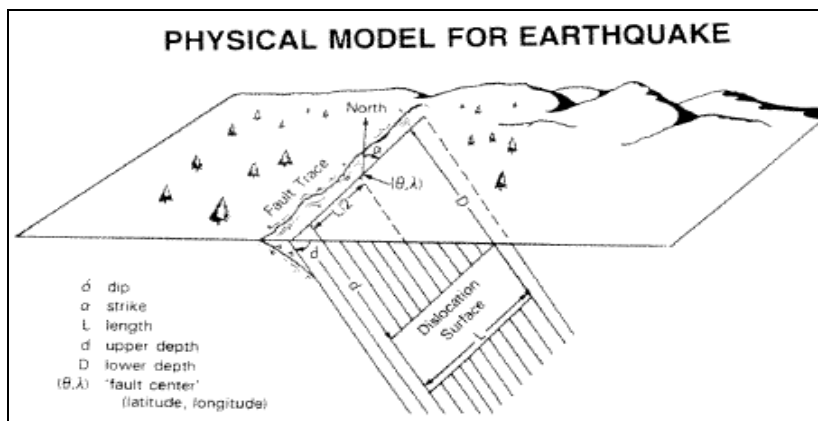


Figura 10. Necesidad de modelos locales por sismicidad (Snay, 1999).

No se cuenta en diferentes áreas del país con modelos precisos para aplicar una corrección en la transformación de coordenadas para los efectos causados por tales fenómenos locales o regionales.



## V.- Efecto del cambio de marco en mapas a diferente escala

El efecto teórico en mapas a diferente escala derivado del cambio de marco en México, se aprecia en el cuadro I.

EFECTO EN MAPAS		
Escala	Cambio en el Mapa (milímetros)	
	Pacífico	Norteamérica
1:1,000,000	0.001	0.000
1:500,000	0.002	0.001
1:100,000	0.010	0.003
1:50,000	0.020	0.006
1:20,000	0.050	0.015

Cuadro I. Diferencia teórica de la transformación a diferentes escalas.

Generalizando, la diferencia teórica aproximada en 22 años del modelo de transformación entre coordenadas ITRF en la placa norteamericana será de 0.3 m.

Para el caso de la placa del Pacífico, considerando el desplazamiento anual aproximado la diferencia será aproximadamente de 1 m

En el cuadro se observan esas diferencias en mapas a diferentes escalas cartográficas (en mm.).

Cómo se aprecia, a estas escalas el efecto no es significativo.

## Resumen de la Transformación

Para transformar las coordenadas del ITRF92, época 1988.0 a ITRF2008, época 2010.0 de los vértices o puntos de la RGNP, así como de redes y subredes geodésicas situadas en la placa norteamericana en México, se plantea:

1. Aplicar **modelo matemático del IERS** con los parámetros adecuados para aplicar la transformación de 7 parámetros desde ITRF92, época 1988.0 a ITRF2008, época 2010.0
2. Aplicar **formulación del modelo de placas ITRF2005** (Altamimi, 2007) para llevar las coordenadas de la época 1988.0 a la época 2010.0
3. **Considerar las áreas en las cuales aplicará este modelo y las recomendaciones** para efectuar la transformación en zonas de mayor distorsión (Sierra Madre del Sur, costas de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Sistema Volcánico Transversal).
4. **Atender las alternativas de reprocesamiento y/o posicionamiento con procesamiento geodésico habitual o riguroso** en áreas del país que no admiten la transformación general (Pacífico, frontera entre placas y vértices ligados a estaciones de diferentes placas).