

# Determinación de mecanismos focales para temblores pequeños o moderados: región del Caribe nororiental

VÍCTOR A. HUERFANO MORENO

Red sísmica de Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, recinto de Mayagüez, Geología

## RESUMEN

La determinación del mecanismo focal de un terremoto contribuye considerablemente al entendimiento del comportamiento tectónico de la zona de generación. Actualmente tenemos las soluciones globales CMT (Centroid Moment Tensor) y el USGS (United States Geological Survey). La metodología que utilizan está basada en el uso de períodos largos para determinar las características ocurridas durante el proceso de ruptura; además, permiten determinar el valor de la energía liberada. Los catálogos mundiales se actualizan constantemente para terremotos moderados mayores ( $> 5.0/5.2$ , Mb).

El objetivo de este trabajo es la aplicación a eventos locales del Método de Análisis de la Amplitud, Espectro y Polaridades (ASPO, J. Zahradnik, 2001) para calcular los parámetros focales de temblores moderados o pequeños para una red sísmica típica: unas pocas estaciones de banda ancha junto con una red más densa de sismómetros de período corto. Se presentan las soluciones focales para dos eventos ocurridos en Puerto Rico- el primero, en la zona suroeste con magnitud de 3.6 MI (2002/09/06 02:19:48); el segundo, en la zona sureste con magnitud 3.5 MI (2002/09/07 04:01:06).

PALABRAS CLAVE: TECTÓNICA DEL CARIBE, MECANISMO FOCAL, CATÁLOGO SÍSMICO

## ABSTRACT

Earthquake focal solutions can contribute considerably to the understanding of active tectonics. At present, the Centroid Moment Tensor (CMT) method is one of the most robust and reliable ways for computing focal mechanisms. This method uses long period seismograms to reconstruct the average character of the entire fracturing process of an earthquake, and calculates the energy release. The CMT catalog is routinely update for moderate/strong world wide quakes with magnitudes above 5.0/5.2.

The objective of this abstract is to present the Amplitude Spectra and Polarities or ASPO method (J. Zahradnik, 2001) to calculate the focal parameters from weak events based on available NCC instrumental setup: few broadband (BB) stations within a more dense shortperiod network. The method can be summarized as follows: (1) all stations are used to compute the epicenter; (2) The complete records from three-component BB stations are selected; (3) Only amplitude spectras are inverted; (4) Feww Firts-motion reliable polarities are used as a constraint for the inversion and (5) The Green's function with includes near field affects and interference waves is calculated by the discrete wavenumber method. ASPO determines five parameters: focal depth, scalar moment, strike, dip and rake, and works below the corner frequency.

KEYWORDS: CARIBBEAN TECTONICS, FOCAL MECHANISM, SEISMIC CATALOG

## INTRODUCCIÓN

Basándonos en los catálogos y la documentación histórica (preinstrumental) así como en la información recolectada instrumentalmente, podemos concluir que la Esquina Nororiental de la Placa del Caribe (ENOPC) se comporta como una zona sísmicamente activa. El potencial sísmico y el transfondo tectónico de las fallas mayores de la ENOPC (por ejemplo, la Trinchera de Puerto Rico, el Cañón de la Mona y el Pasaje de Anegada) ha sido reconocido y estudiado por diversos grupos científicos. En los últimos dos siglos, en esta zona se han registrado los terremotos mayores de las Islas Vírgenes (7.4 Mb) y del Cañón de la Mona (7.3 Mb). También se ha demostrado que zonas adyacentes tienen potencial de generación de eventos destructivos y maremotos.

En la ENOPC, los temblores moderados y pequeños son particularmente importantes debido a que constituyen la mayoría de la actividad sísmica y están distribuidos en toda la región. En la Red Sísmica de Puerto Rico (RSPR), aunque se mantiene un catálogo local o regional de datos paramétricos, no se calculan rutinariamente las soluciones focales. Este tipo de análisis a distancias locales o regionales es mucho más complicado que para aquellos eventos tele-sísmicos (lejanos) debido a la fuerte contribución de los efectos de la corteza y las heterogeneidades de la parte superior del manto, lo cual aparece reflejado en los sismogramas. Modelar este tipo de eventos es imposible utilizando las técnicas usadas por las redes globales. Estudios propuestos sugieren que se pueden analizar los mecanismos

focales compuestos para un selecto grupo de eventos; sin embargo, si esa aproximación se basa en registros tomados sólo en instrumentos de período corto, podemos correr el riesgo de no estar considerando toda la información de la fuente, lo que puede inducir incertidumbre en los resultados.

**ÁREA DE ESTUDIO Y SISMICIDAD**

La ENOPC es una zona sísmicamente activa. En Puerto Rico, el promedio de sismicidad oscila entre 2 y 1 sismos diarios con unos muy notorios eventos de enjambres típicos en las zonas sísmicas del Sombrero, 19°N, y los cañones de la Mona e Islas Vírgenes. La tectónica de esta región está marcada por la convergencia de las placas mayores de Norteamérica y del Caribe; la primera en proceso de subducción a una razón de entre 10 y 20 mm/año en la Trinchera de Puerto Rico, y la segunda entre 1 y 3 mm/año en la Trinchera de Muertos.

Existen zonas de extensión, como los cañones de La Mona, Islas Vírgenes y el Pasaje de Anegada; zonas de movimientos laterales en la zona de fallas de los 19°N y en la parte más occidental de la Trinchera de Puerto Rico; deformaciones verticales en la zona sísmica del Sombrero (Ten Brink, 2002) y en el interior del suroeste de Puerto Rico.

El catálogo sísmico de la RSPR (PRSN, página electrónica) mantiene información paramétrica desde 1987, con más de 10.000 soluciones (figura 1), que reflejan el grado de actividad para esta parte de la ENOPC; además, se mantienen las series de tiempo en formato digital para estaciones de período corto desde 1992. Más recientemente (2001), los temblores se registran en estaciones de banda ancha. Sin embargo, soluciones focales sólo han sido posibles mediante el análisis de las polaridades del primer arribo (onda P) y, en algunos casos, la razón de las amplitudes P, SH y SV (Huérfano, 1994). Soluciones para eventos registrados por las redes mundiales solo reportan 36 mecanismos desde 1976 (CMT, página electrónica), lo que representa una mínima parte de la actividad real.

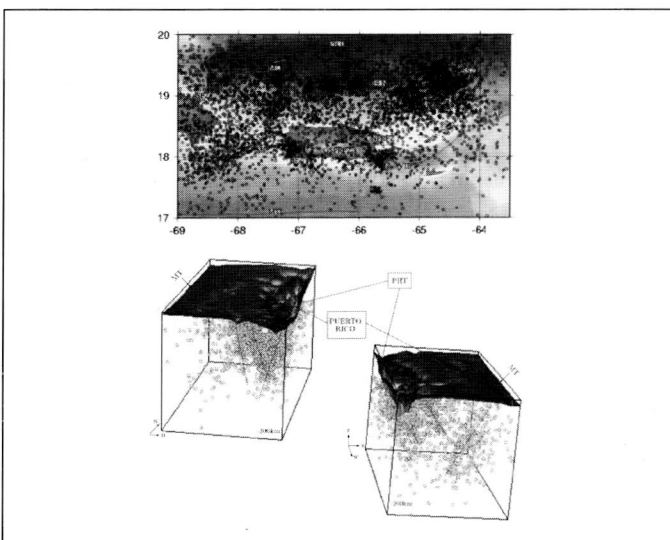


Figura 1. Muestra la intensa actividad sísmica registrada por la RSPR.

**PREPARACIÓN DE LOS DATOS**

Si el temblor ocurre en el punto focal, las ondas sísmicas viajan por la corteza hasta llegar a la estación, donde son registradas según la capacidad del sismómetro. La señal que finalmente se obtiene  $S(r, t)$  mediante el sistema de adquisición de datos incluye la información de la fuente  $F(r, t)$ , la interrelación de las ondas elásticas con la corteza  $C(r, t)$  y la parte correspondiente al instrumento  $I(r, t)$ , tal que:

$$S(\vec{r}, t) = F(\vec{r}, t) \otimes C(\vec{r}, t) \otimes I(\vec{r}, t) \tag{1}$$

Si la respuesta instrumental es conocida mediante las tablas de calibración y el conjunto de polos y ceros, y se tiene un modelo realista de la velocidad de propagación de las ondas de cuerpo, al menos en las capas superiores, la ecuación (1) depende sólo de la función de la fuente. El problema puede ser dividido como sigue:

$$S(\vec{r}, t) \Rightarrow \begin{cases} 1. T \geq 1 \text{ min.: CMT, USGS} \\ 2. T \geq 20 \text{ seg.} \rightarrow 1 \text{ min.: RNT, ASPO} \\ 3. T \leq 20 \text{ seg.: ASPO} \end{cases}$$

Se analizaron dos eventos sísmicos que fueron reportados como sentidos en Puerto Rico (tabla 1). Las señales de estos temblores se registraron en cinco de las estaciones BB de la RSPR. MTP, CPD, CBY, AGP y MGP, equipadas con 30seg. Guralps 3-ESP y 40T. También se utilizó el registro de la estación SJG que tiene un 120 seg. STS-1 (IRIS, página electrónica). Se aplicó la corrección instrumental para todas las señales, manteniéndolas frecuencias en un rango de 0.1Hz – 2Hz y se rotaron las componentes (X, Y, Z) → (R, T, Z). Para continuar con el análisis, se requiere una localización epicentral preliminar, se deben leer cuidadosamente las polaridades de aquellas estaciones donde sean indudables y se debe disponer de un modelo detallado de velocidad en la corteza.

El espectro observado se compara con los espectros numéricos, los cuales se determinan mediante el método de discretización del número de onda (Bouchon, 1981) usando el modelo de velocidades para Puerto Rico (Huérfano, 1994). La diferencia se determina paso a paso mediante la norma  $L1^*$ , que indica:

$$Error = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|obs_i - teo_i|}{\max(|obs_i|, |teo_i|)}}{n} \tag{2}$$

La suma se ejecuta sobre todas las estaciones (n), sobre todas las componentes y sobre todas las frecuencias utilizadas en la inversión.

TABLA 1. PARÁMETROS FOCALES OBTENIDOS. LA PROFUNDIDAD DEL EVENTO ES DADA POR LA INVERSIÓN.

No	Fecha	MI	Localización		Z* (km)	Plano de falla			Desplazamiento	
			Lati.	Longi.		Azi.	Hec.	Des.	Azi.	Pl.
1°	2002/09/07	3.5	18.079	-66.074	4	294	60	168	120	10
2°	2002/09/06	3.6	18.135	-66.808	10	280	82	96	152	80

## RESULTADOS

Este método permite determinar cinco parámetros: la profundidad focal, el momento escalar y la geometría de la falla (azimuth, ángulo de hechado y ángulo de desgarre). En la tabla 1, se detallan los resultados de la inversión, que incluye la profundidad focal, correspondiente a la que reportó el mínimo error. En la figura 2 se muestran los resultados de este estudio, además de los resultados para la zona local de Puerto Rico, reportados por el grupo de Harvard (CMT) y por Mendoza (2002), para el caso de las soluciones, utilizando RMT.

Los mecanismos focales obtenidos coinciden con estudios previos de la tectónica local. Para el caso del evento (1''), se sabe que existe en esa zona un movimiento casi lateral en dirección ONO-ESE, lo cual indica que este sismo está relacionado con este tipo de deformación: azimuth del vector desplazamiento =  $120^\circ$  con una inclinación de  $10^\circ$ , para un plano de falla  $O24^\circ N$ . Para el caso del evento (2''), en esta zona se presentan patrones complejos que van desde desgarres laterales (GSPRFZ) hasta movimientos con un fuerte componente vertical en la esquina suroeste de Puerto Rico (Huérfino *et al.*, 2001). Este último es el posible causante del evento modelado. Se tiene un ángulo  $E62^\circ S$  para el vector de desplazamiento con una componente vertical inclinada de  $80^\circ$ .

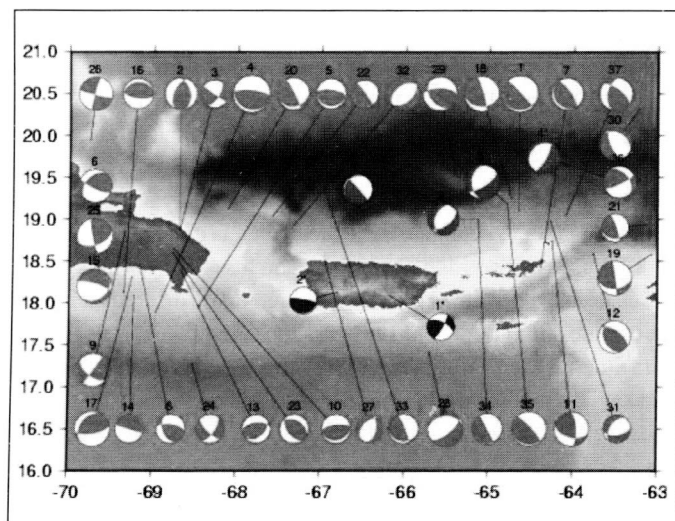


Figura 2. Mecanismos focales obtenidos en este estudio.

## CONCLUSIONES

Dos eventos pequeños fueron simulados usando una red local de estaciones de banda ancha. El método ASPO, también conocido como LMT (Local Moment Tensor) se aplicó en la inversión de los espectros para las señales completas. Los resultados obtenidos por este estudio coinciden con estudios previos de la tectónica de las zonas de generación.

En general, del método podemos concluir:

1. Es un método rápido para determinar los parámetros focales: profundidad, momento escalar y la geometría (azimuth, hechado y desgarre).
2. Es una herramienta útil en aquellas regiones donde la distribución de estaciones sísmicas consta de unos pocos sismómetros BB junto con una red más densa de SP.
3. En condiciones favorables, permite solucionar eventos de magnitud  $M_l \geq 3.5$ .
4. Sirve para la implementación de un catálogo local de soluciones focales, en adición a los catálogos mundiales.
5. Provee información valiosa para un mejor entendimiento de la tectónica local con base en los registros BB.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOUCHON, M. 1981. A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bull. Seism. Soc. Am.* 71: 959-971.
- Centroid Moment Tensor (CMT). Página Electrónica: [www.seismology.harvard.edu](http://www.seismology.harvard.edu)
- HUÉRFANO, V., and BATAILLE K. 1994. *Crustal Structure and Stress Regime Near Puerto Rico*. EOS Supplements. AGU.
- HUÉRFANO, V.; HILLEBRANDT, C., and BÁEZ-SÁNCHEZ G. (2001). *Microseismic activity reveals two stress regimes in southwestern Puerto Rico*. Submitted to: Tectonophysics.
- HUÉRFANO, V. 2002. *Earthquake local sources in the Puerto Rico region: Puerto Rico Tsunami Mitigation and Warning Program*. Prepared for: University of Puerto Rico.
- MENDOZA, C. 2002. *Earthquake sources in the Caribbean region: Puerto Rico Tsunami Mitigation and Warning Program*. Prepared for: University of Puerto Rico.
- RED SÍSMICA de Puerto Rico. Página Electrónica: [rmsismo.uprm.edu](http://rmsismo.uprm.edu)
- TEN Brink, U.; MARTIN J. L.; GURROLA, H.; DILLON, W., and HUÉRFANO V. 2002. *Dynamic topographic in the Puerto Rico Trench*. Submitted to: JRL.
- ZAHRADNIK, J.; JANSKY, J., and PAPATSIMPA, N. 2001. Focal mechanism of weak earthquakes from amplitude spectra and polarities (ASPO). *Pure and Appl. Geophys.*, 158: 647-665.