

# Cómo estimar la ubicación del epicentro con sólo una estación sísmica en la Tierra

## 1. Introducción y Pb

Usualmente, los estudiantes trabajan en la ubicación del epicentro usando la hora de origen del terremoto y la hora de llegada de las ondas sísmicas. Con los registros de tres estaciones sísmicas, es posible estimar la ubicación del epicentro.

En Marte, sólo hay un sensor para detectar y estimar la ubicación del epicentro. Proponemos aquí invitar a los estudiantes a estimar el epicentro del terremoto de Mw 9.0 Tohoku-Oki (Marte 11, 2011, Japón), con una sola estación sísmica.

## 2. Edad de los estudiantes 15 – 17 años

## 3. Objetivos

Utilizar un enfoque similar al utilizado por los investigadores que trabajan en el conocimiento de la misión InSight para estimar la ubicación del epicentro de un terremoto con sólo un registro de una estación sísmica de tres componentes

## 4. Disciplinas primarias

- Ciencias de la Tierra - Física

## 5. Disciplinas adicionales

## 6. Tiempo requerido 2h

## 7. Términos Clave

Ondas de Rayleigh, distancia al epicentro, azimut

## 8. Materiales

### Soportes utilizados:

- Datos de la red RESIF
- SeisGram2K80\_ECOLE© : <http://edumed.unice.fr/fr/tools-lab>

### Data :

- El terremoto de Mw 9.0 Marte 11, 2011 Tohoku-Oki (Japón), registrado en la estación CALF (Observatoire de la Côte d'Azur, Calern, Francia).

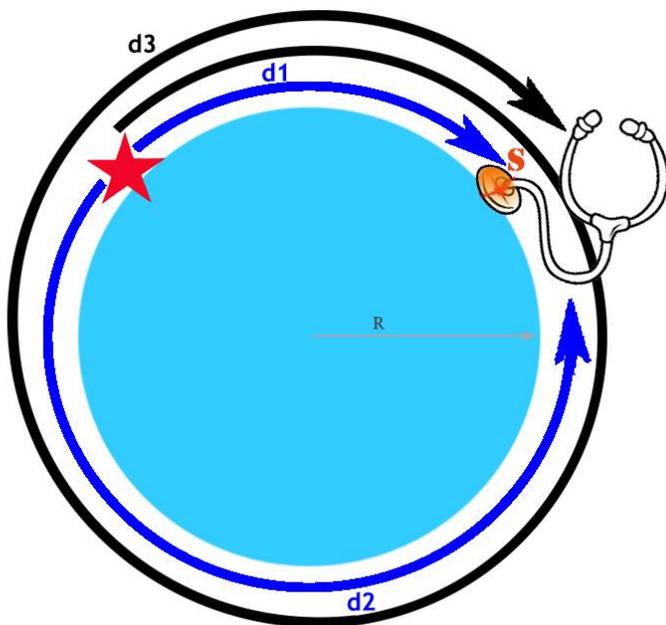
## 9. Fundamento

- Detección de ondas de Rayleigh:

o Son ondas de períodos bajos, las arcas asociadas son más largas que las arcas de las ondas del cuerpo. También son de mayor amplitud.

o Si el terremoto tiene suficiente energía, la onda de superficie puede pasar varias veces en la estación: pueden aparecer paquetes de señal de período más largo en la señal.

- Distancia al epicentro de los tiempos de llegada de las ondas de Rayleigh (Fig. 1)



$$distance_{(source/station)} = \frac{t_3 - t_2}{2} \cdot \frac{2\pi R}{t_3 - t_1}$$

Figura 1. Aproximación teórica para estimar una distancia al epicentro de las ondas de Rayleigh. Blanco: iniciar fuente sísmica. Negro: triángulo invertido: Estación sísmica. d1: distancia más corta entre la fuente y la estación. d2: distancia más larga entre la fuente y la estación. d3: viaje a lo largo de la distancia d1 más una rotación completa alrededor del planeta. t1: hora de llegada de las ondas Raleigh después de la propagación a lo largo de d1. d2: hora de llegada de las ondas Raleigh después de la propagación a lo largo de d2. T3: hora de llegada de las ondas de Raleigh después de la propagación a lo largo de d3. R: radio del planeta.

## 10. Procedimiento

A continuación, se invita a los estudiantes a coger las olas de Rayleigh del terremoto de Tohoku-Oki, registradas en la estación CALF

- **Elegir los tres tiempos de llegada, y calcular la distancia al epicentro.**

Aquí, la herramienta automática proporcionada por SeisGram2k no se utiliza. Los estudiantes leen los tiempos de llegada y calculan manualmente la distancia al epicentro desde la fórmula de la Figura 1.

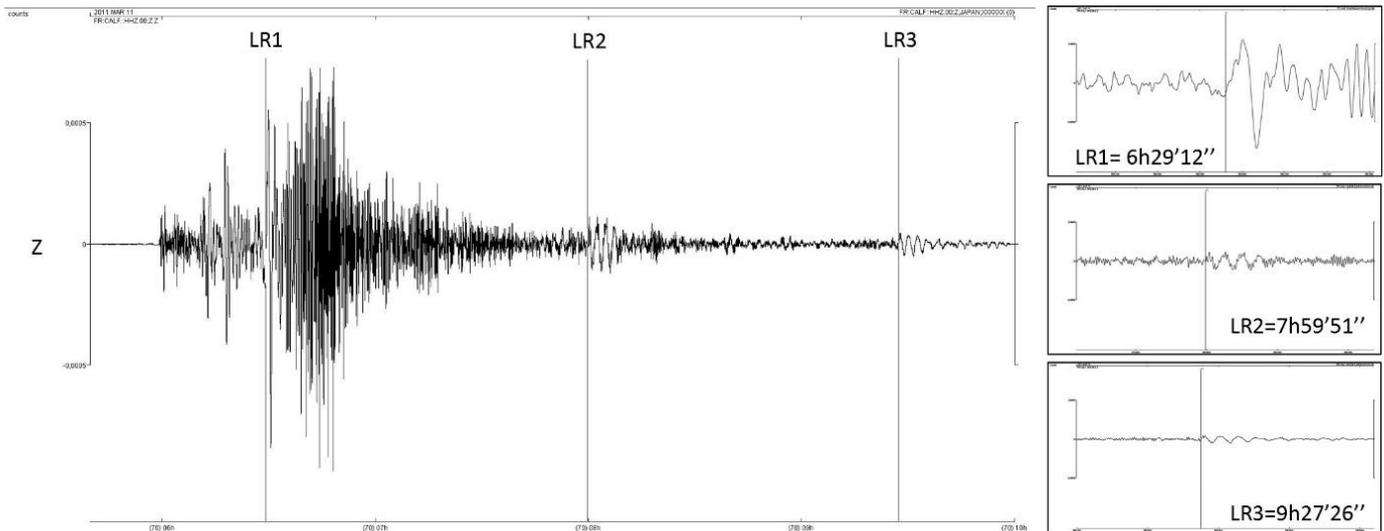


Figura 2. Elección de los tres pasajes de las olas de Rayleigh (terremoto de Tohoku-Oki) en la estación CALF. Columna derecha: zoom de cada selección, con las horas de llegada observadas (UTC).

este caso, la distancia al epicentro calculada es igual a 9841 km.

- **Estimación de azimut inverso ( = azimut +/- 180° ) .**

La distancia al epicentro calculada previamente indica que el epicentro está en un círculo, cuyo radio es igual a 9841 km. Se necesitan dos parámetros para encontrar la posición correcta en este círculo: el azimut y el azimut inverso. El azimut da la dirección del primer movimiento del suelo en el plano horizontal de la estación, positivo en el sentido de las agujas del reloj. El azimut inverso da la sensación de dónde está el epicentro. Se requiere la polaridad de la onda P desde la componente vertical: i) si la polaridad es positiva, el primer movimiento es hacia arriba, el azimut inverso es igual al azimut más 180°; ii) si la polaridad es negativa, el primer movimiento es hacia abajo, el azimut inverso es igual al azimut.

SeisGram2k permite determinar el valor de azimut, con la herramienta de rotación. Es posible girar virtualmente el marco geográfico y calcular las amplitudes en el nuevo marco. Al girar la trama, la amplitud de la onda P varía entre dos máximos, pasando por un valor nulo, en cada componente. El valor de rotación que permite cancelar la onda P en la componente Este da el azimut: el movimiento es sólo en la dirección Norte del nuevo marco geográfico.

a. **Detectar las primeras ondas P en cada componente horizontal.**

Utilice la herramienta de zoom del sismograma para seleccionar una ventana de tiempo adaptada para resaltar la primera onda P. Se puede utilizar la herramienta de aumento/disminución de la amplitud.

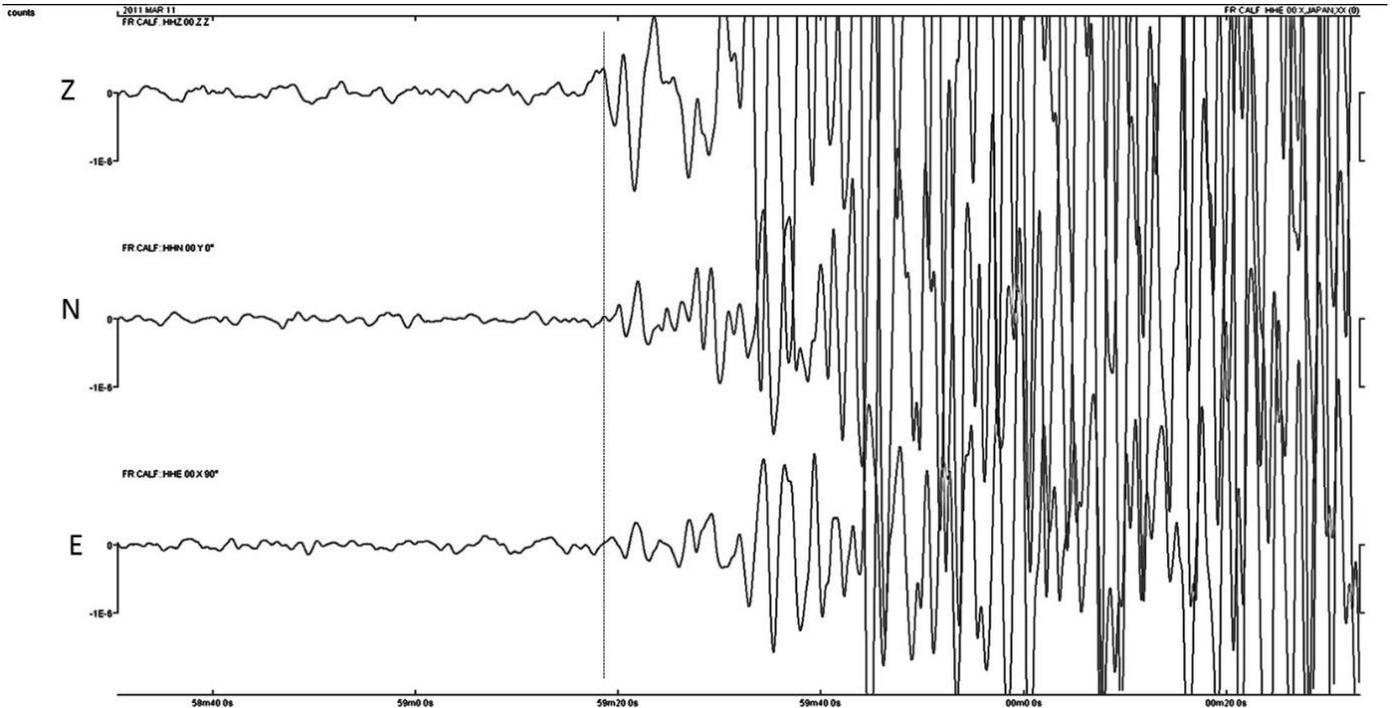


Figura 3. Registros del terremoto de Tohoku-Oki. Línea de puntos negra vertical: selección de la onda P. E: Componente este. N: componente norte. Z: componente vertical.

b. **Gire la componente horizontal (en el sentido de las agujas del reloj) para cancelar la onda P en la componente Este.**

En este caso, una rotación igual a  $+30^\circ$  permite cancelar la amplitud de la onda P en la componente Este. El primer movimiento es en una dirección igual a  $+30^\circ$  (en el sentido de las agujas del reloj) desde el Norte en el marco geográfico real: es el valor del azimut.

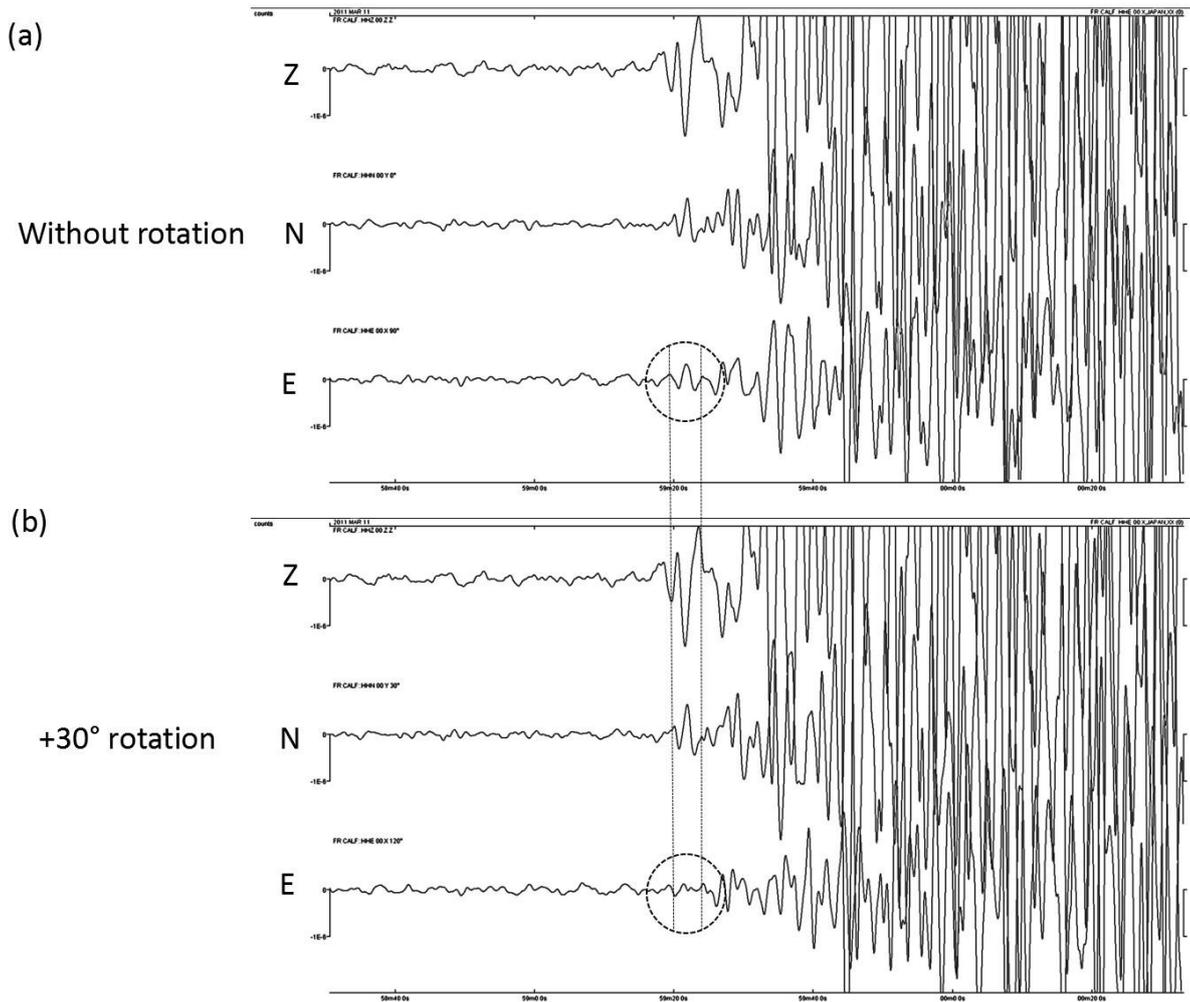


Figura 4. Registros del terremoto de Tohoku-Oki. (a) Sismogramas en bruto. Elipse negra discontinua: identificación de la onda P del componente este. (b) Sismogramas después de una rotación igual a  $+30^\circ$ : la amplitud de la onda P se cancela. E: Componente este. N: componente norte. Z: componente vertical.

**c. Estimar el valor del azimut inverso a partir de la polaridad de la onda P en la componente vertical**

En este caso, la onda P es descendente en la componente vertical (Fig. 3): el azimut inverso es igual al azimut.

El archivo de información en el SeisGram2K indica que un azimut es igual a  $329,5^\circ$ . Este azimut corresponde a la dirección en el epicentro desde el norte geográfico hasta la estación: es igual al ángulo entre el norte geográfico menos el azimut (en sentido contrario a las agujas del reloj).