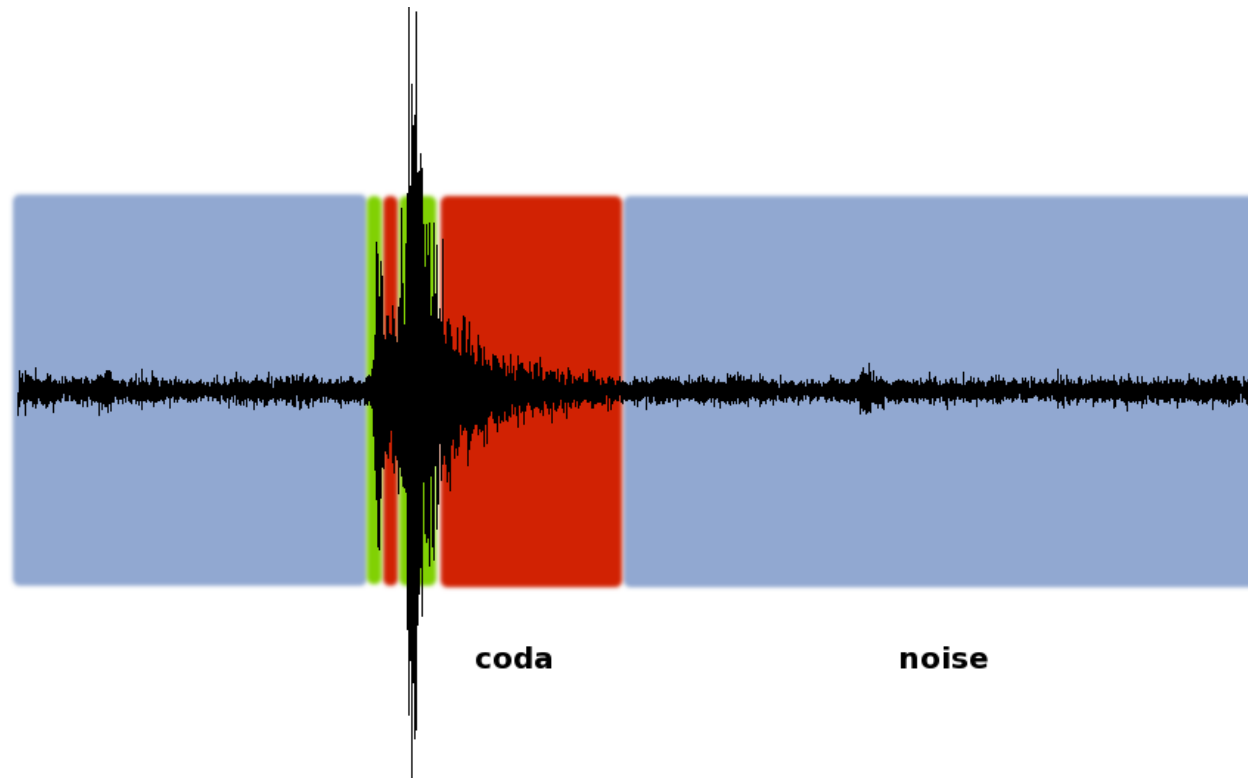


10 Interferometría sísmica



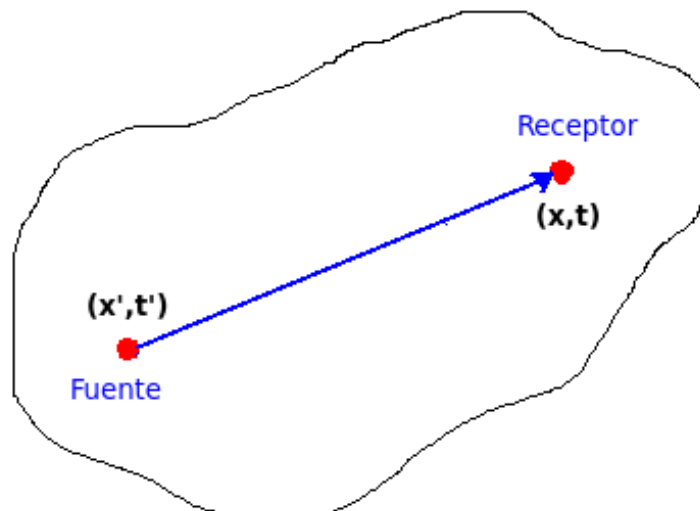
En sismología, mucha de la señal registrada en una estación sísmica es ruido ambiental, generado por vibraciones (agua, aire, flora y fauna) bastantes aleatorias. Un método moderno en sismología es usar esta señal para determinar las propiedades de la Tierra en que se propaga el ruido. Este tiene varias ventajas.

10.1 La función de Green en sismología

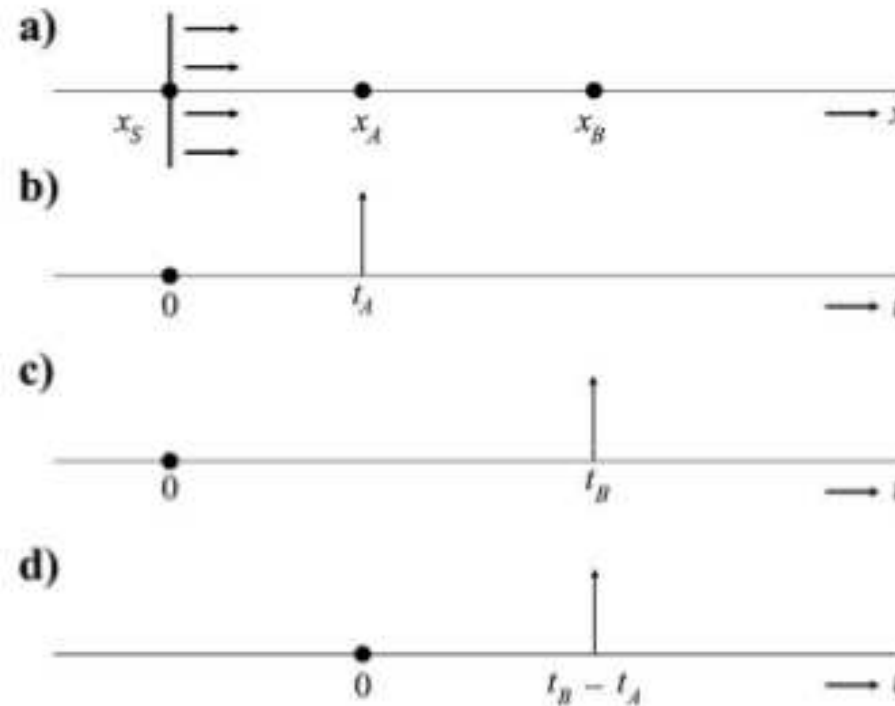
Existe una función $G(\vec{x}, t)$ que podría estar usada para describir la propagación de ondas dentro de la Tierra. Por ejemplo

$$\ddot{G}(\vec{x}, \vec{x}'; t, t') - c^2 \nabla^2 G(\vec{x}, \vec{x}'; t, t') = \delta(\vec{x} - \vec{x}') \delta(t - t') \quad (10.1)$$

representa la situación fuente puntual \longrightarrow receptor.



10.2 Caso 1-dimensional



(a) Un frente de ondas que sale de la posición x_S en un tiempo $t = 0$ a una velocidad c . (b) describe la respuesta observada en la estación A; (c) la respuesta para la estación B. Finalmente, (d) muestra el resultado de la correlación cruzada entre las señales en A y B.



10.2 Caso 1-dimensional

- $G(x_A, x_S, t)$ es la respuesta captada en la estación x_A a la señal originada en x_S
- $G(x_B, x_S, t)$ es la respuesta captada en la estación x_B a la señal originada en x_S

Para una fuente de ruido más simple:

- $G(x_A, x_S, t) = \delta(t - t_A)$, con $t_A = \frac{x_A - x_S}{c}$ y c la velocidad de las ondas.
- $G(x_B, x_S, t) = \delta(t - t_B)$, con $t_B = \frac{x_B - x_S}{c}$ y c la velocidad de las ondas.

La idea de interferometría sísmica es obtener la función de Green que existe entre las estaciones A y B. Para obtenerla, es necesario hacer la correlación cruzada entre las señales recibidas.



Intermezzo: correlación cruzada

$$CC_{fg}(t') = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + t')dt \quad (10.2)$$

La correlación cruzada entre las funciones de Green en A y B sería, con $G(x_B, x_S, t) = f(t)$ y $G(x_A, x_S, t) = g(t)$,

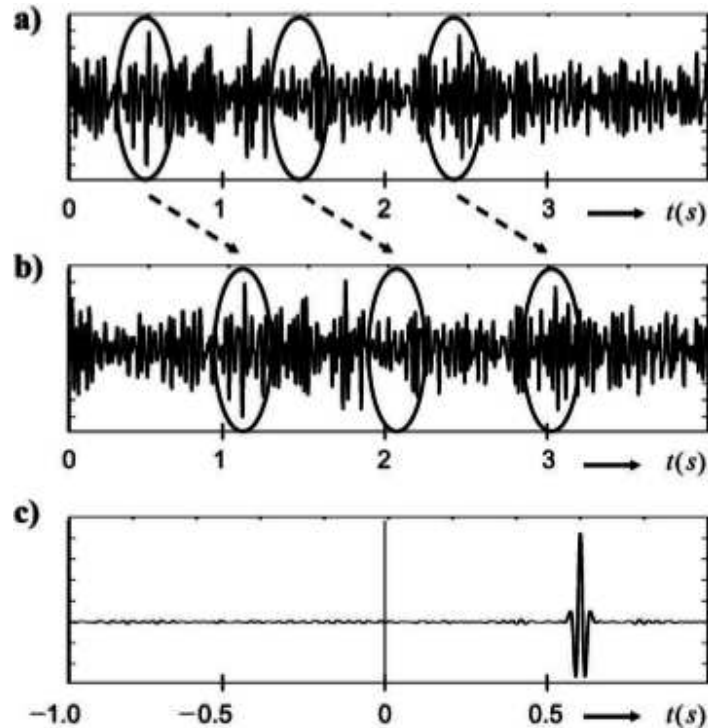
$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) = f(t) * g(-t) = CC_{fg}(t') \quad (10.3)$$

Se puede mostrar que

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) = G(x_B, x_A, t') \quad (10.4)$$

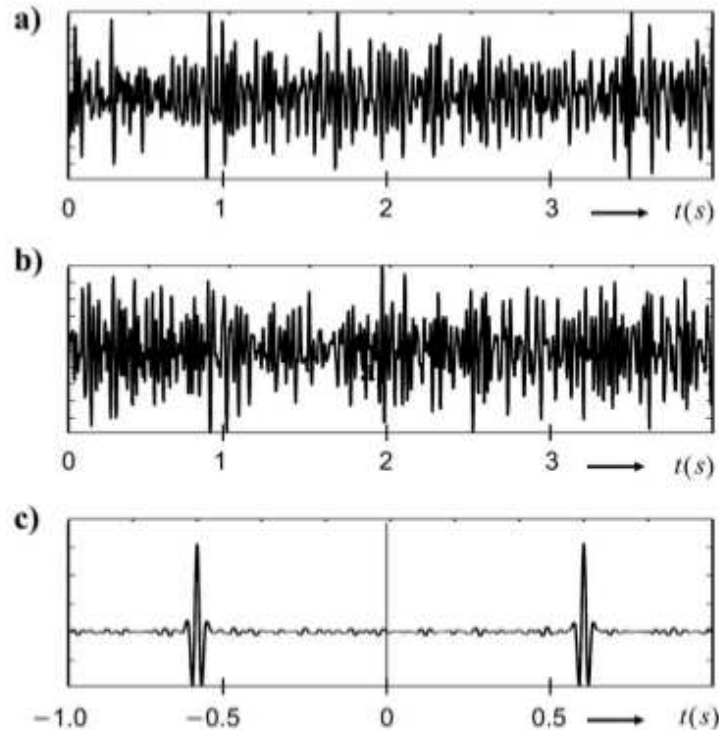
- $G(x_B, x_A, t)$ representa la respuesta captada en la estación x_B a la señal originada en x_A . Esta relacionada con las propiedades sísmicas de la Tierra entre las dos estaciones A y B.

10.2 Caso 1-dimensional



(a) y (b) representan dos señales registradas en dos estaciones, donde el ruido viene de una fuente a la izquierda de la estación A. (c) es la correlación cruzada entre las trazas, se puede apreciar que esta función representa la señal considerando una estación como una fuente, y la otra como un receptor. La demora del tiempo es el tiempo de viaje de una onda entre las dos estaciones.

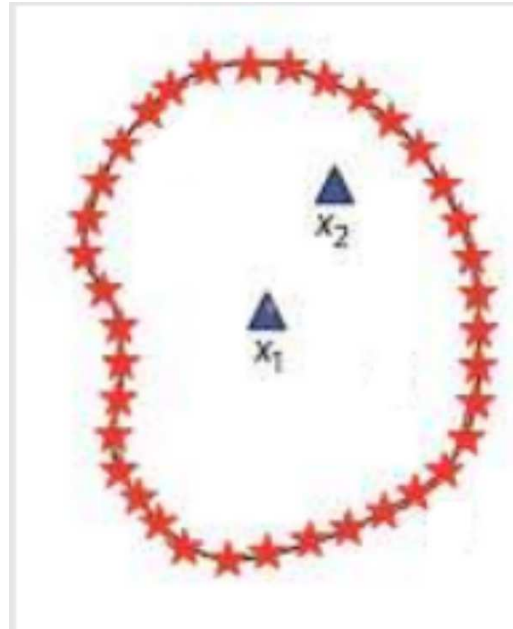
10.2 Caso 1-dimensional



(a) y (b) representan dos señales registradas en dos estaciones, donde el ruido ahora viene de ambos lados. (c) es la correlación cruzada entre las trazas. La correlación cruzada debe ser simétrica si las amplitudes de la fuentes de ruido están similares en ambos lados.

10.3 Caso 2-dimensional

El ruido sísmico proveniente de diversas fuentes no correlacionadas aleatorias que están distribuidas espacialmente alrededor de los receptores.

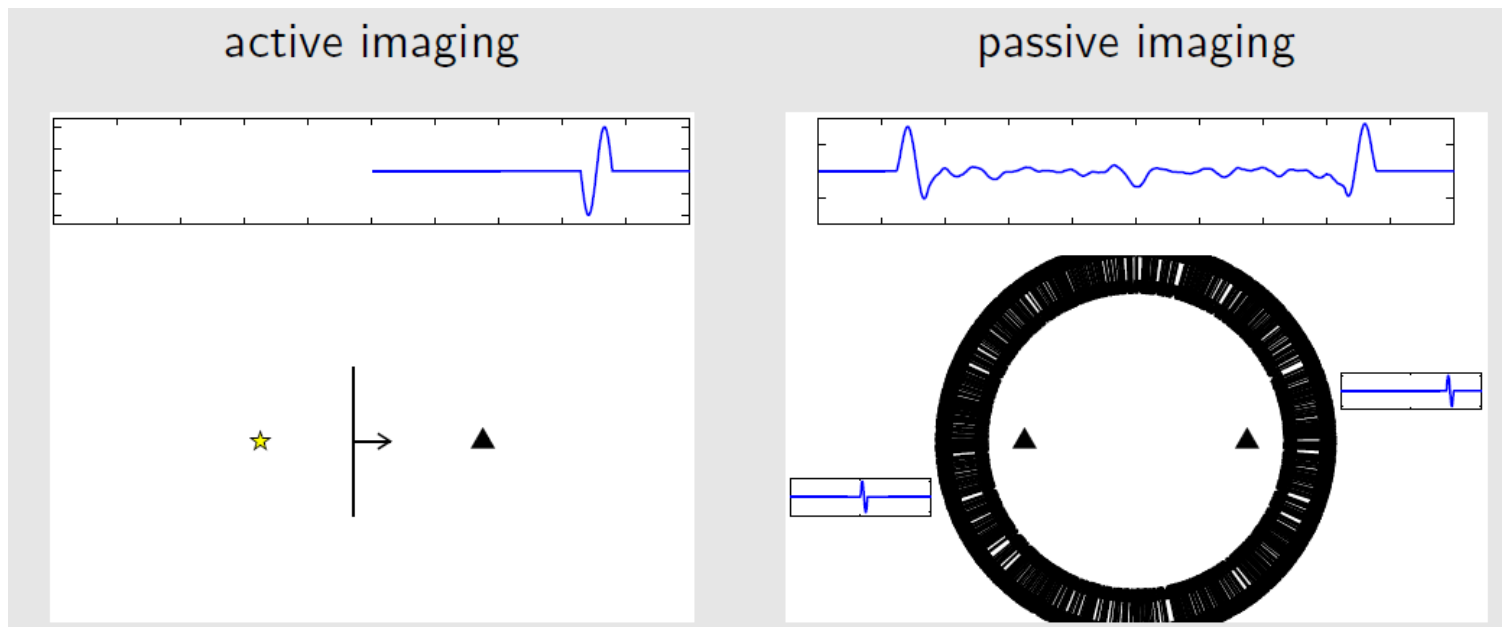


- La contribución a la correlación cruzada viene de las fuentes que emiten en la misma línea recta que une las dos estaciones.
- Las fuentes que emiten ondas con una trayectoria diferente a ese ángulo se cancelan.



10.3 Caso 2-dimensional

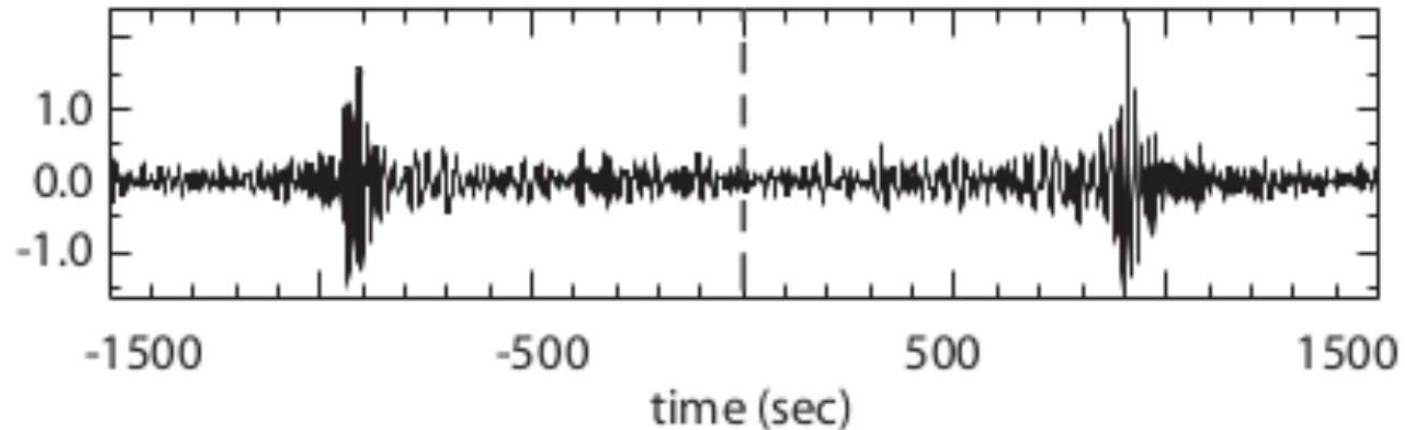
La correlación cruzada, entre las señales de ruido que están registradas en dos estaciones, tiene dos peaks con un tiempo de demora en la función de correlación que depende de la velocidad del medio entremedio de las estaciones.



¿Qué significa “active” y “passive” en este contexto? ¿Por qué las señales muestran diferencias entre las dos.

10.4 Interferometría de coda

En el caso de interferometría, la coda que uno considera es el decaimiento “exponencial” en la función de correlación cruzada entre un par de estaciones.

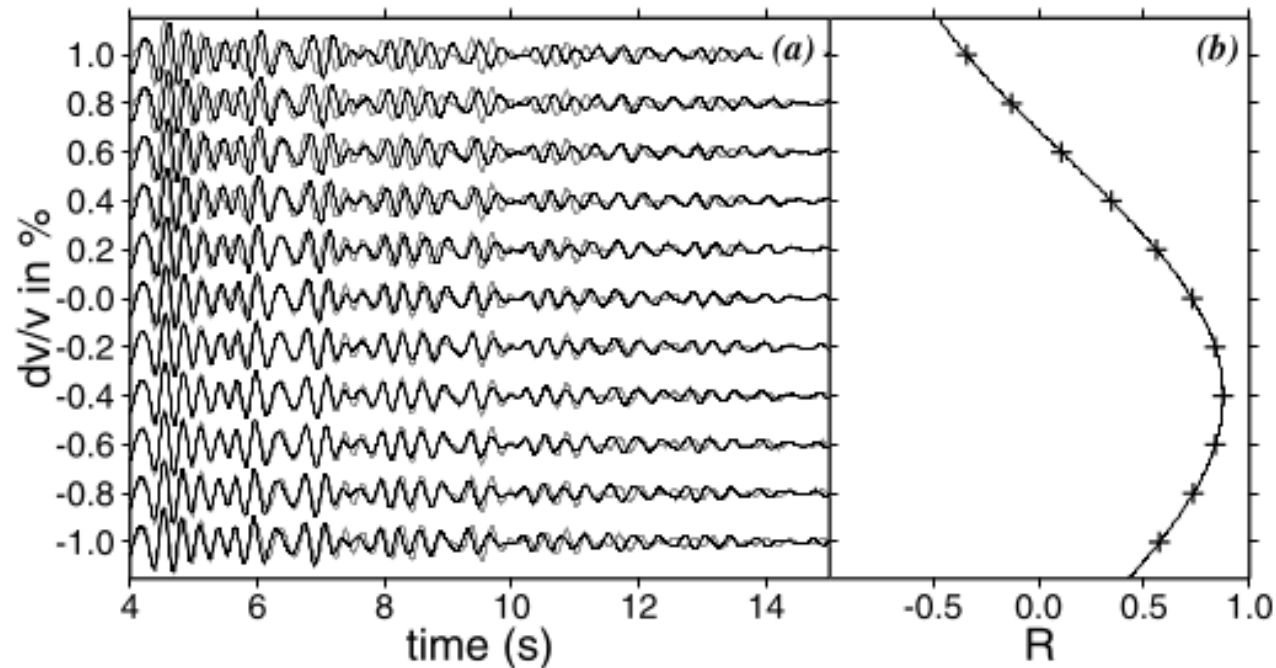


Se puede mostrar que, para la coda de esta función, la perturbación del “tiempo de viaje” asociada con el tiempo de demora esta directamente asociada con la perturbación en la velocidad del medio entre las dos estaciones, es decir

$$\frac{\delta v}{v} = - \frac{\langle \tau \rangle}{t} \quad (10.5)$$

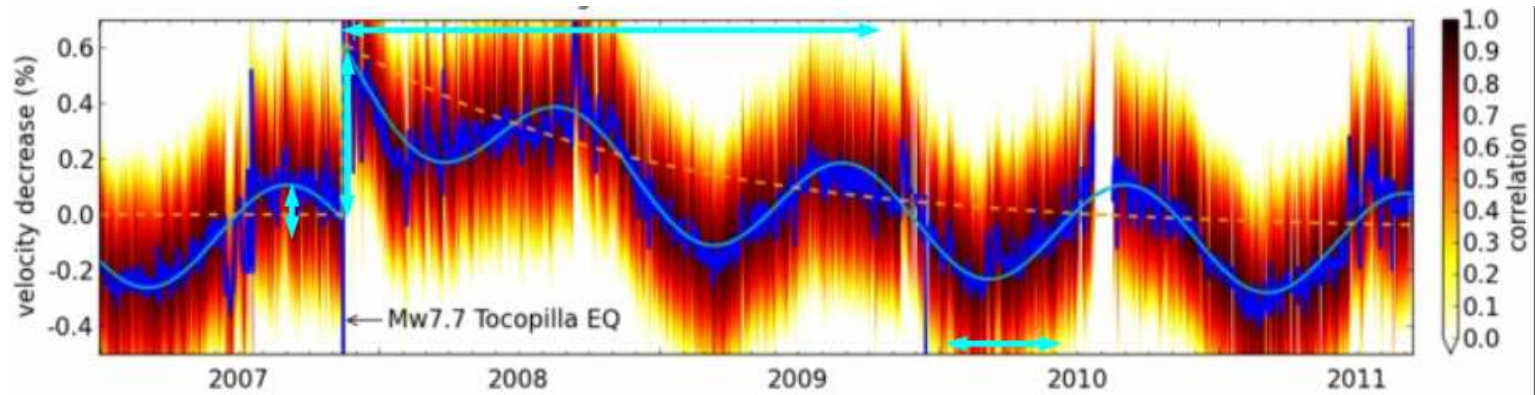
Se puede determinar este factor de estiramiento entre dos diferentes días que entrega la información sobre el cambio en la velocidad del medio entre estos días.

10.4 Interferometría de coda



En (a) se muestra dos funciones que muestran la coda de la función de correlación cruzada. Las dos funciones están calculados por distintos días del año, y se nota que la función por uno de los días esta estirada comparada con la otra función. En (b) se calcula teóricamente la cantidad de estiramiento que requiere un día para mostrar lo mejor similitud con el otro día (mayor correlación (R)). Note que la cantidad de estiramiento es expresada como una perturbación de velocidad.

10.4 Interferometría de coda



Las perturbaciones en velocidad calculados usando la red IPOC entre 2006 y 2011. Existe una variación periódica anual para la velocidad sísmica en la zona; también se puede ver una disminución en velocidad del medio cuando ocurrió el terremoto de Tocopilla, lo que se reajuste dentro de un par de años.