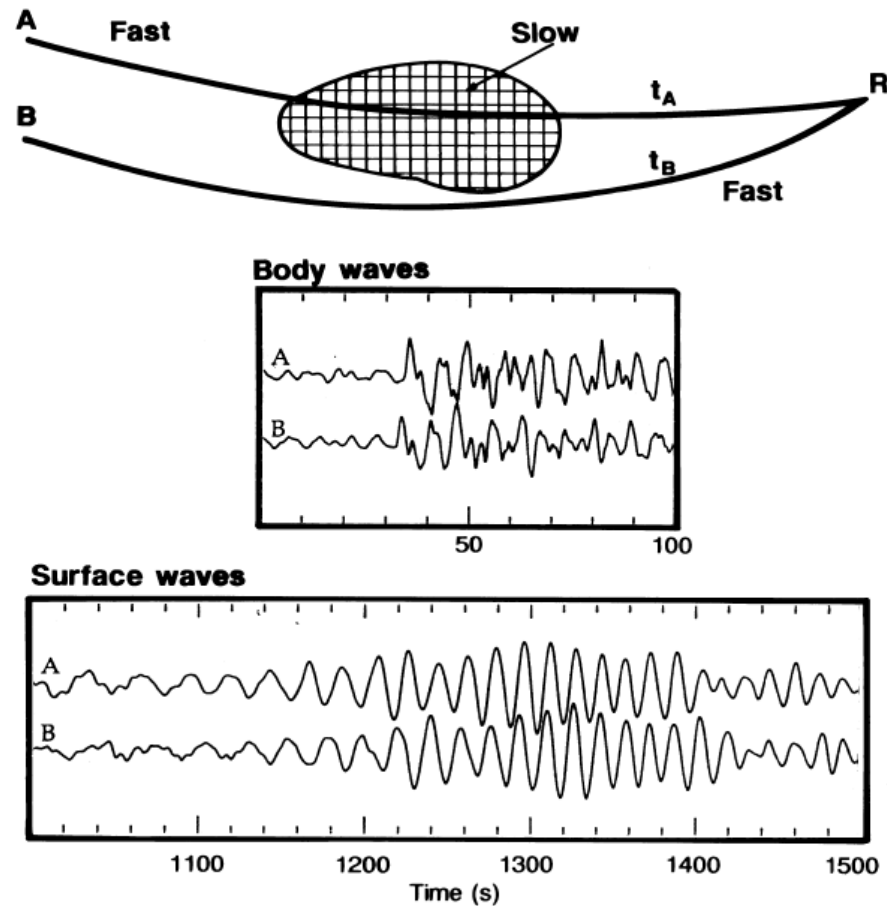




# 7 Tomografía sísmica

- ¿Cómo podemos usar las ondas sísmicas para determinar la estructura 3-D de la Tierra?





# 7.1 Residuos en los tiempos de viaje

$$t_{resid} = t_{obs} - t_{pred} \quad (7.4)$$

- En sismología, el residuo de un tiempo de viaje es la diferencia entre el tiempo observado, y un tiempo de referencia predicho por un modelo de velocidades.
- Comúnmente se usa un modelo 1-D para calcular el tiempo de referencia.
- Hemos visto el concepto de residuos anteriormente para la localización de terremotos, cuando uno intenta encontrar el hipocentro que minimiza los residuos para un evento.
- Podemos extender esta idea, y encontrar un modelo de velocidades tres dimensional que minimiza los residuos para muchos eventos simultáneamente - esto es la base de la tomografía sísmica.



# 7.1 Residuos en los tiempos de viaje

- Para un rayo, el tiempo de viaje es el integral de los incrementos de tiempo a través del camino de propagación. Para una onda P:

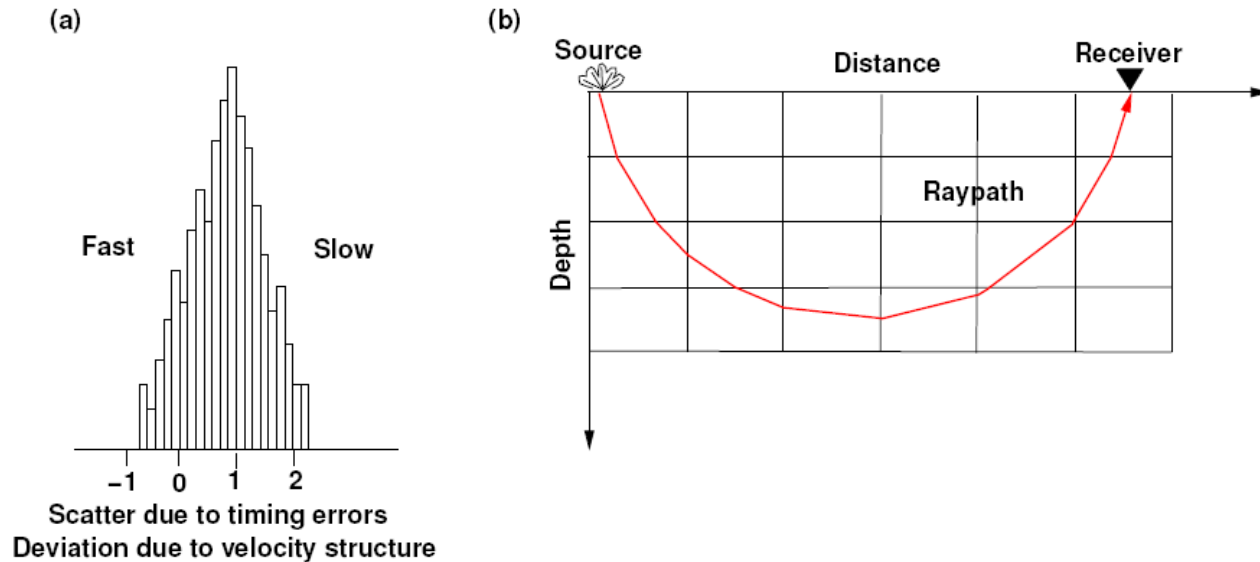
$$t_A \approx \int_{\text{rayo}_A} \alpha^{-1}(\mathbf{r}) ds \quad (7.2)$$

- El residuo para este rayo entonces tiene la siguiente forma, donde el subíndice  $r$  indica el modelo de referencia:

$$\Delta t_A = \int_{\text{rayo}_A} [\alpha^{-1}(\mathbf{r}) - \alpha_r^{-1}(\mathbf{r})] ds \quad (7.3)$$

- Si encontramos un modelo de referencia que mas parece la situación actual, los residuos deberían acercarse al cero.
- Pero los residuos nunca van a llegar al exactamente cero, debido a la imprecisión que existe en la elección de los tiempos de llegada de las fases sísmicas.

# 7.1 Residuos en los tiempos de viaje



- Siempre en estos tipos de problemas se defina el modelo de velocidades como bloques con una velocidad uniforme.
- Se puede usar la ley de Snell para calcular el camino del rayo. Además se conoce la distancia que viaja el rayo en cada bloque, y entonces el tiempo que demora el rayo en cada bloque.

## 7.2 El sistema de ecuaciones para resolver

- Con  $b_k$  el tiempo de viaje dentro del bloque  $k$ , y  $\delta v_k$  la perturbación relativa de velocidad dentro del bloque podemos definir el residuo:

$$t_{resid} \equiv r = \sum_k b_k \delta v_k \quad (7.5)$$

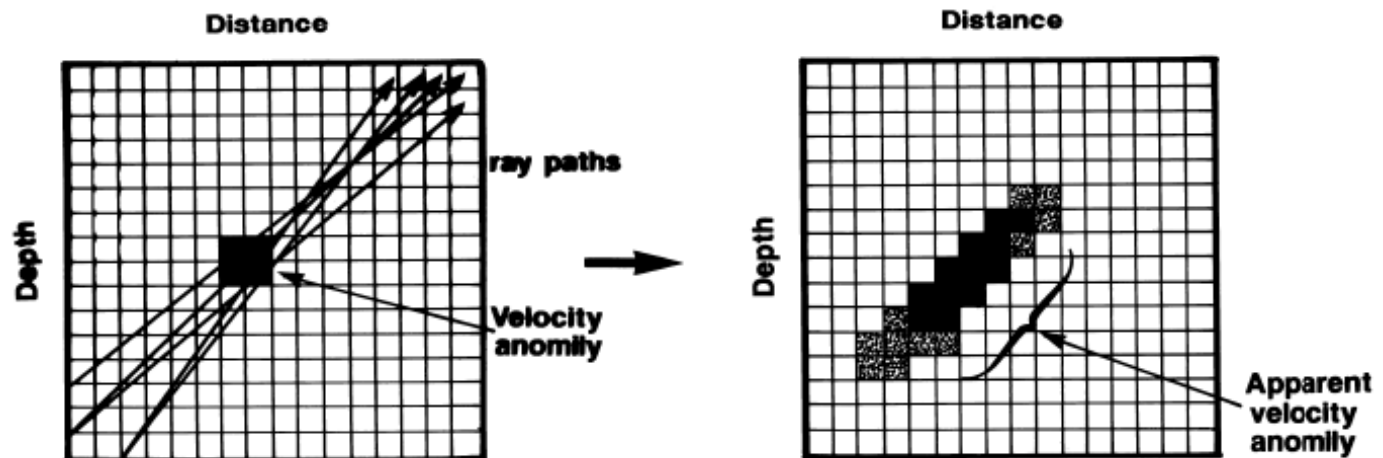
- Para  $n$  rayos, de diferentes caminos fuente-receptor, y  $m$  bloques que definen el modelo de velocidades:

$$r_i = \sum_{j=1}^m b_{ij} \delta v_j \implies \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0.2 & 0 & 0 & \dots \\ 1.3 & 0 & 0.3 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0.1 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0.1 & 0 & 0 & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta v_1 \\ \delta v_2 \\ \delta v_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \delta v_m \end{pmatrix} \quad (7.6)$$

- Los números en la matriz representan los tiempos de viaje del rayo por los bloques individuales.

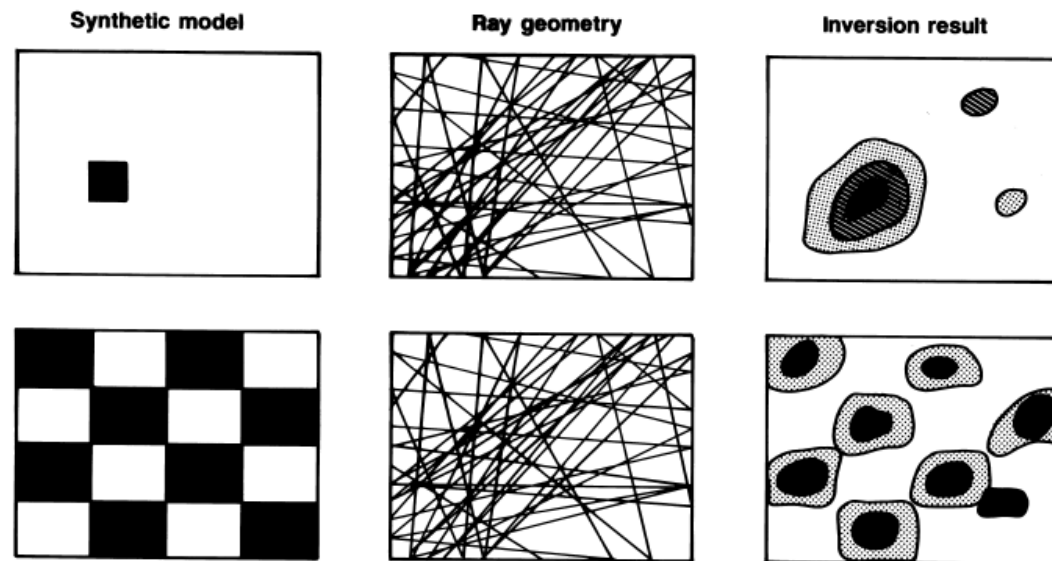
## 7.2 El sistema de ecuaciones para resolver

- La ecuación (7.6) debe ser solucionada simultáneamente para todos los rayos, es un problema inverso para minimizar los residuos y producir el modelo 3-D.
- Este problema inverso tiene  $m$  desconocidos, entonces se necesitan muchos rayos para resolver los desconocidos.
- Además, se necesita que todos los bloques en el modelo de velocidad estén “tocados” por varias rayos.
- Para una solución única, también es necesario que los rayos se crucen.



## 7.2 Pruebas de resolución

- La mejora manera de ver la resolución de la tomografía obtenida es ver si la geometría de los rayos puede resolver un modelo de velocidades sintéticos, típicamente de estilo “tablero de ajedrez”.
- Una serie de tiempos de viaje sintéticos es creada para un modelo simple de velocidades usando los mismos rayos que tiene los datos actuales; los tiempos de viaje sintéticos después son invertidos para ver si el modelo inicial se recupera.





## 7.3 Complicaciones

- La compensación entre las anomalías de velocidad y las ubicaciones de los terremotos.
- La estructura a pocas profundidades no resuelta.
- La embadurnada de anomalías de velocidad (ver Figura).
- La desviación del camino del rayo de lo del modelo de referencia.
- Las suposiciones de la teoría de rayos.
- La otra multitud de aproximaciones y suposiciones que se toman en un estudio tomográfico.
- La sobre-interpretación de los modelos tomográficos. Es difícil saber si características del modelo al límite de resolución realmente existen.





## 7.4 Otros tipos de tomografía

- Tomografía usando ondas de superficie.
- Tomografía de ruido sísmico ambiental (viene muy pronto).

# 7.5 Modelos de tomografía global

