



Introducción a la Interpretación Sísmica

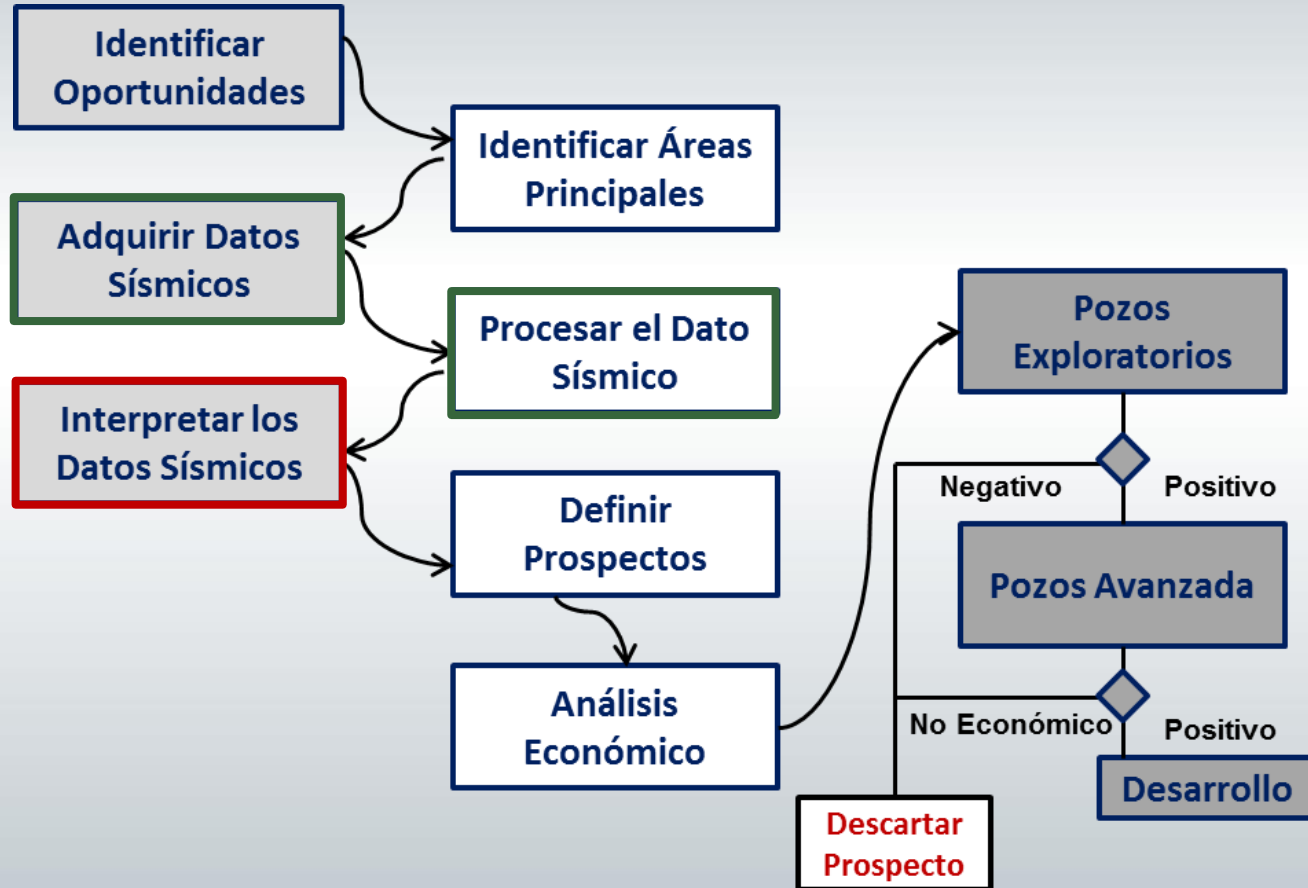
Malargue, Mendoza - 8 de Junio de 2015



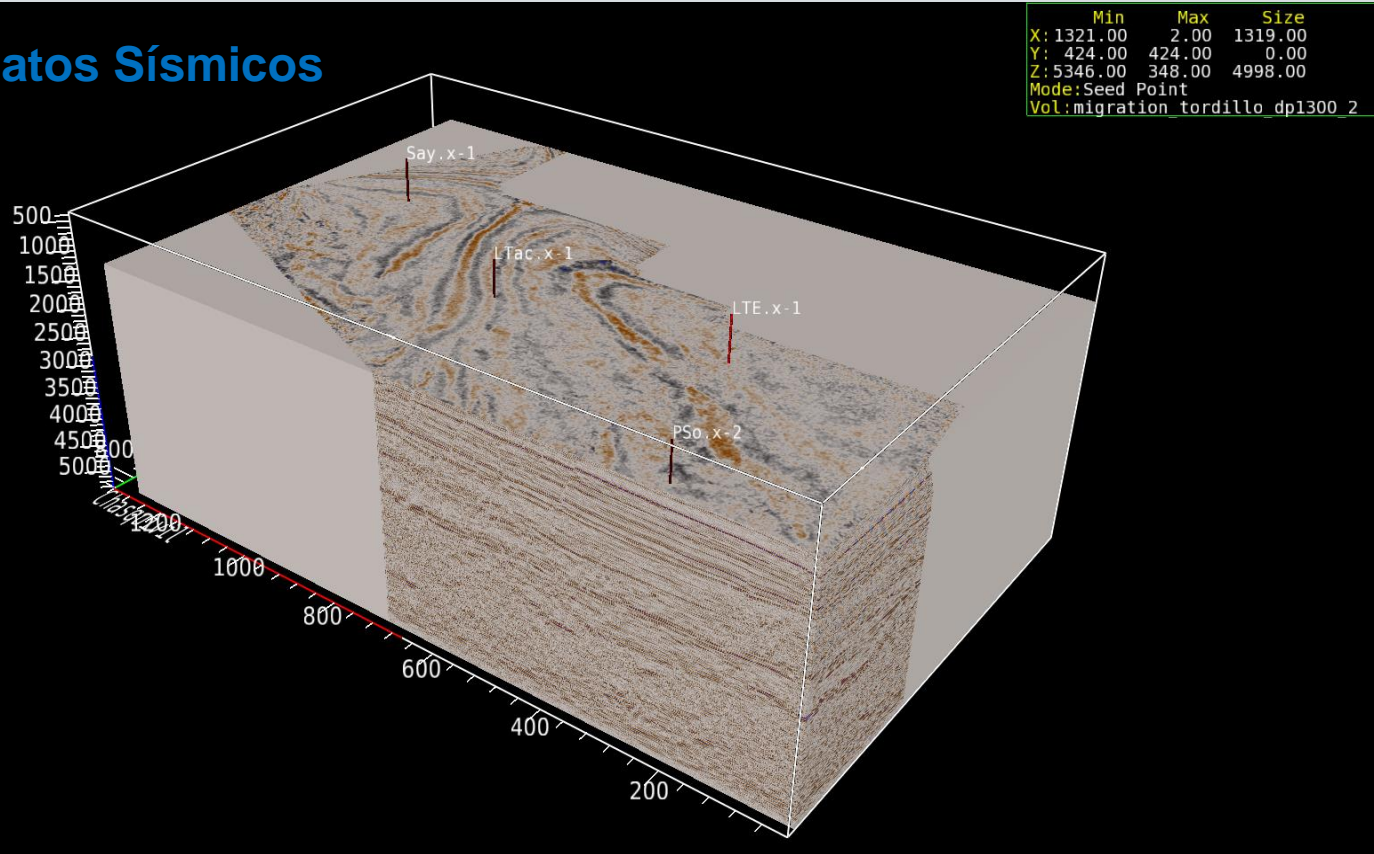
Nociones de **Interpretación Sísmica** previo al dictado del curso de Estratigrafía de Rocas Clásticas y Carbonáticas

Que son los datos sísmicos?

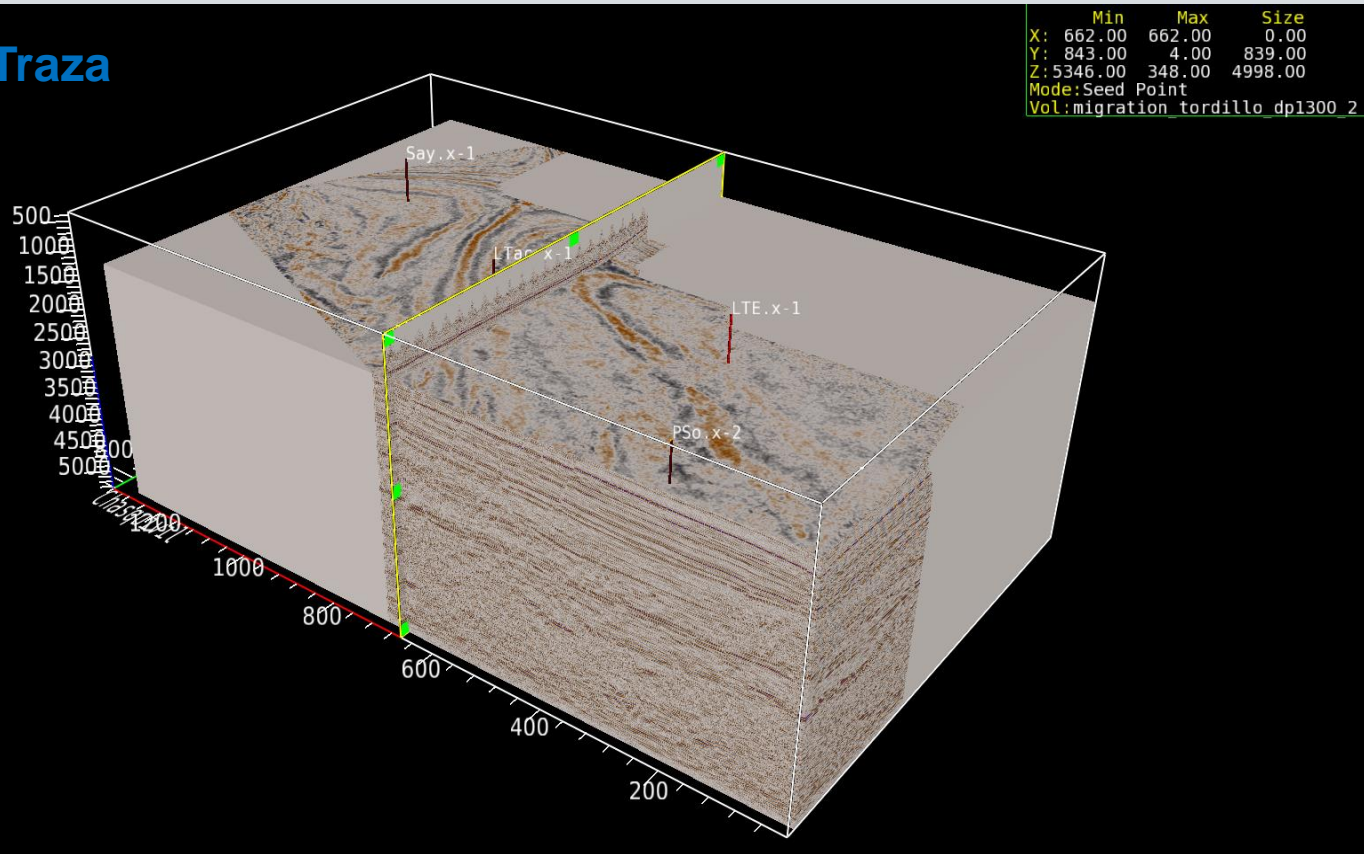
Para que sirve interpretarlos?



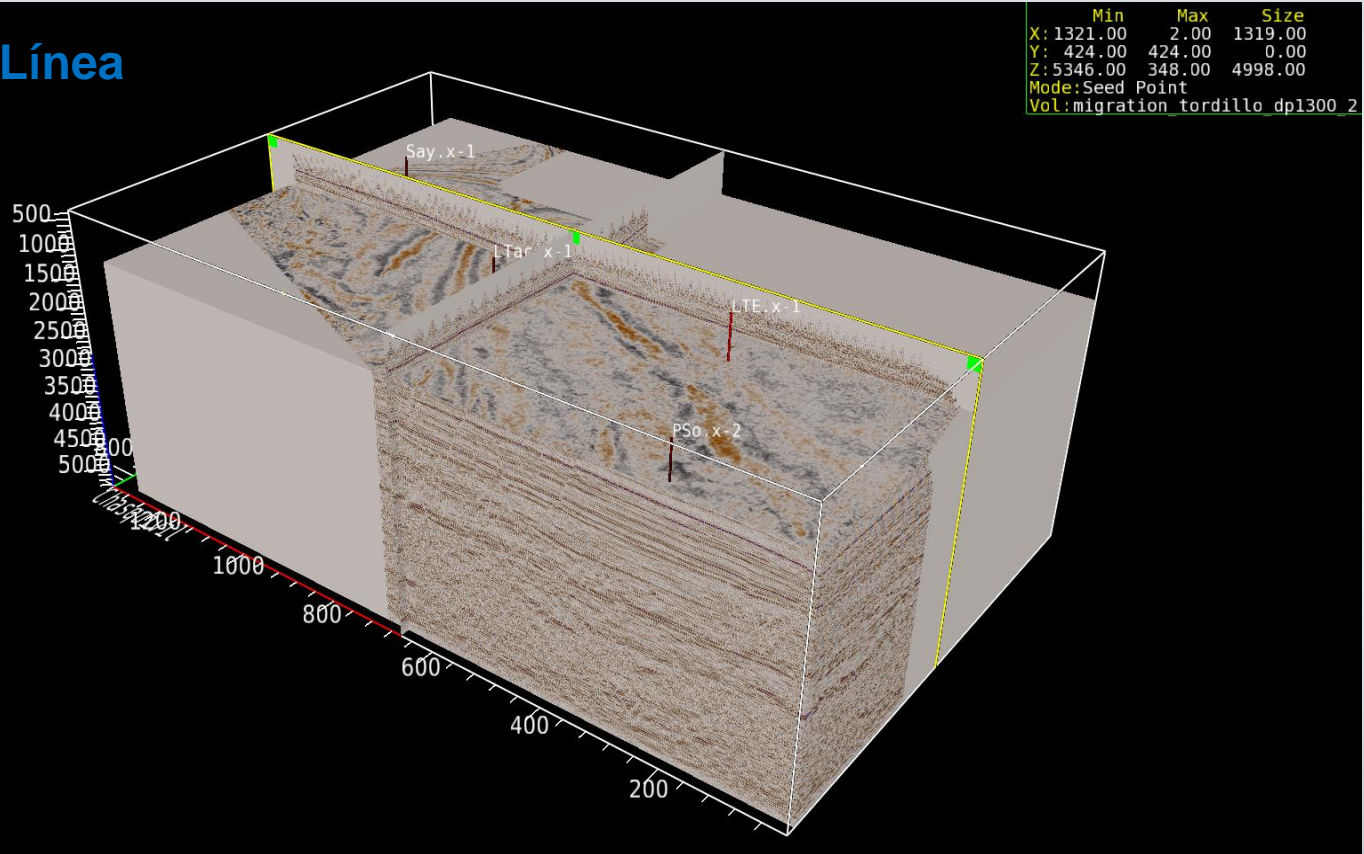
Cubo Datos Sísmicos



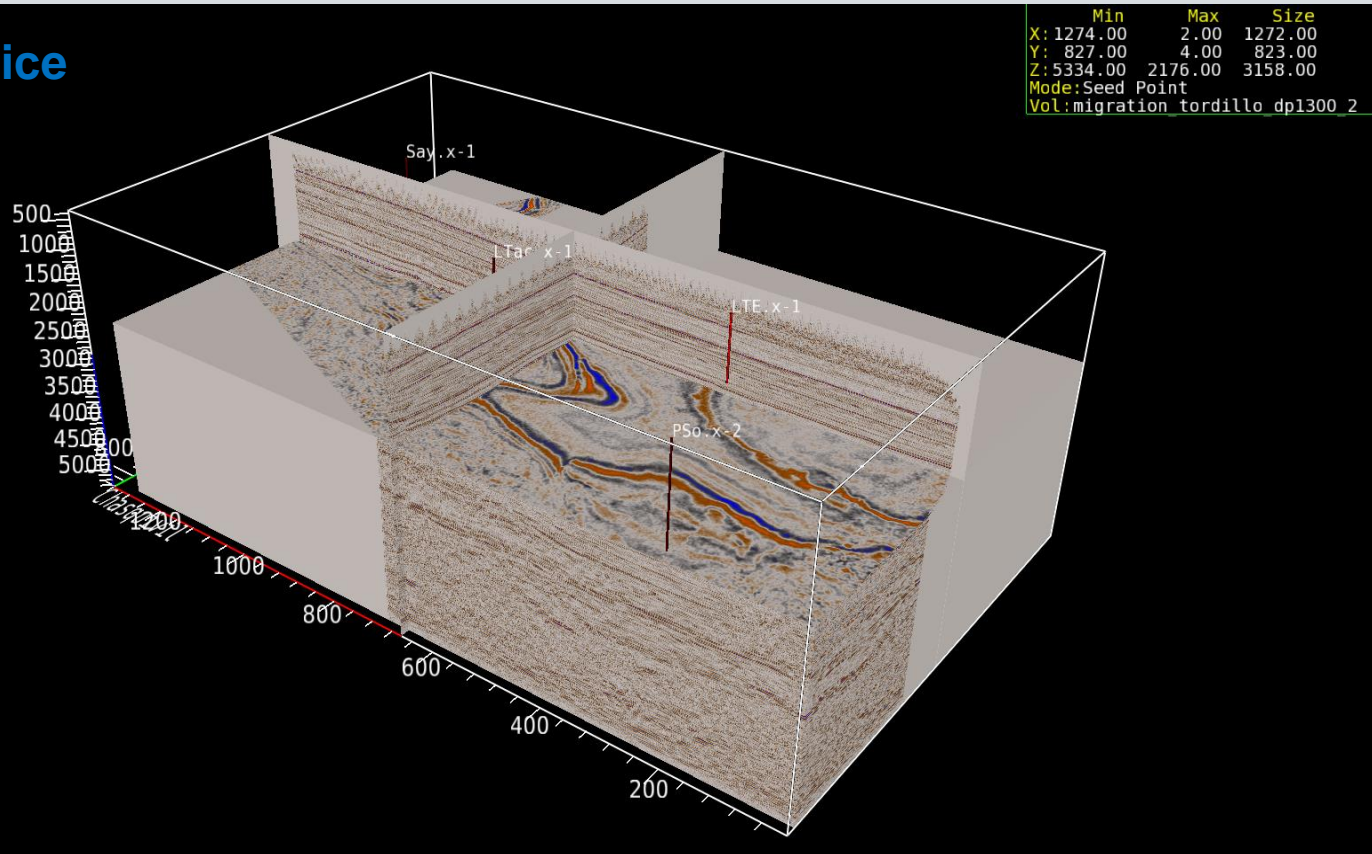
Xline - Traza



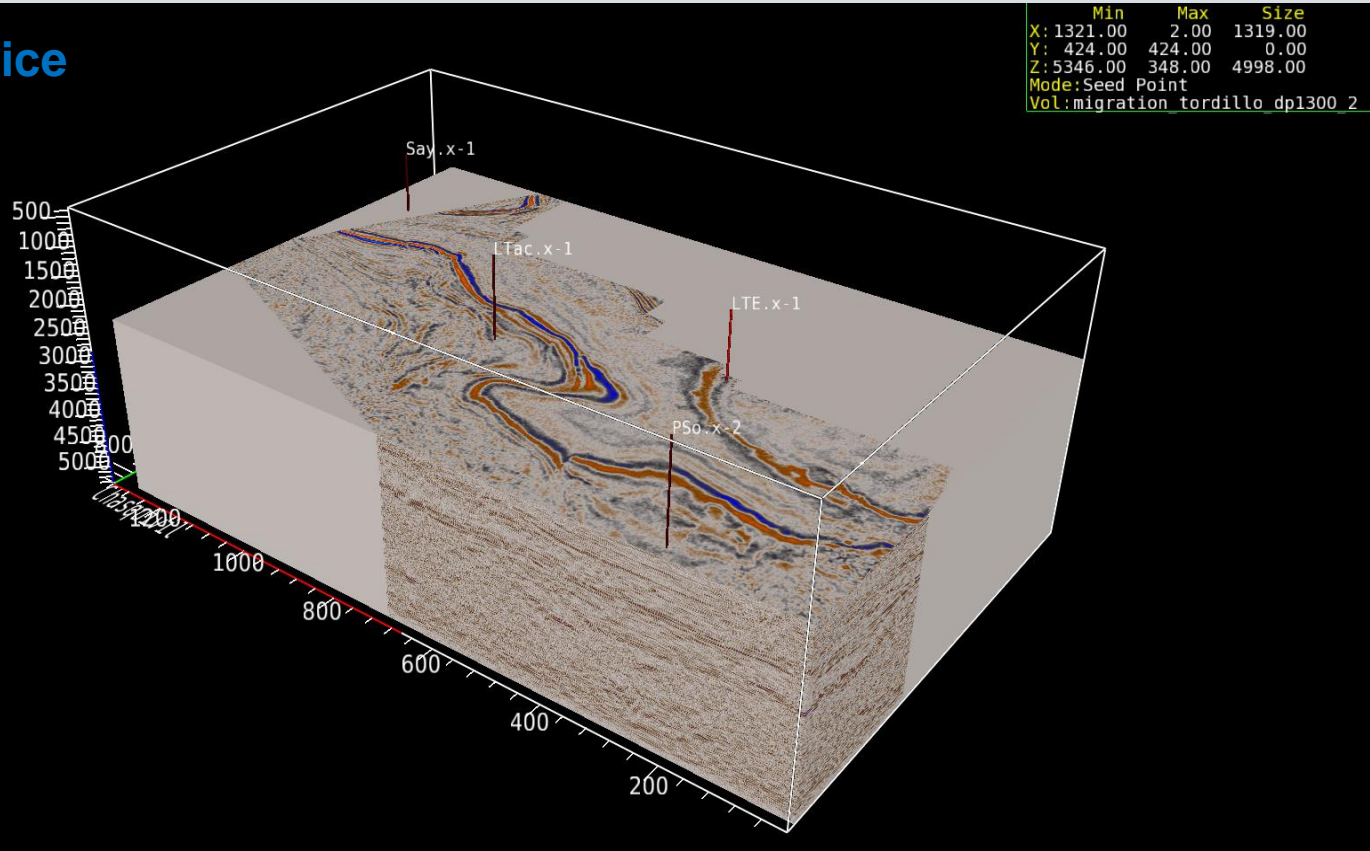
Inline - Línea

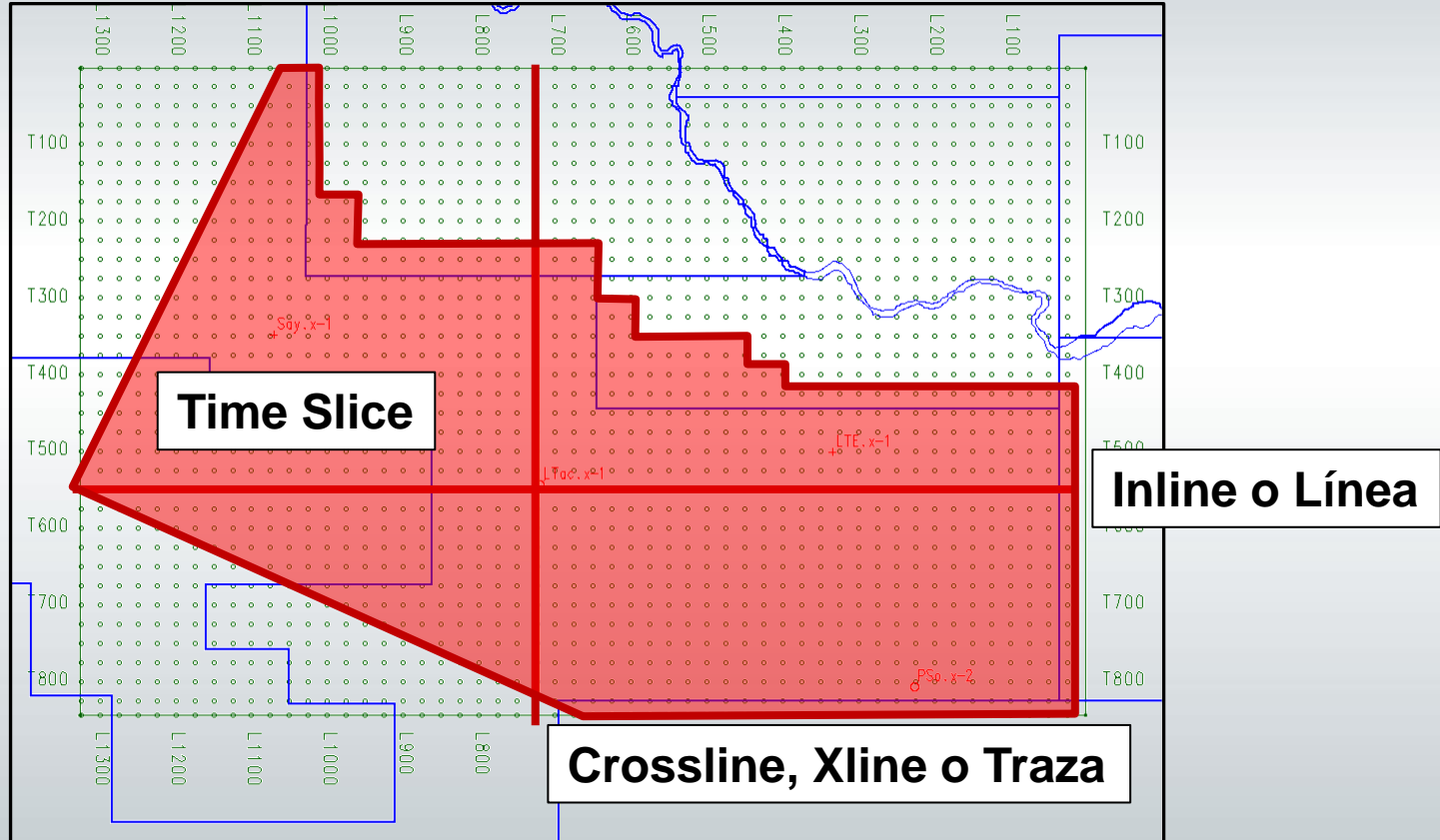


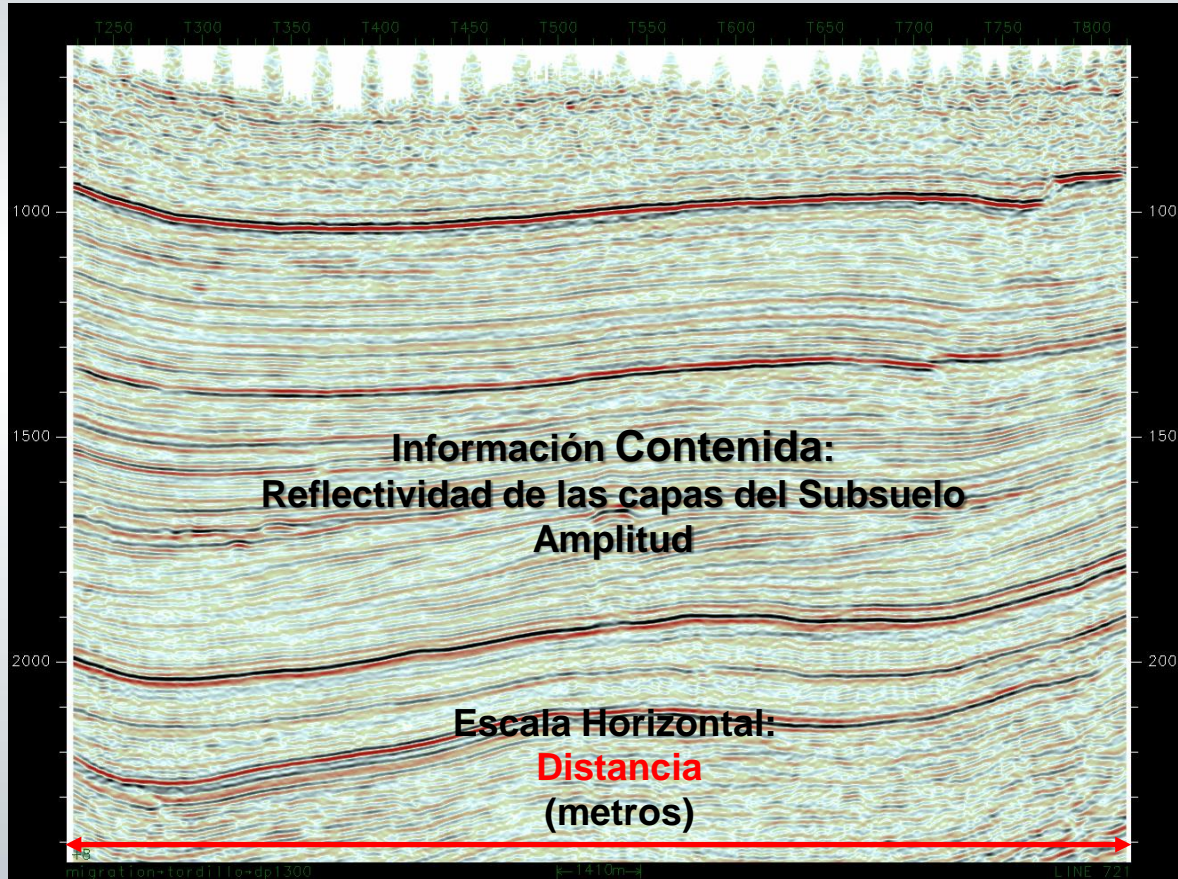
Time Slice



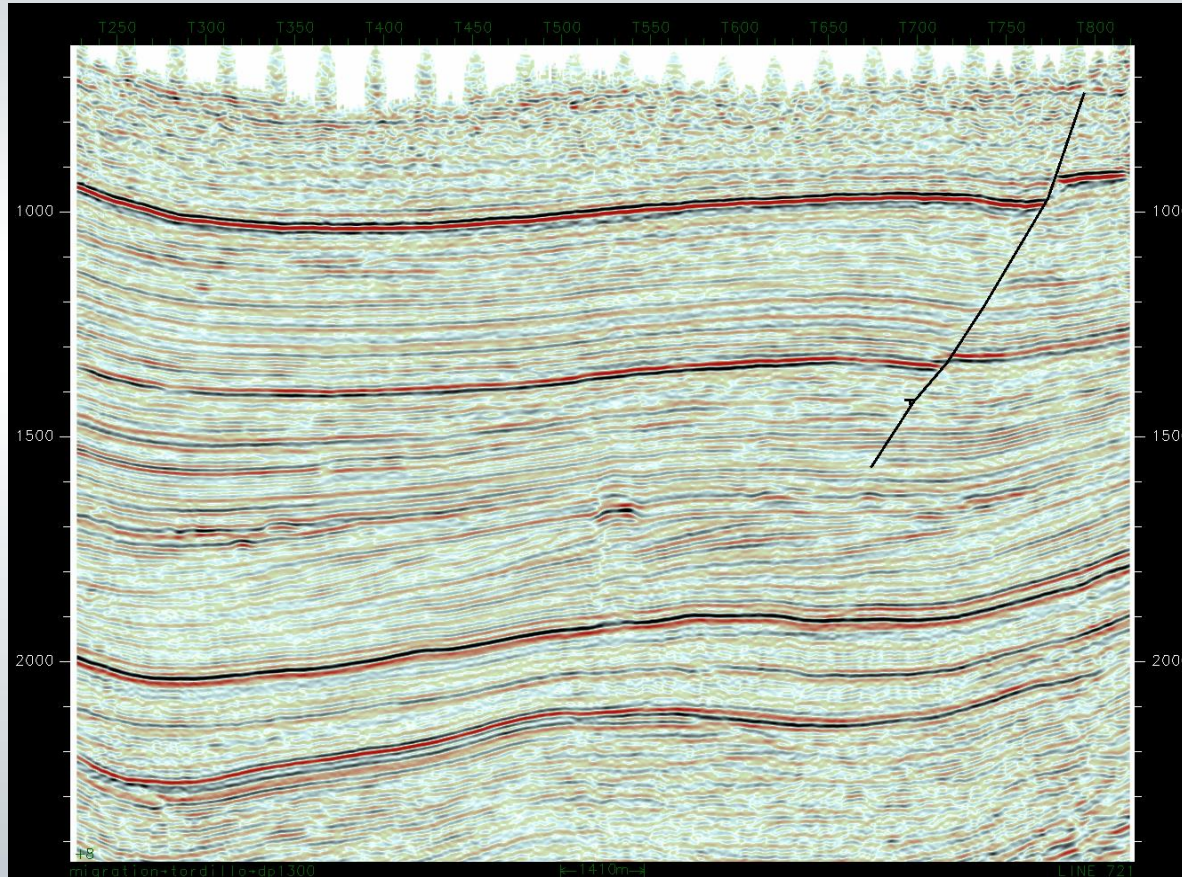
Time Slice



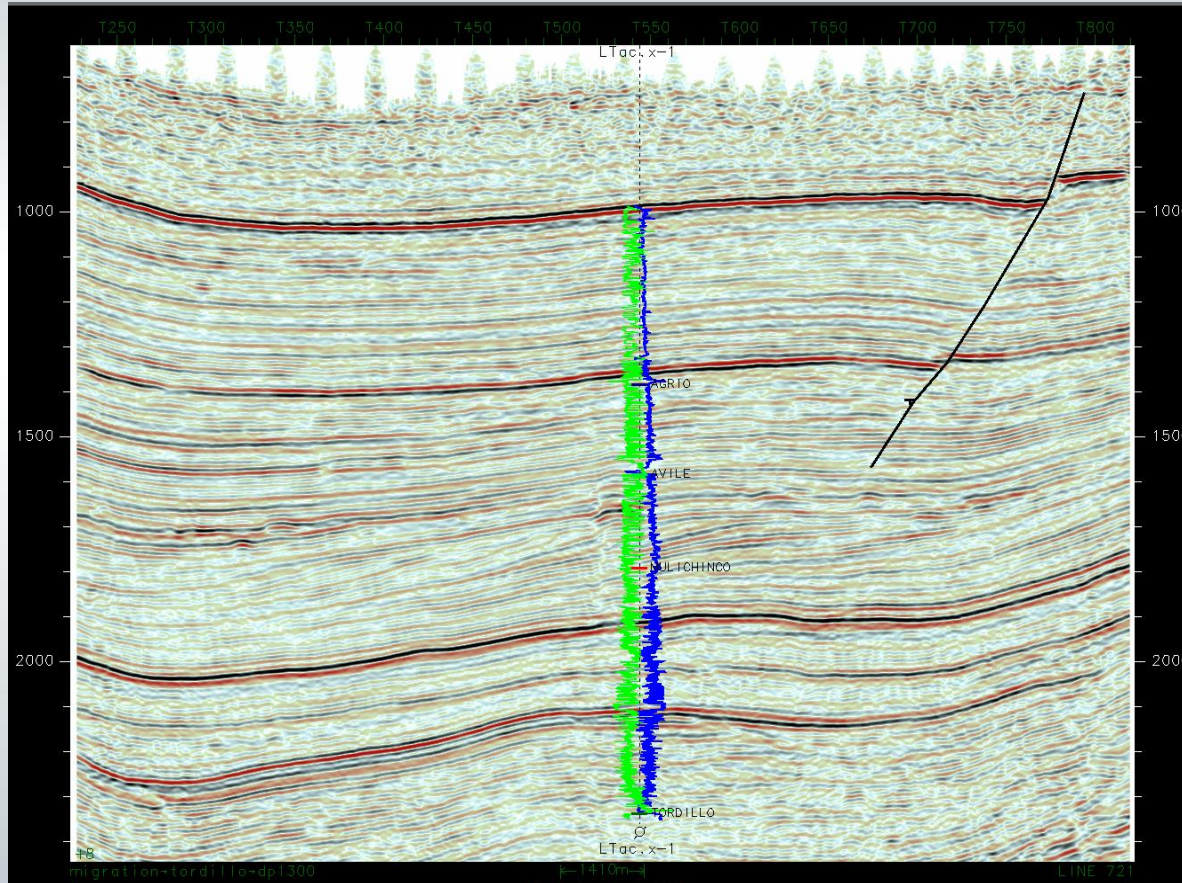




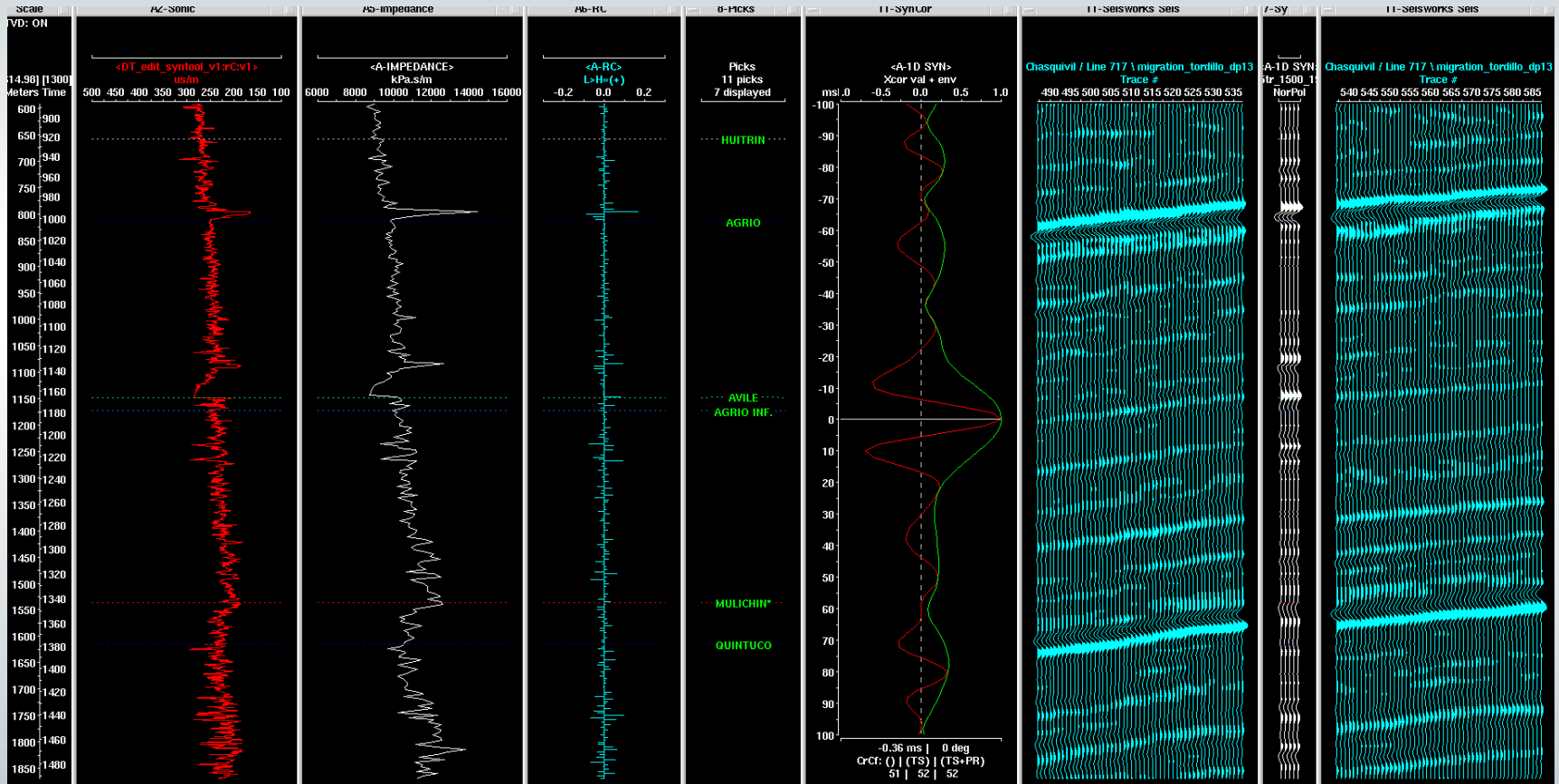
Escala Vertical:
 Tiempo
 Two-way Time
 (milisegundos)

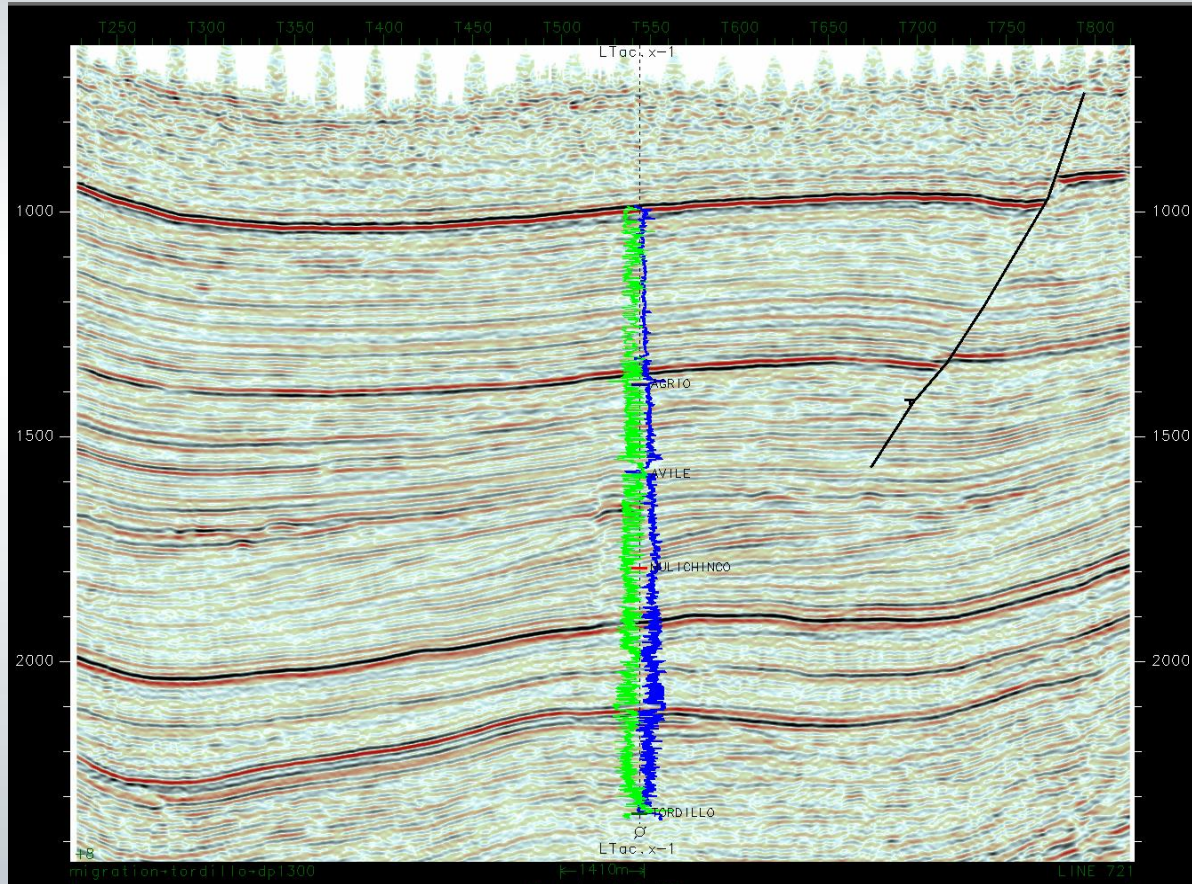


Interpretación Estructural
Fallas

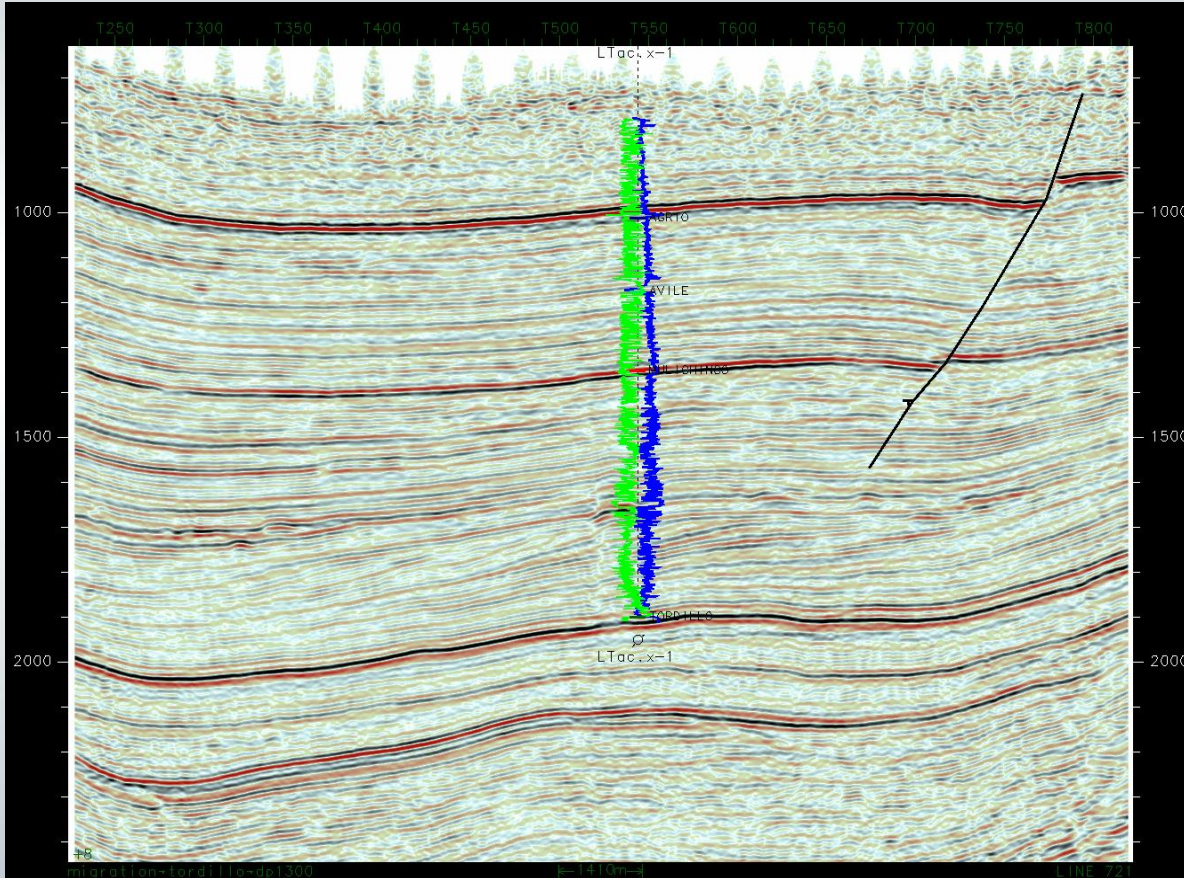


Ajuste de Pozos

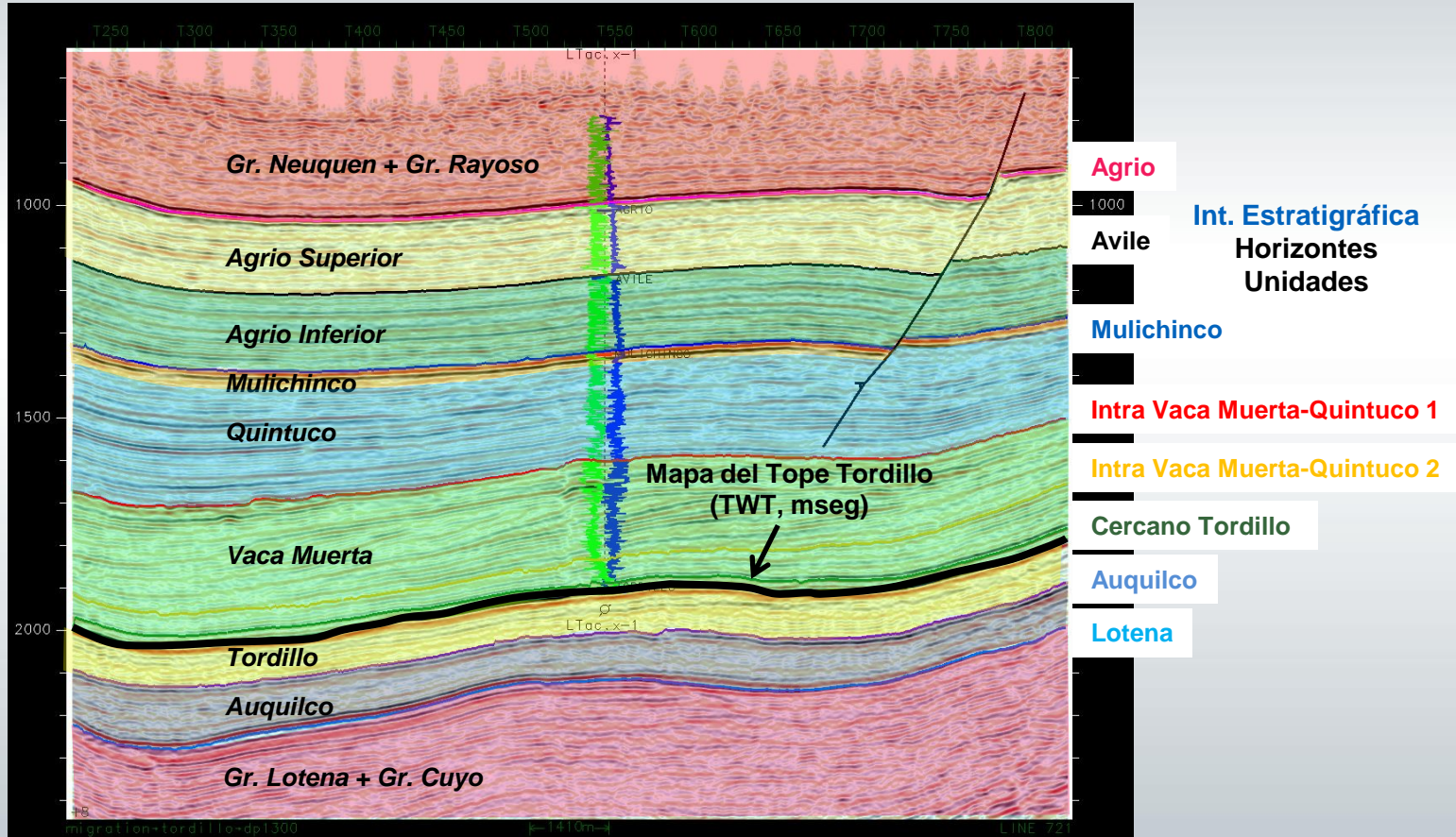




Ajuste de Pozos

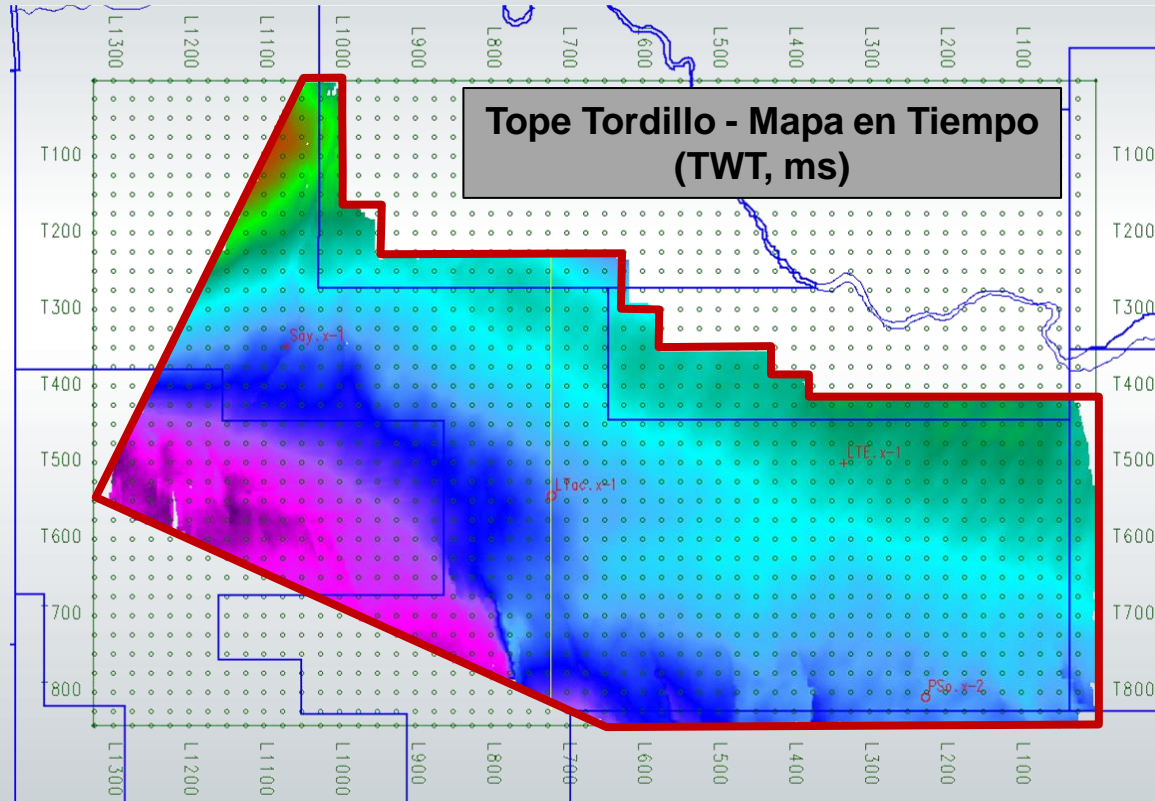
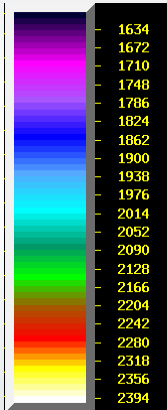


**Ajuste de Pozos
Shift**



Mapeo

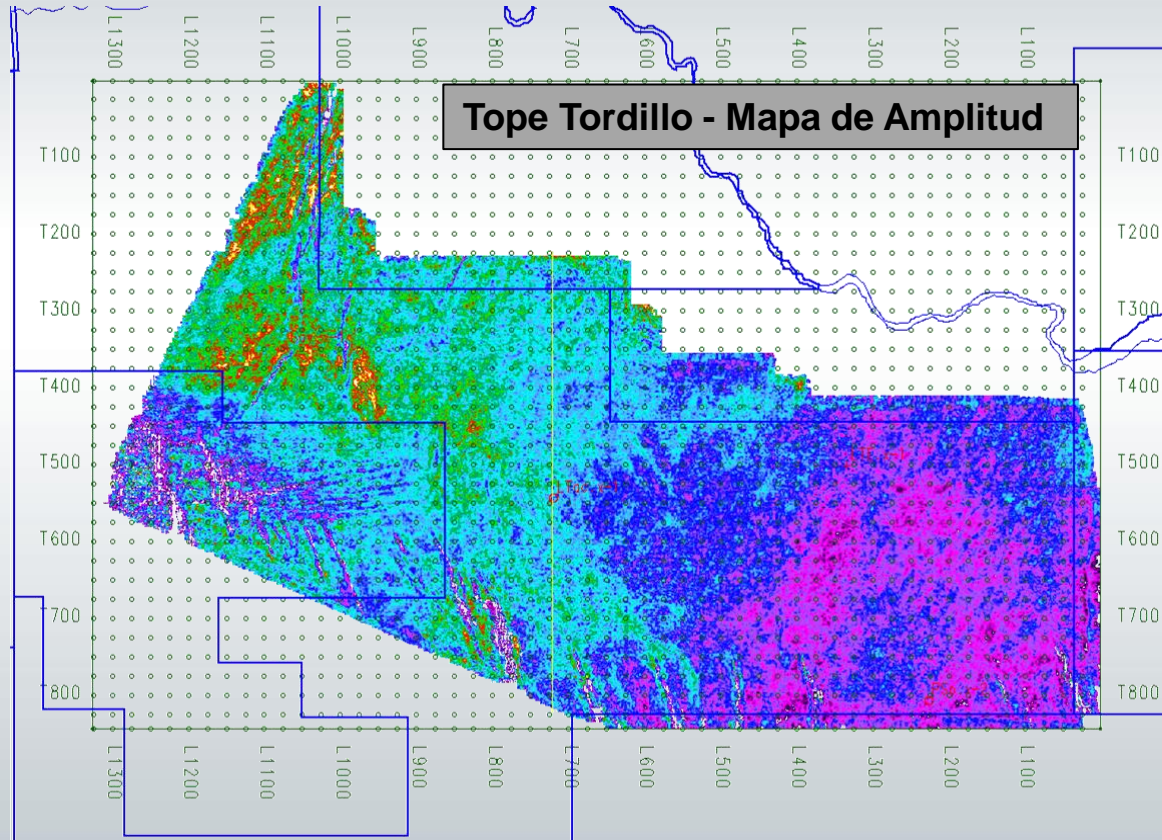
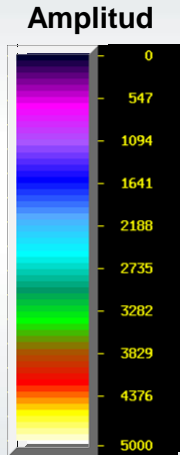
Tiempo



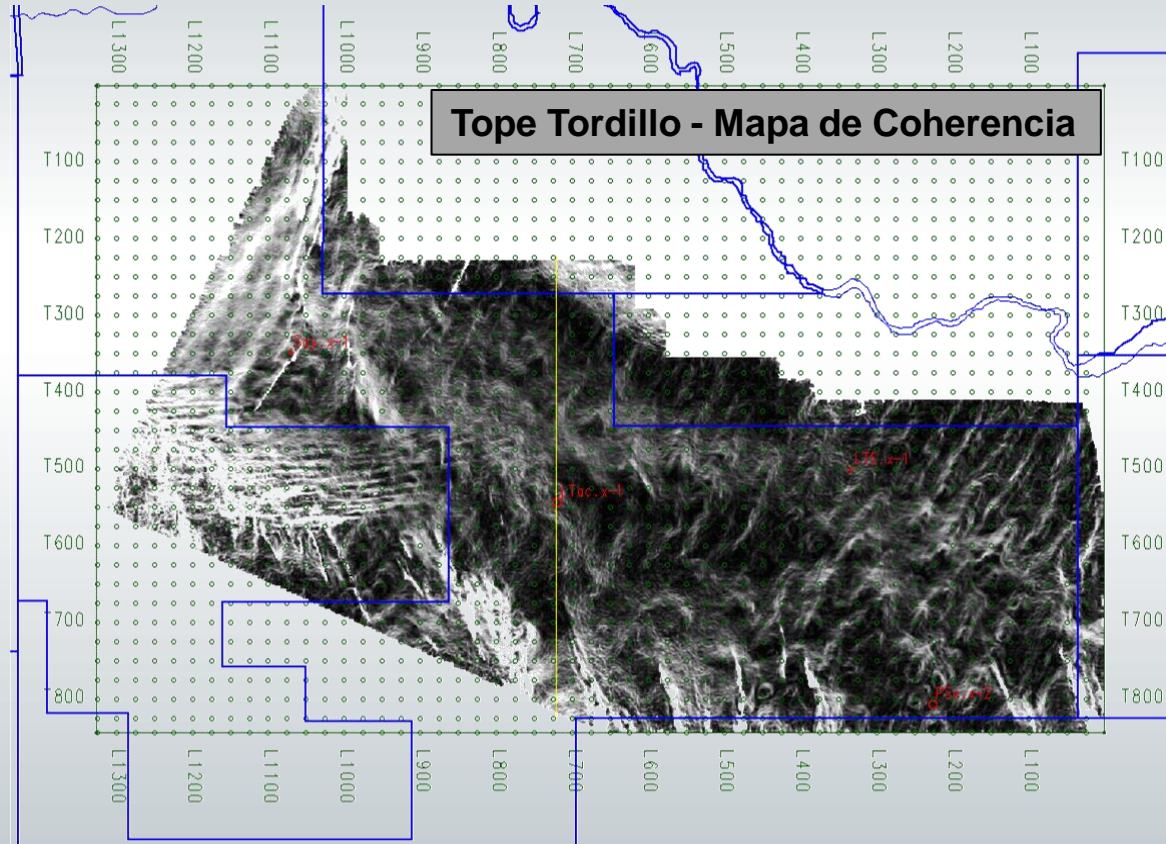
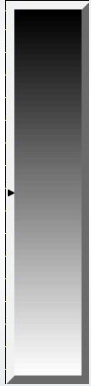
- Forma
- Altos
- Bajos
- Sinclinales
- Anticlinales
- Fallas
- Estructura

Atributos

- Estratigrafía
- Litologías
- Fluidos
- Problemas adquisición o procesamiento



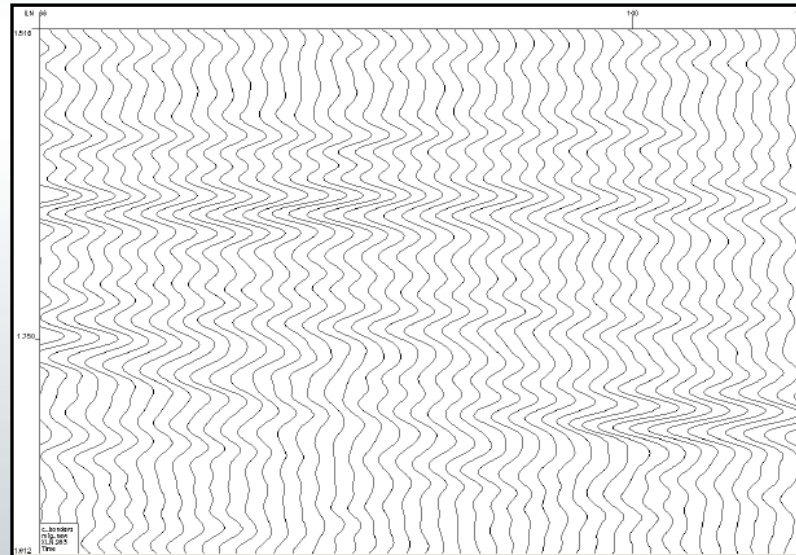
Coherencia

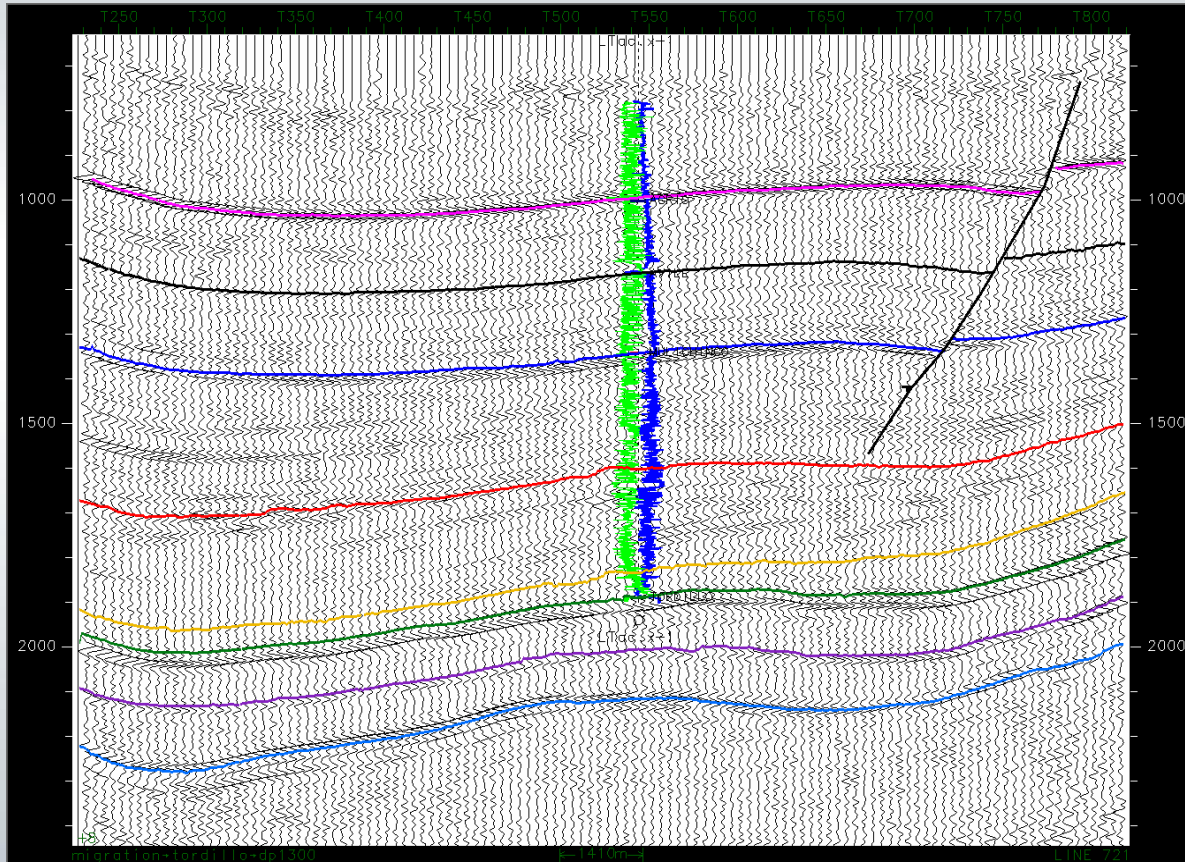


Atributos

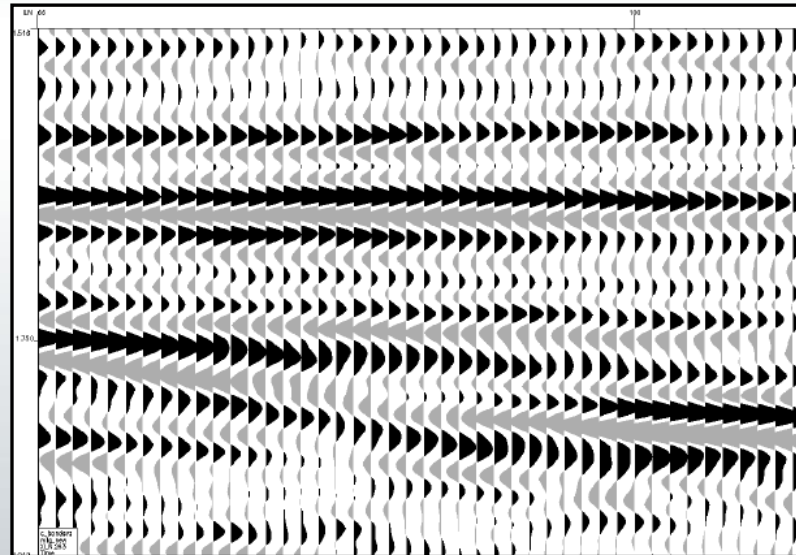
- Estructural
- Fallas
- Canales

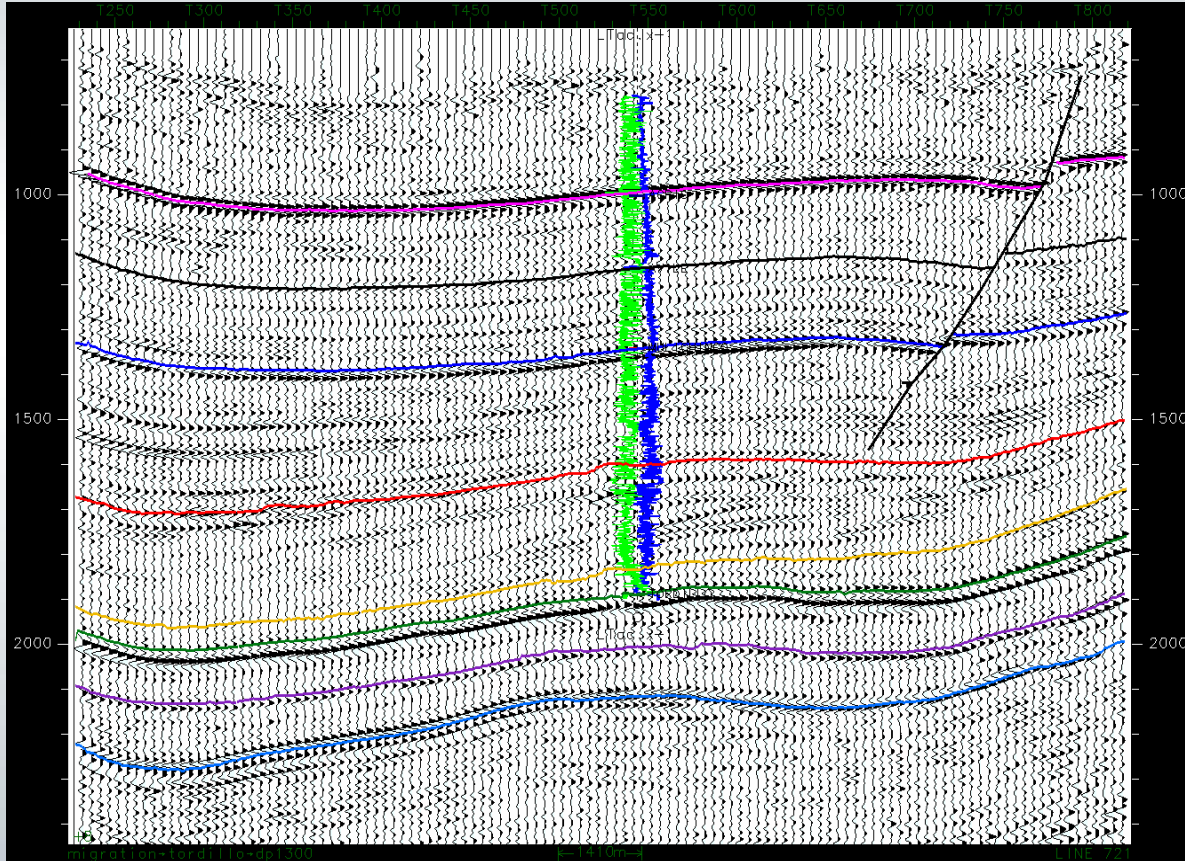
Wiggle: La amplitud de la reflexión se muestra como una deflexión horizontal respecto a la línea de base



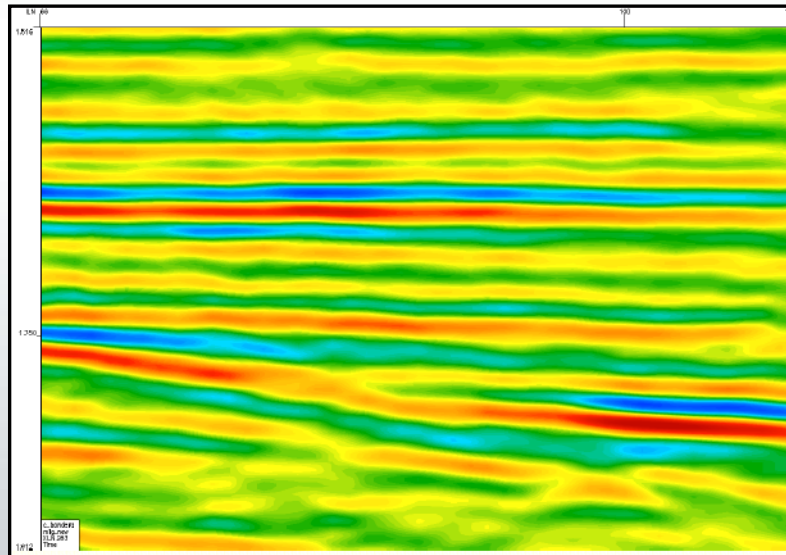


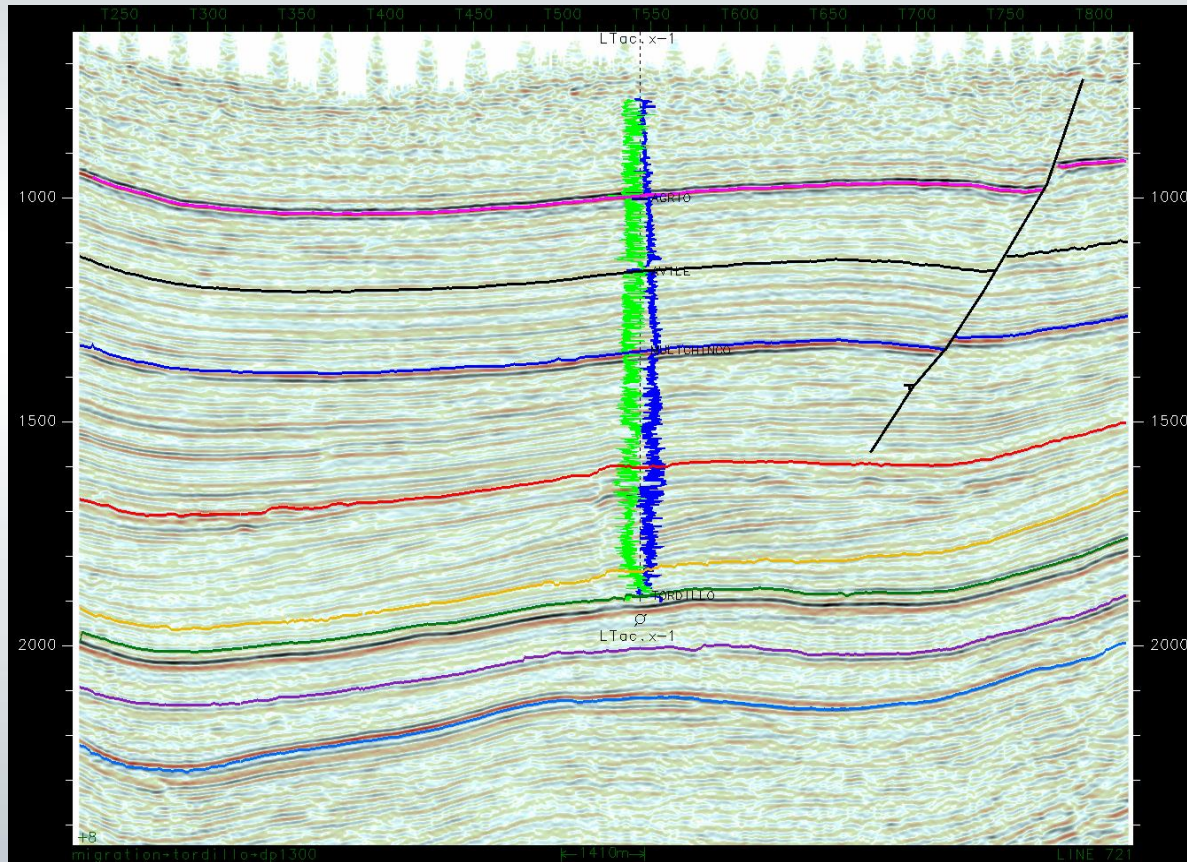
Área Variable: Picos en negro y valles en blanco, para resaltar la forma de onda



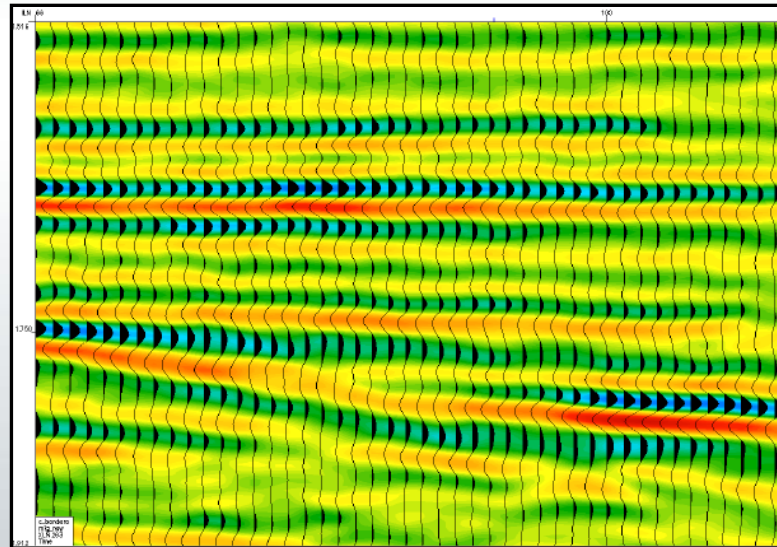


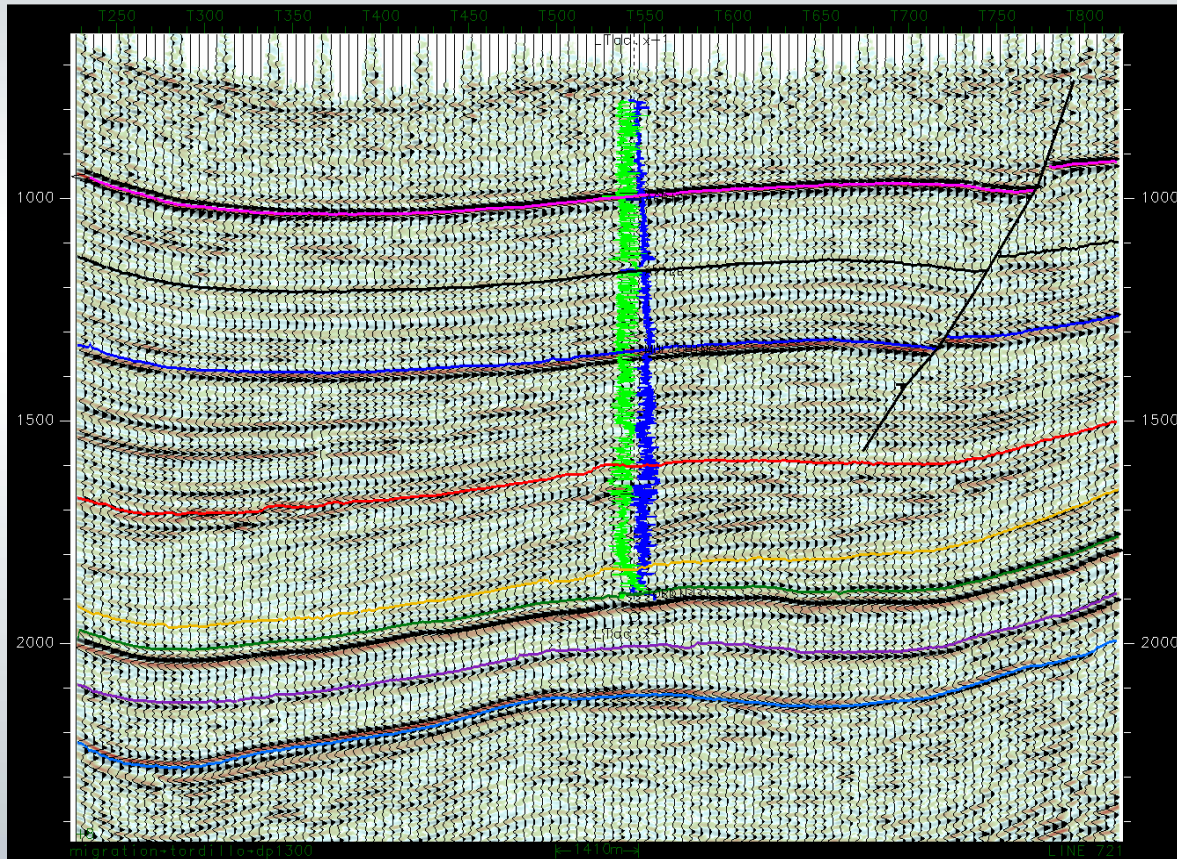
Intensidad Variable: Se resaltan los valores relativos de las amplitudes usando una paleta de color

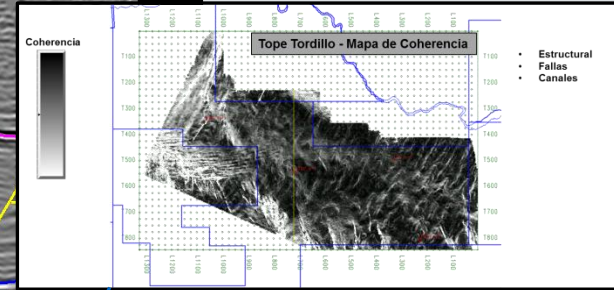
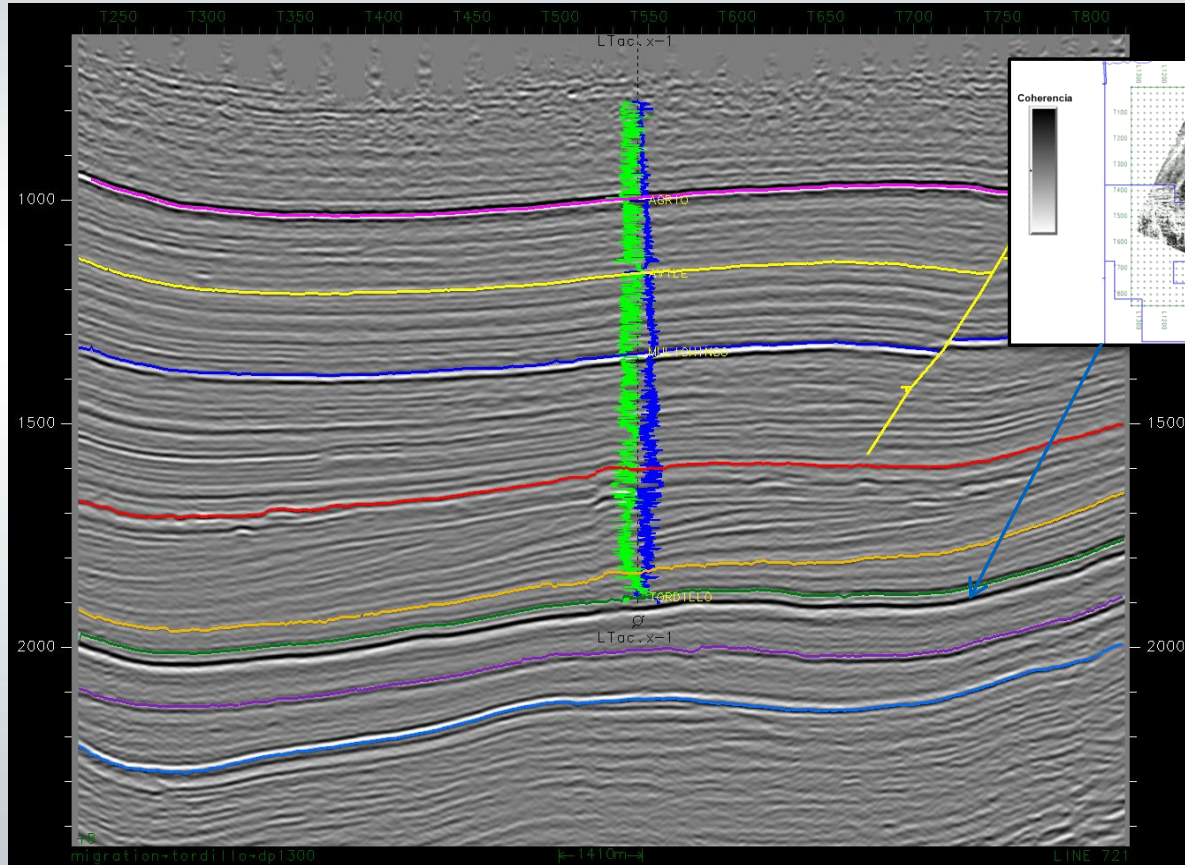


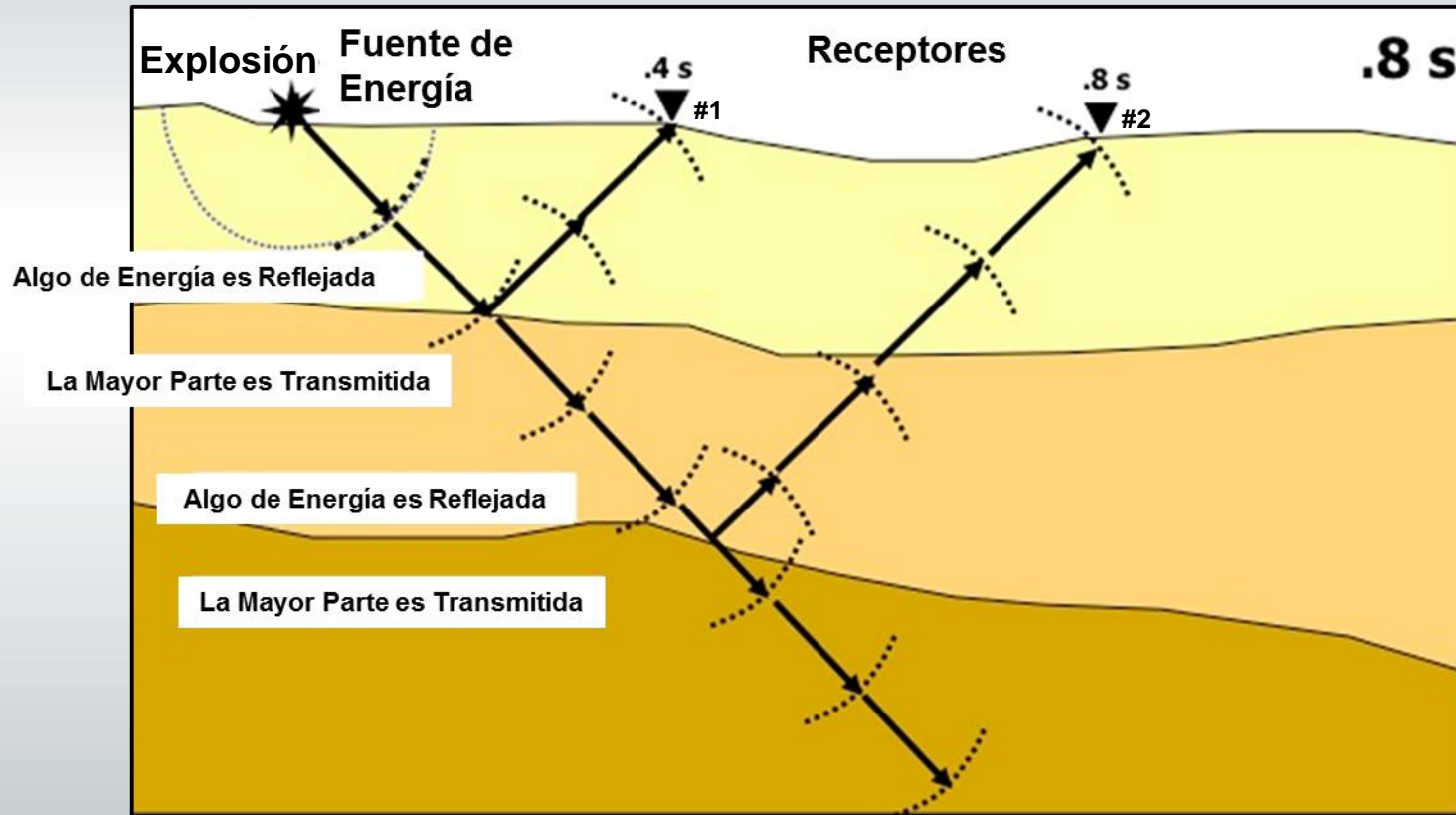


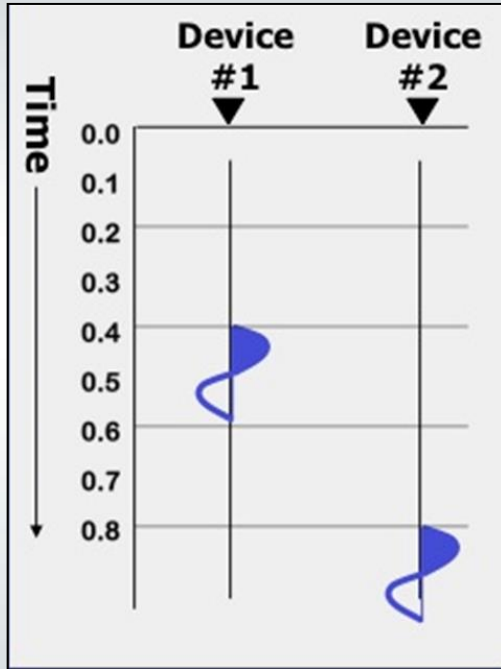
Wiggle + Intensidad Variable: Como la anterior pero resaltando variaciones de la forma de onda











Para la explosión que acabamos de considerar...

← El receptor #1 registra una reflexión que empieza a los 0,4 segundos

← El receptor #2 registra una reflexión que empieza a los 0,8 segundos

Para Visualizar el Subsuelo Utilizamos Muchas Fuentes (Explosiones o Vibraciones) y Receptores (dispositivos de escucha) dispuestos en líneas, tanto en tierra como en mar

- **Un estudio sísmico 3D se diseña en base a:**
 - **Objetivos de Visualización:** Área a visualizar, profundidad del objetivo, inclinaciones de las capas, velocidades, tamaño/espesor de los cuerpos a visualizar, etc.
 - **Parámetros de adquisición:** Área del estudio, fold, offsets, intervalo de muestreo, dirección de disparo, etc.
 - **Balance** entre la Calidad de los datos y el Presupuesto (\$) disponible.



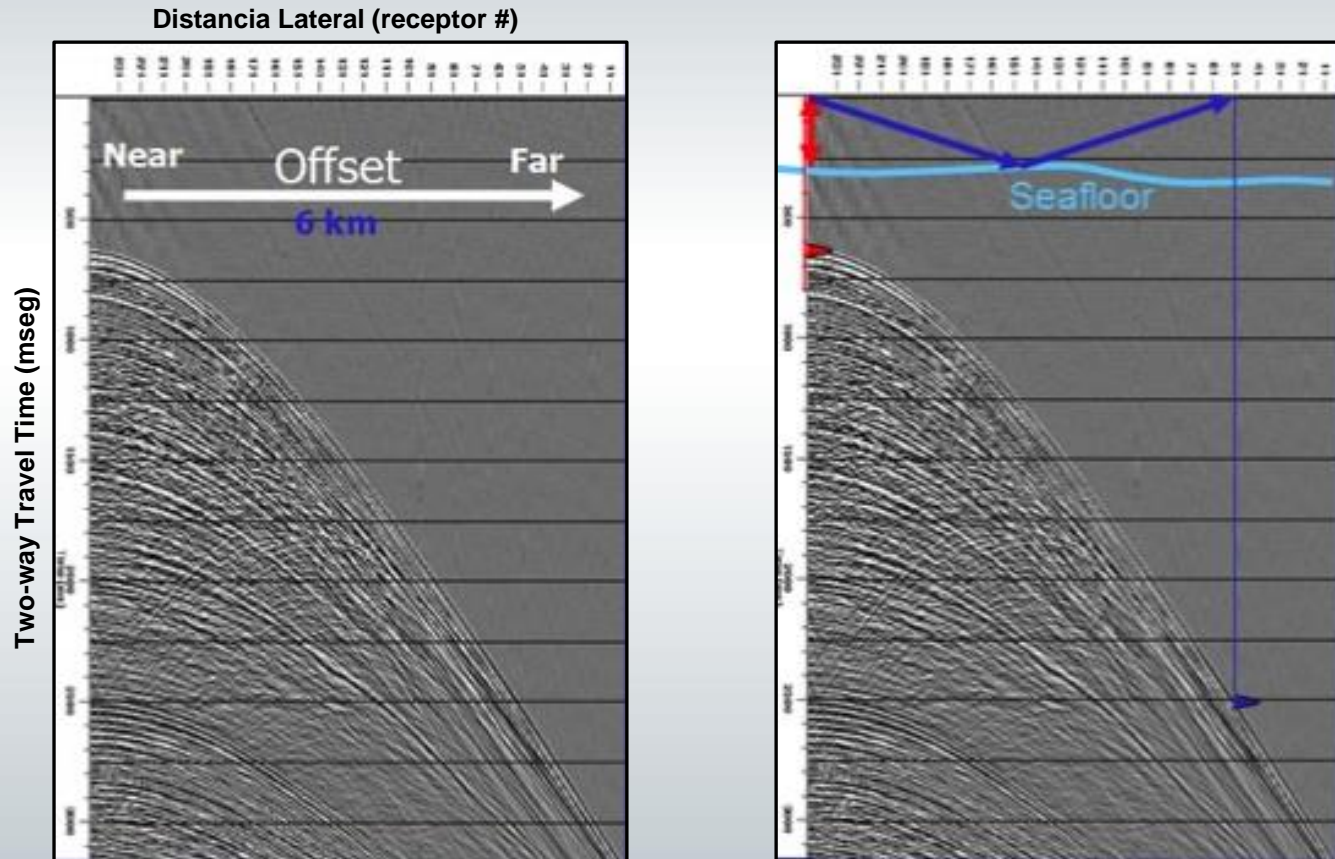
Operaciones Terrestres

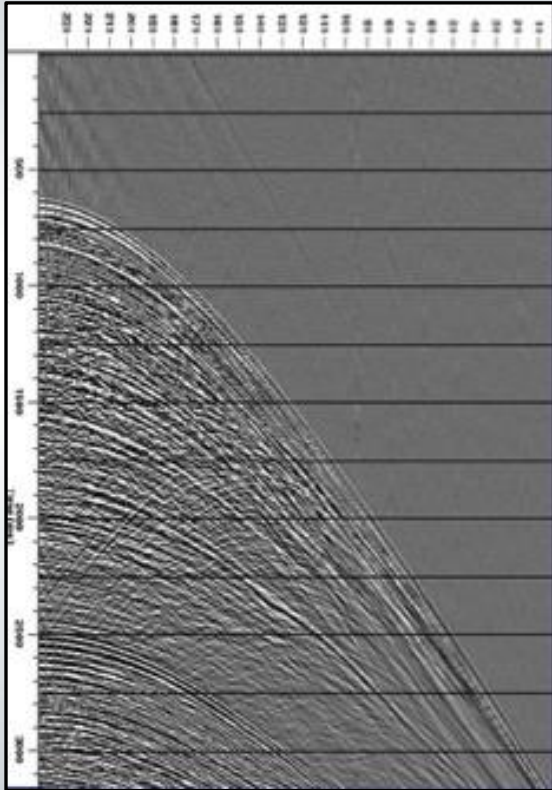
Los Vibradores generan una perturbación
Los Geófonos detectan el Movimiento



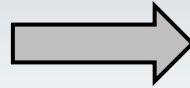
Operaciones Marinas

Los Cañones de Aire generan una perturbación
Los Hidrófonos detectan la Presión

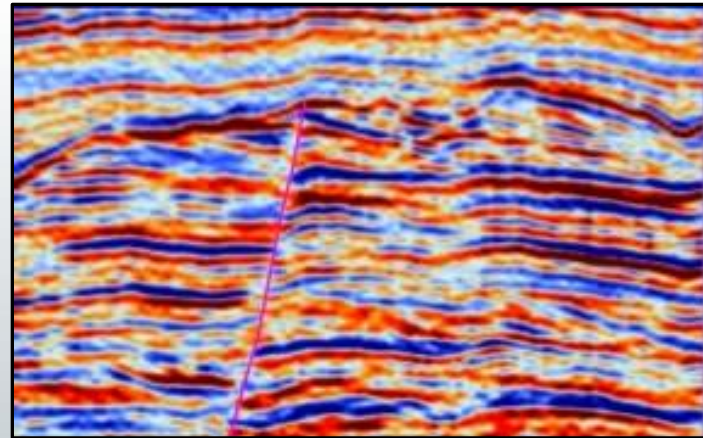
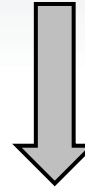




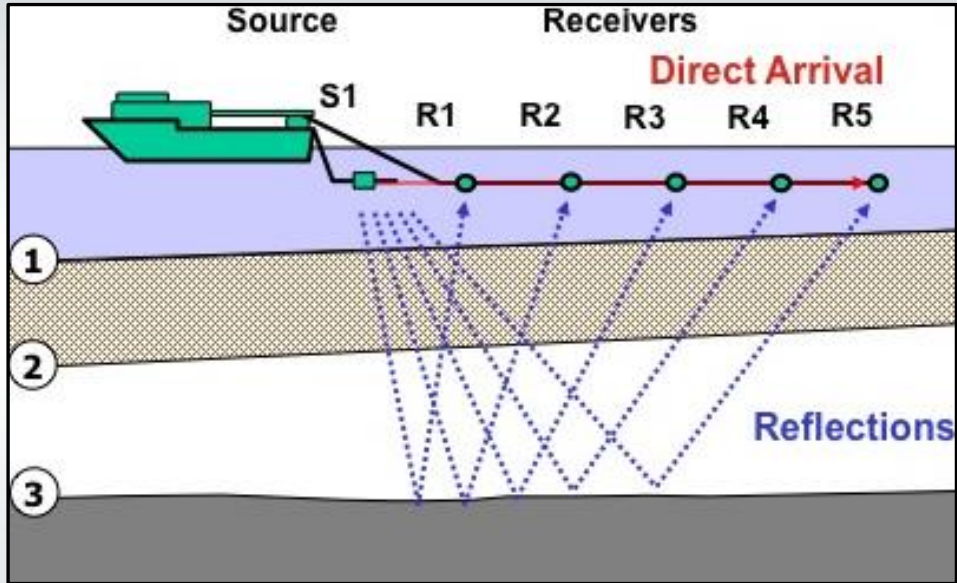
Registro de Campo
(marino)



Flujo de Procesamiento
del Dato Sísmico

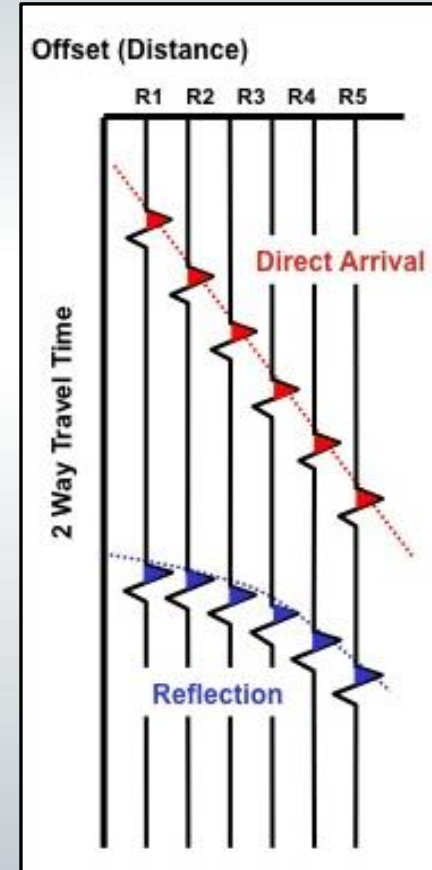


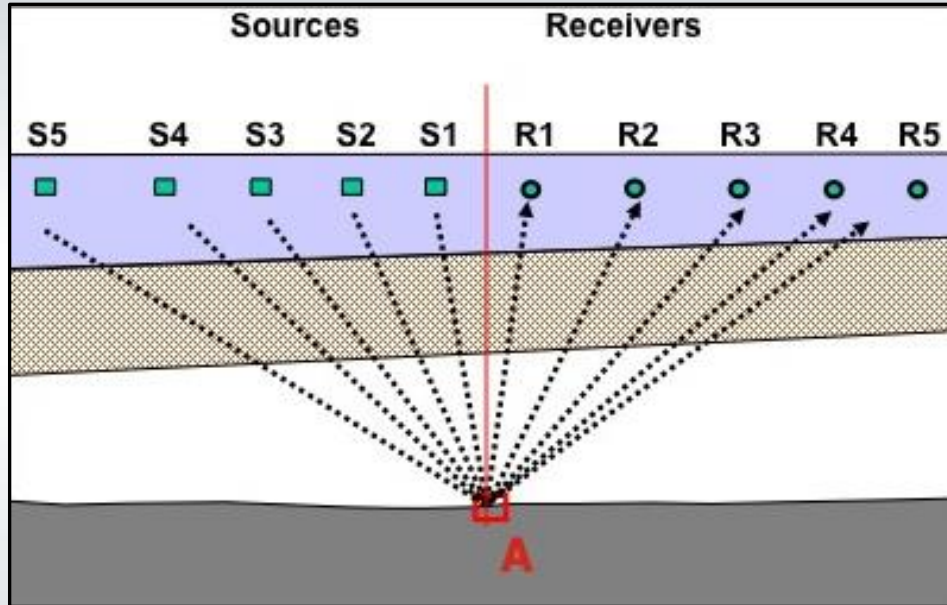
"Imagen" de Subsuelo



Para cada disparo, se registran las reflexiones en los 5 receptores

Hay 5 puntos de “rebote” a lo largo de la interfase 3

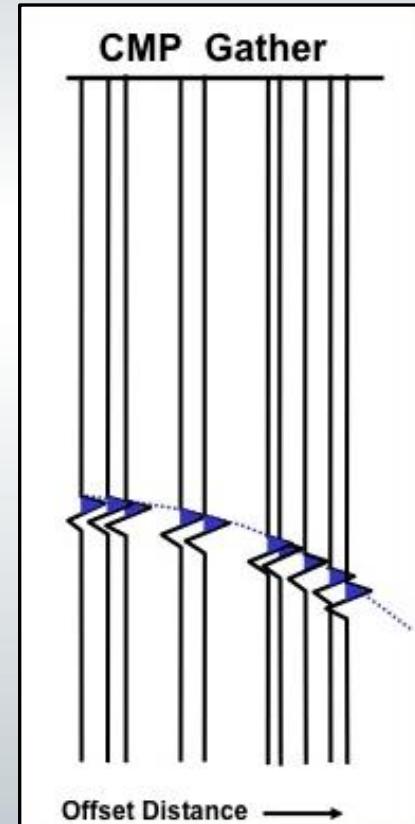


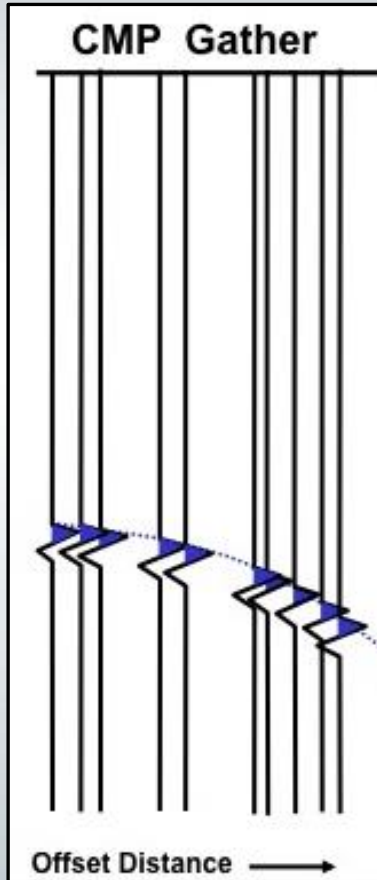


Seleccionamos los pares fuente-receptor de modo tal de capturar los datos provenientes del mismo punto de “rebote” (por ej, A)

CMP = Common Mid Point

Para el Punto A

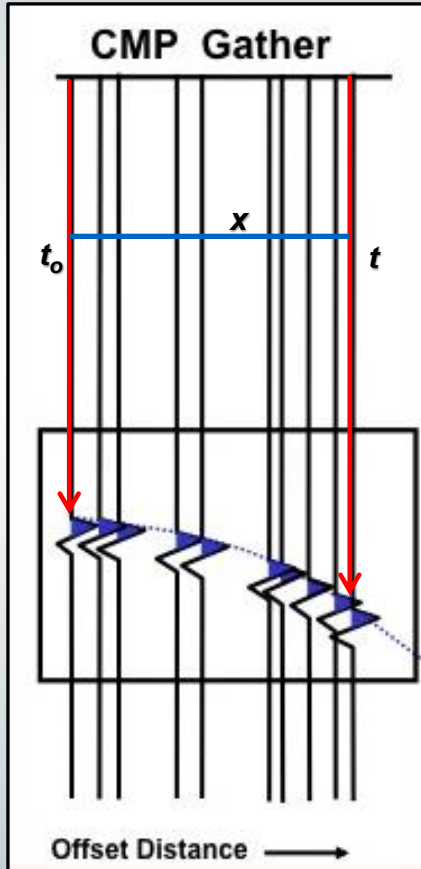




Los tiempos de viaje difieren ya que el trayecto para una traza de offsets cercanos es mas corto que para una traza de offsets lejanos

Utilizando las velocidades correctas, podemos corregir la diferencia en tiempo de viaje para cada traza.

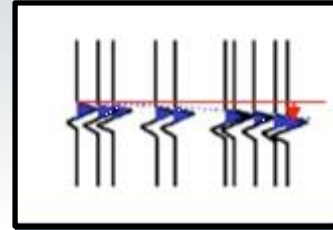
La curvatura de esta hipérbola es función de la velocidad promedio existente hasta la profundidad de la reflexión



NMO

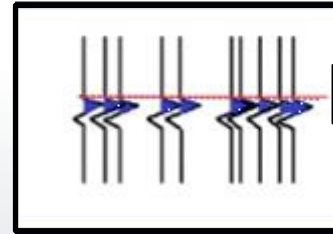
$$t^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2}$$

Velocidad demasiado Lenta



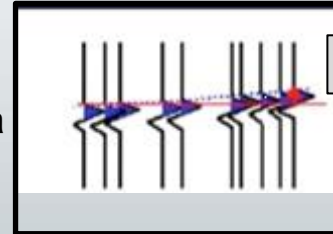
Subcorrección

Velocidad Correcta



Horizontalización

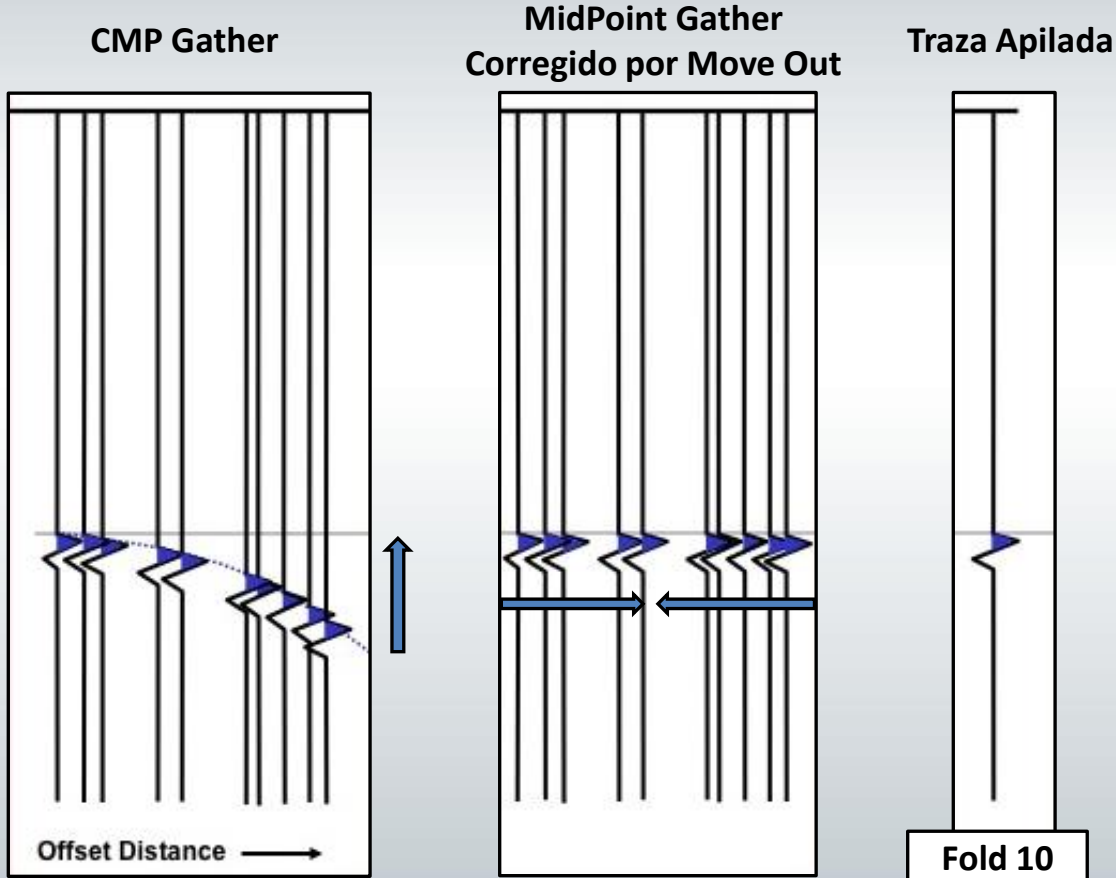
Velocidad demasiado Rápida



Sobrecorrección

v = velocidad hasta el reflector

NMO = Normal Move Out

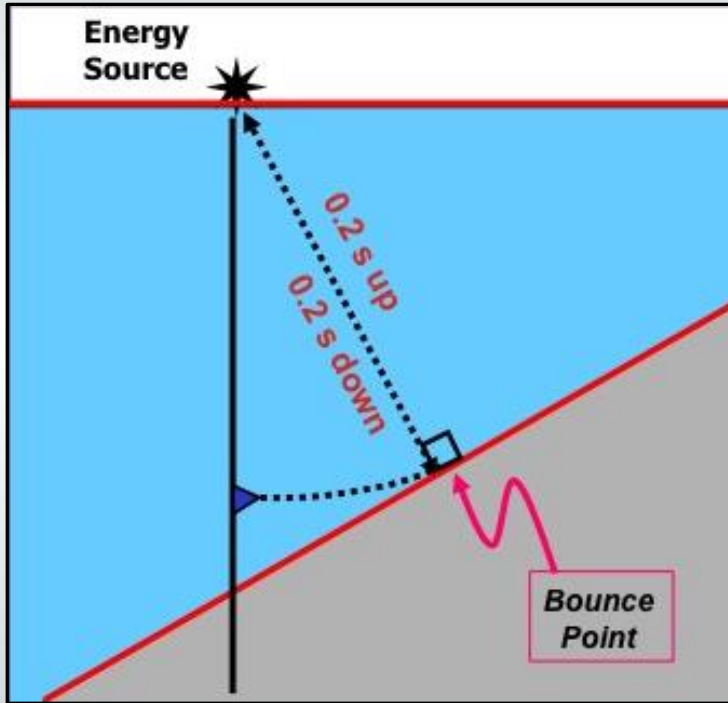


Apilamos (Stack) muchas trazas offset (# trazas = fold)

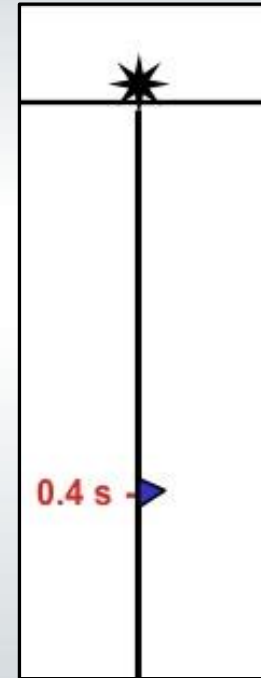
La señal geológica tenderá a sumarse

El ruido aleatorio tenderá a cancelarse

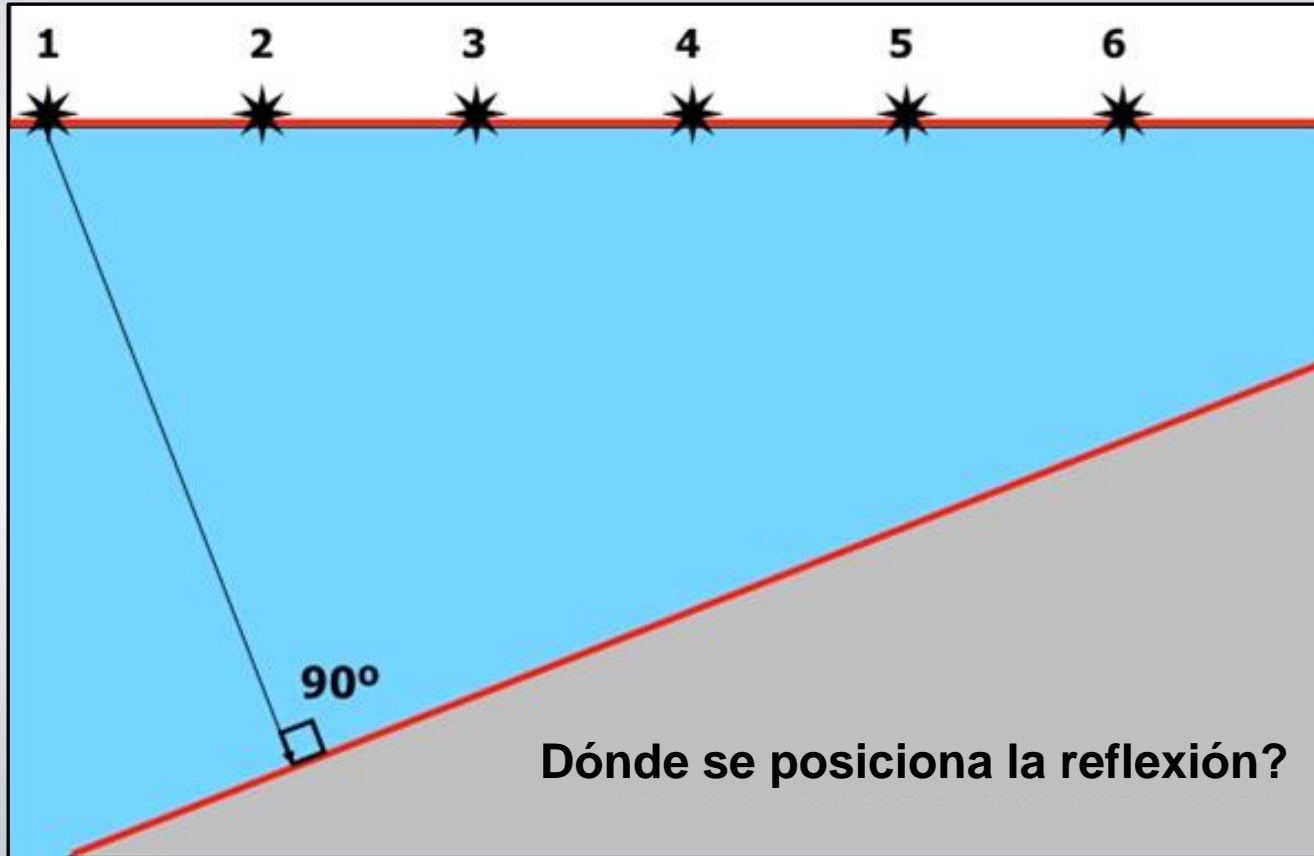
El Apilamiento (stacking) mejora sustancialmente la relación S/R (señal-ruido)

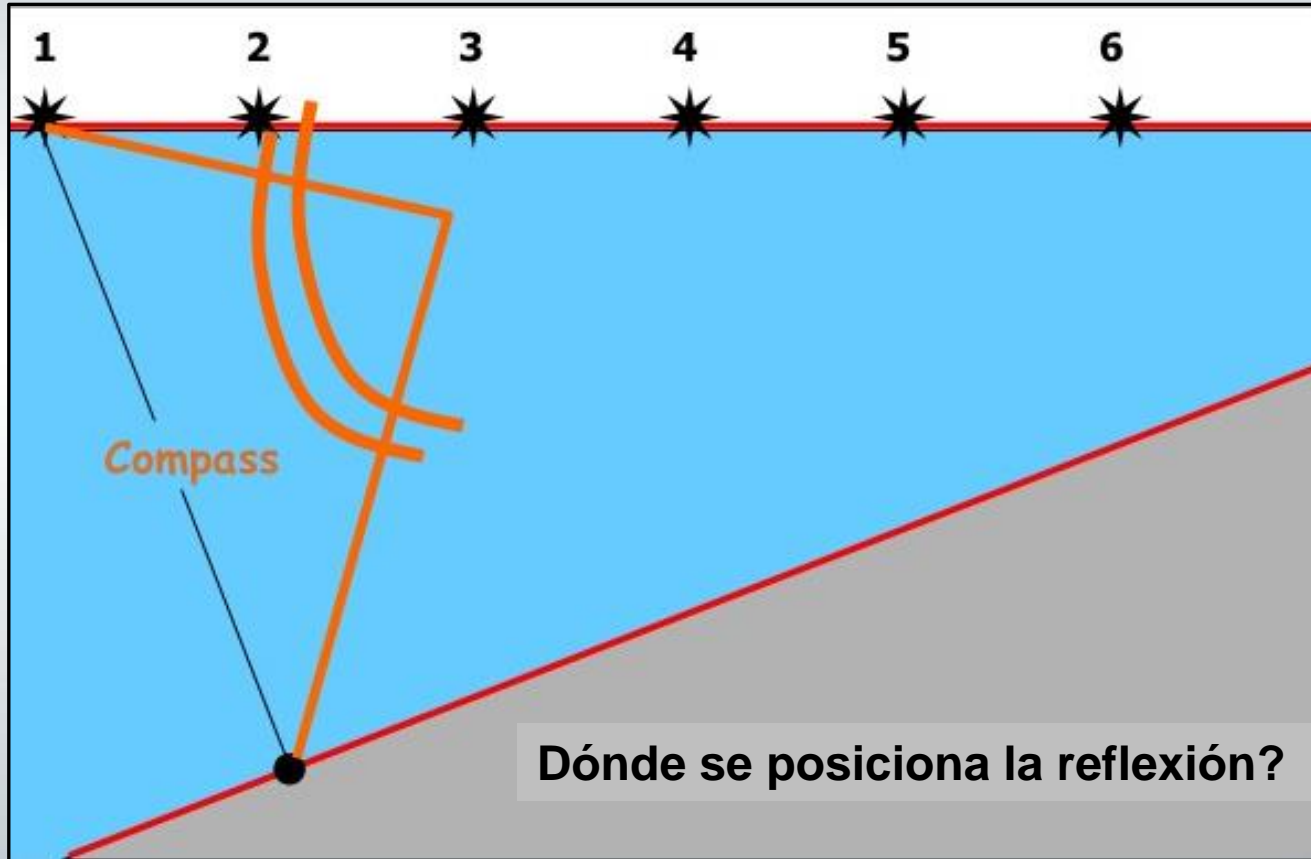


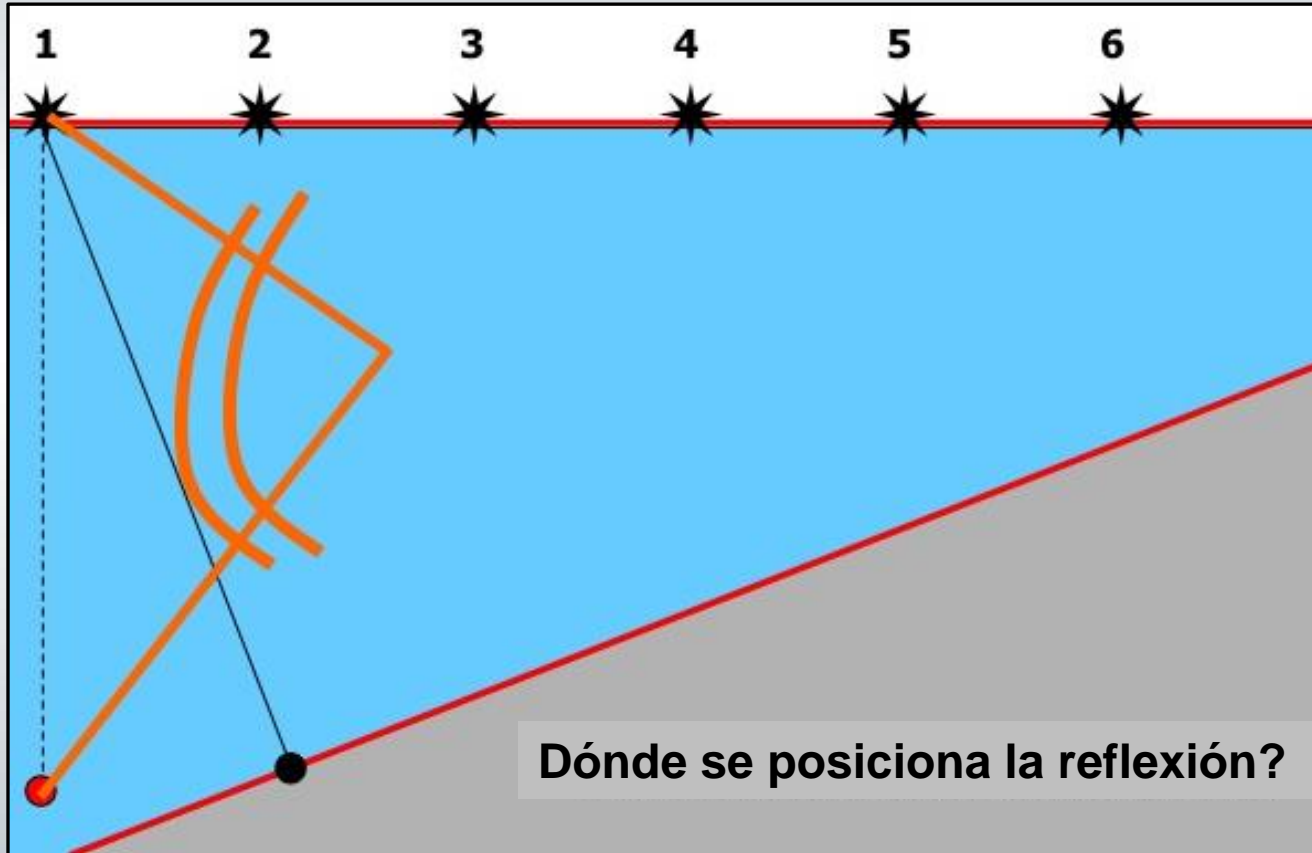
El rayo sísmico alcanza la superficie inclinada a 90° y se refleja hacia arriba

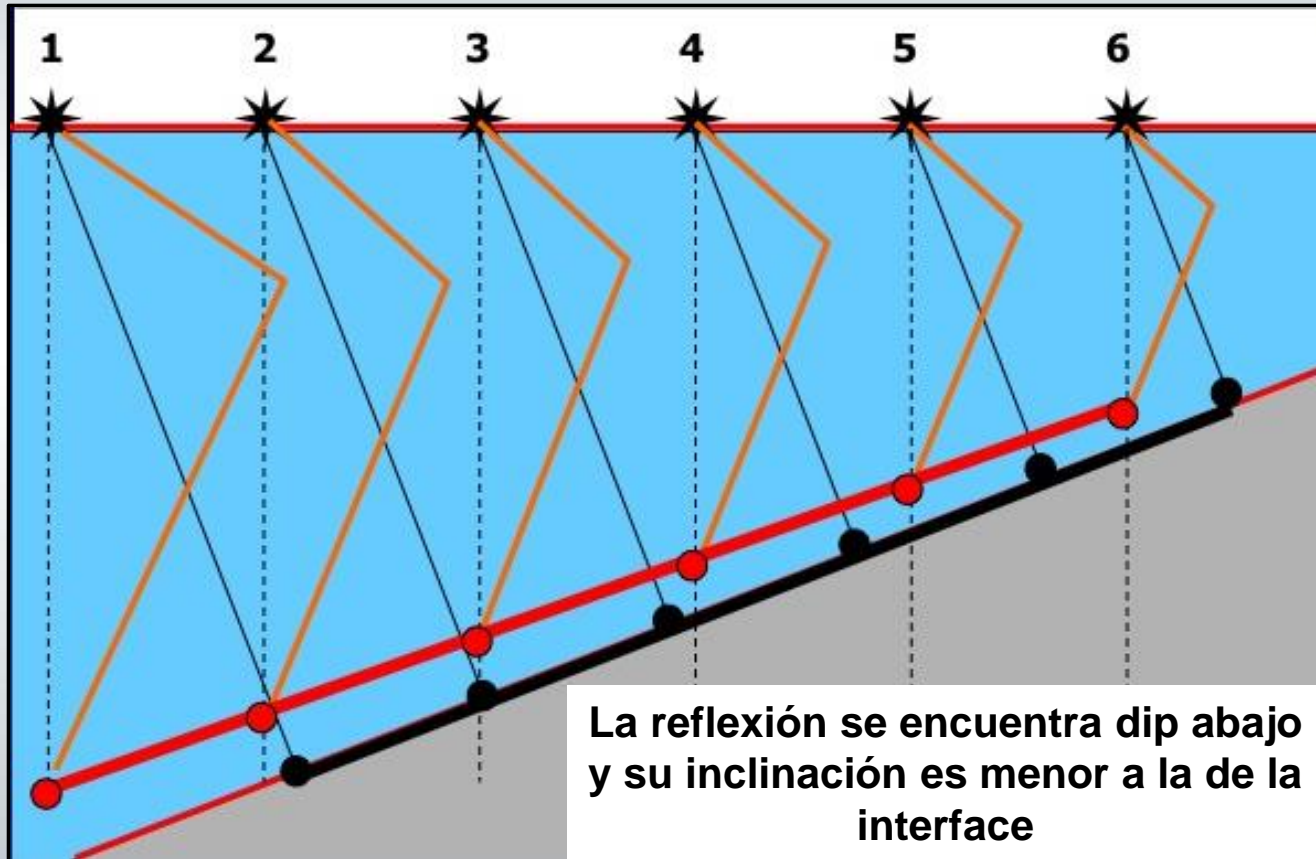


La reflexión se muestra justo debajo del punto medio entre fuente y receptor





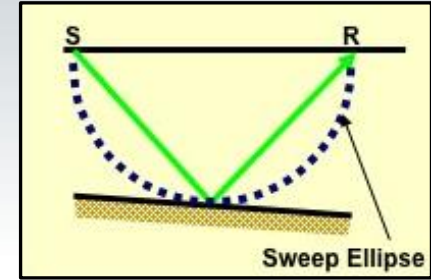
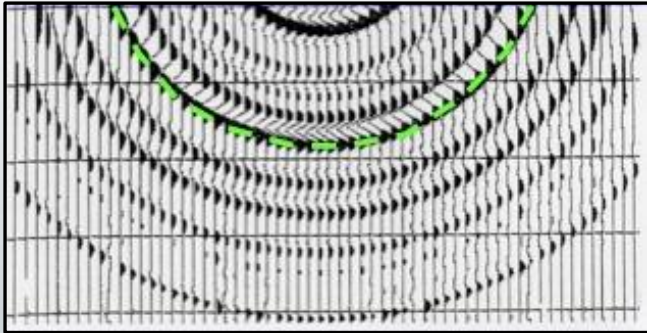




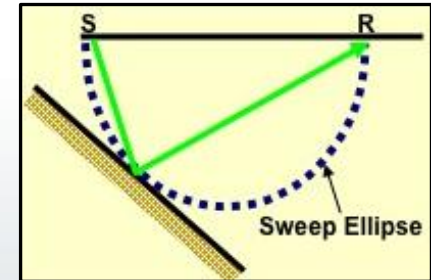
Energía no migrada en una sola traza..



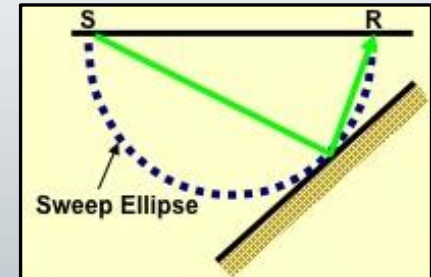
...distribuida a todas las locaciones de origen posibles



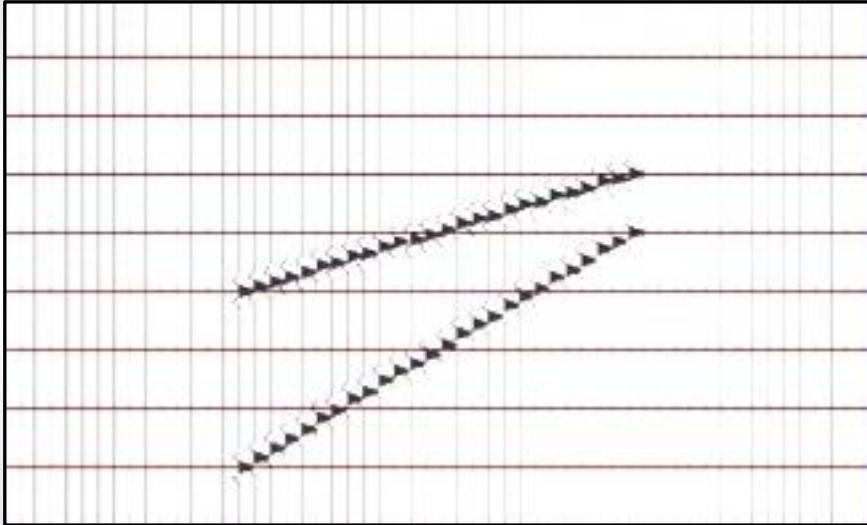
O bien



O bien

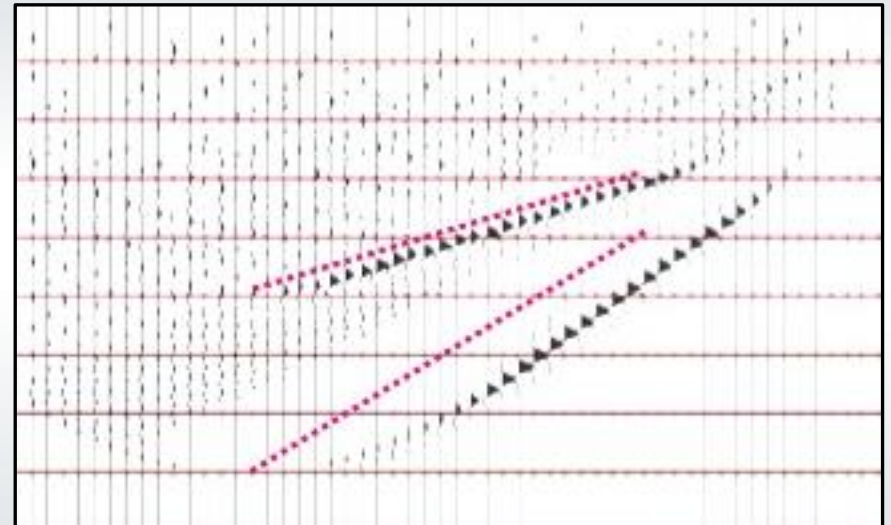


Dos reflexiones de datos no migrados



Las reflexiones no están correctamente posicionadas en el subsuelo ya que tienen una inclinación

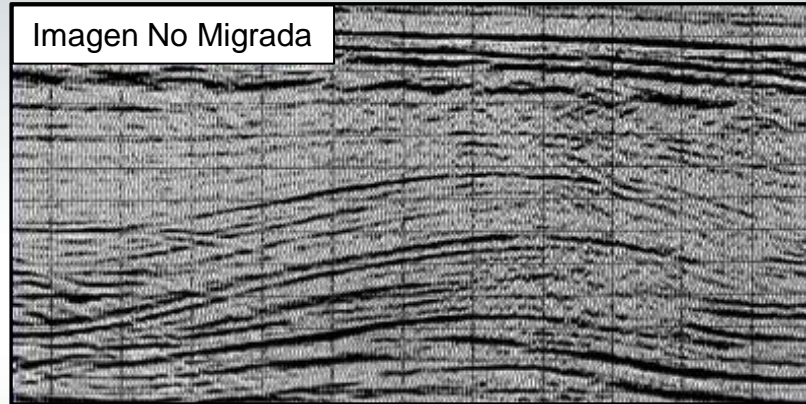
Después de ser distribuidas a todas las locaciones posibles



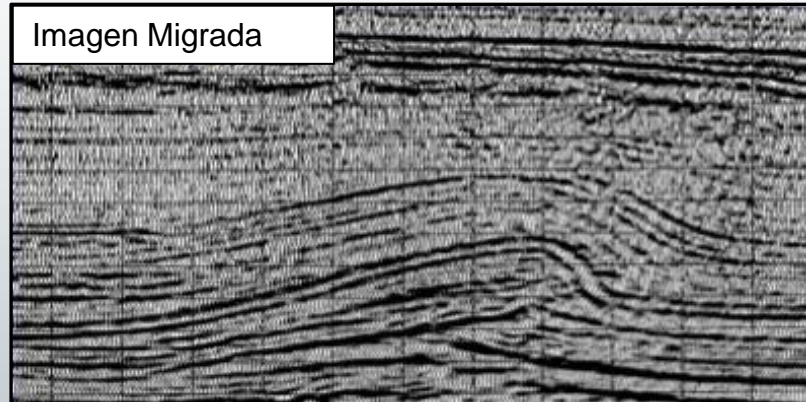
Hay Interferencia **Constructiva** donde las reflexiones están correctamente posicionadas

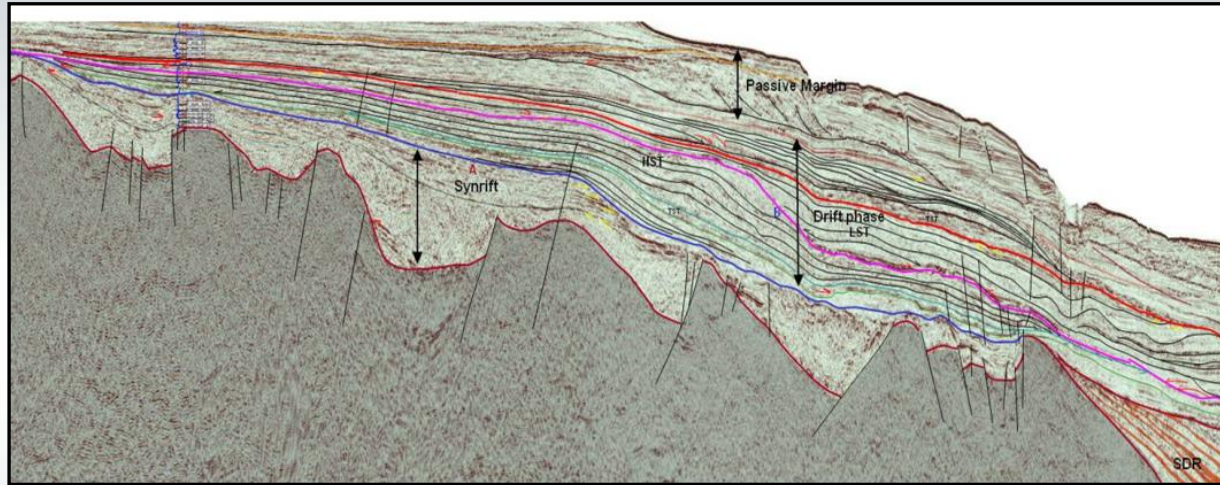
Hay Interferencia **Destructiva** donde las reflexiones NO están correctamente posicionadas

**Los problemas de posicionamiento
“desenfocan” la imagen**



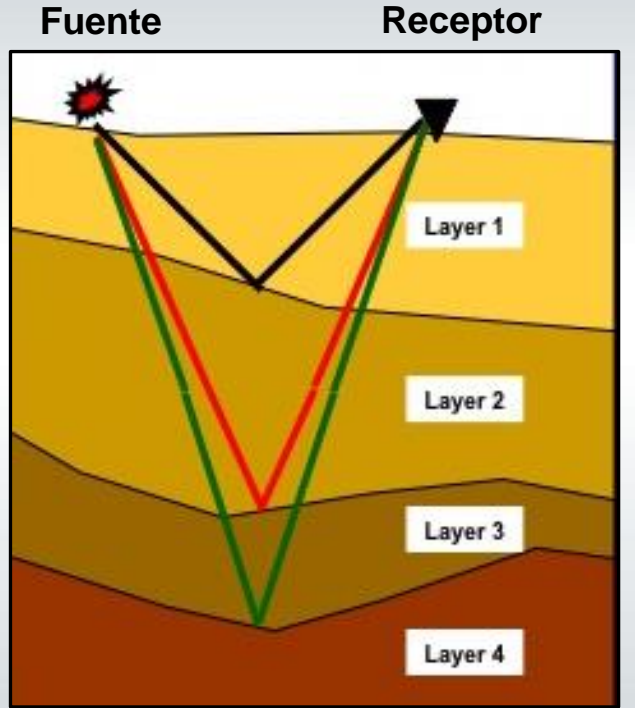
**La migración reduce los
problemas de posicionamiento,
mejorando la imagen**





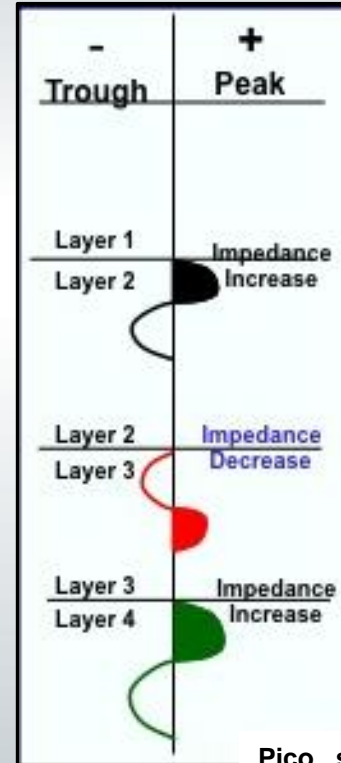
Determinar la geología local a partir de las imágenes sísmica de subsuelo

- **Mapear fallas y otros rasgos estructurales**
- **Mapear discordancias y superficies estratigráficas principales**
- **Interpretar ambientes de depositación**
- **Inferir litofacies a partir de los patrones de reflexión y velocidades**
- **Predecir edades de unidades estratigráficas**
- **Examinar los elementos de los sistemas de Hidrocarburos**



Impedancia = Velocidad * Densidad

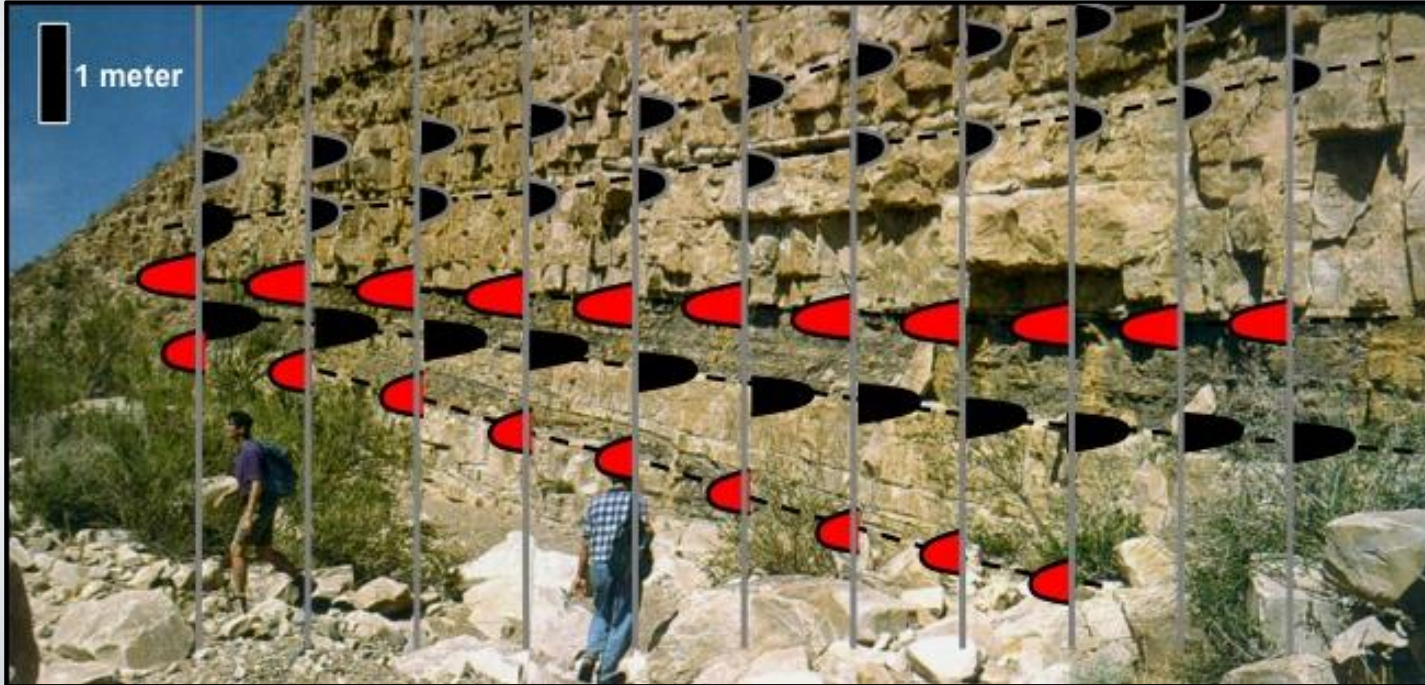
Registro Sísmico



Tiempo de Viaje (ida y vuelta) en ms

Pico sobre Valle es un incremento de Impedancia

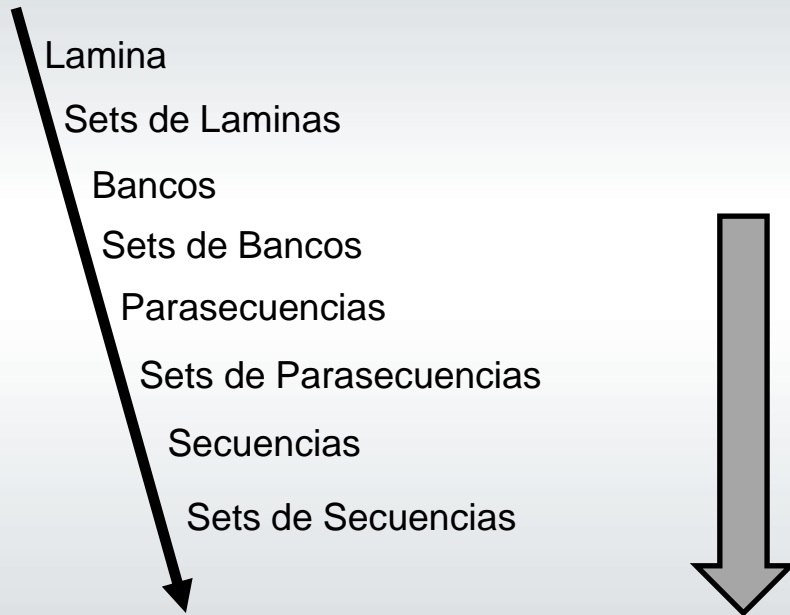
Capaz de resolver los límites de bancos de unos pocos metros de espesor



Incremento de Impedancia



Disminución de Impedancia



- Aunque los datos sísmicos no pueden dar imágenes de unidades de estratos de pequeña escala, puede brindar imágenes de unidades de escala mediana a grande

- La gran ventaja de los datos sísmicos es su cobertura areal



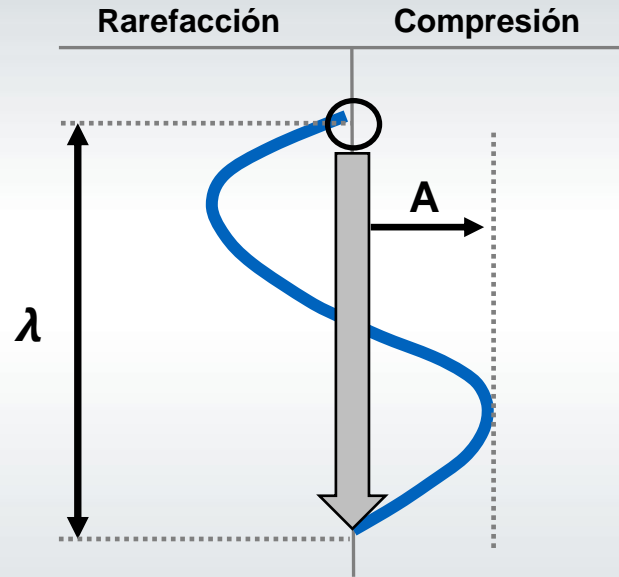
Arcillas
predominantes

Arenas
predominantes

Arcillas
predominantes



10 m



A = Amplitud

λ = Longitud de Onda
metros

P = Período
tiempo

D_p = Duración del pulso
tiempo

Período = Tiempo que tarda la forma de onda en recorrer una longitud de onda

$$P = 1/f$$

$$\lambda = V * P = V/f$$

$$d = V * T/2$$

P = Período

f = Frecuencia

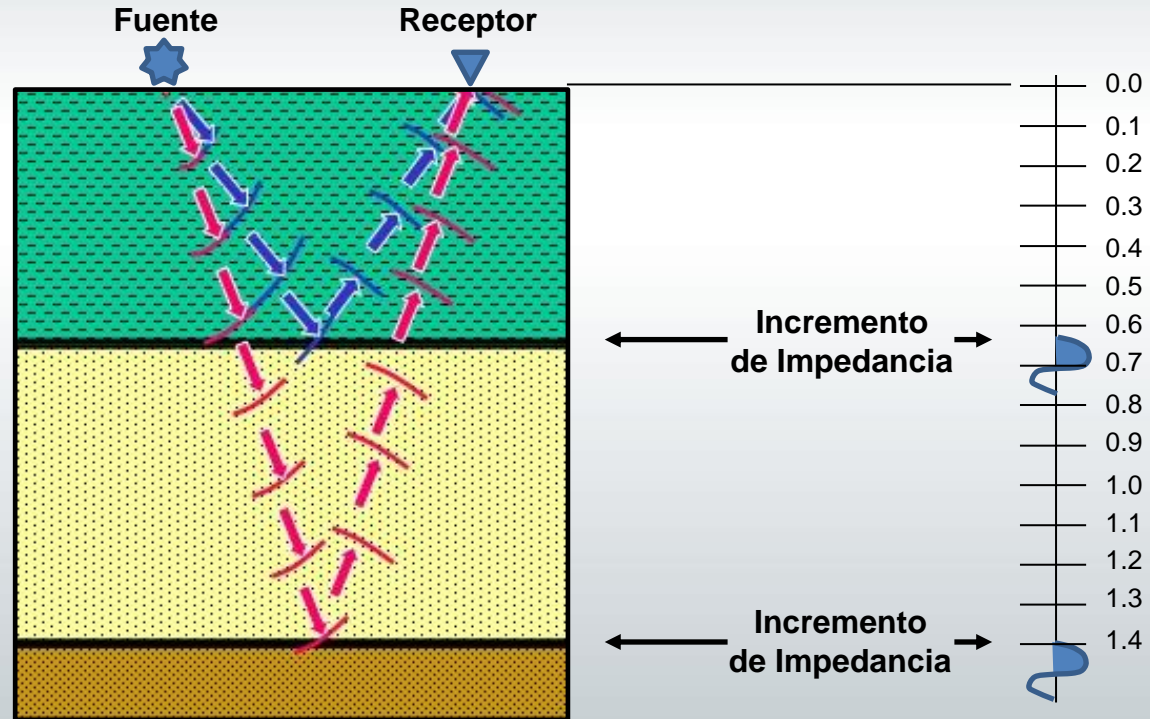
λ = Longitud de onda

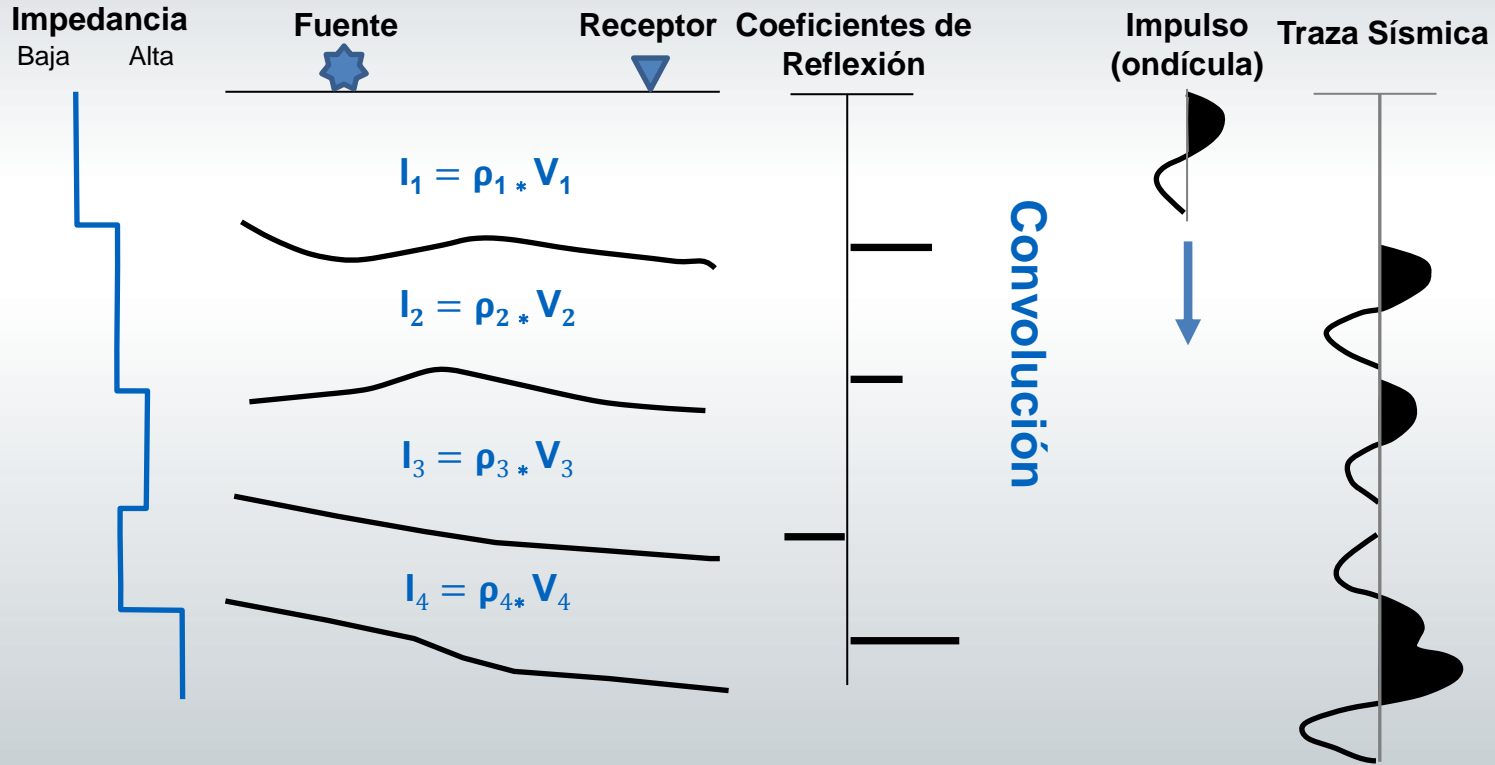
V = Velocidad

d = distancia (profundidad)

T = tiempo

La energía sísmica viaja hacia abajo y es reflejada en las superficies con contrastes acústicos

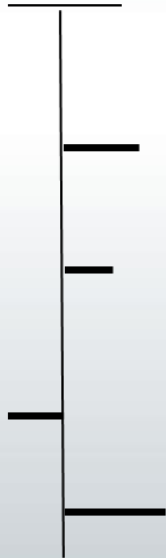




Idealmente, si el contenido de frecuencias (ancho de banda) fuera muy grande, el impulso se aproximaría a un spike y podríamos resolver la estratigrafía de pequeña escala

Típicamente, el contenido de frecuencias está limitado a cerca de 10 a 50 Hz (Ancho de Banda = 40), lo que limita nuestra resolución

Coefficientes de Reflexión



Impulso Ideal



Traza Sísmica

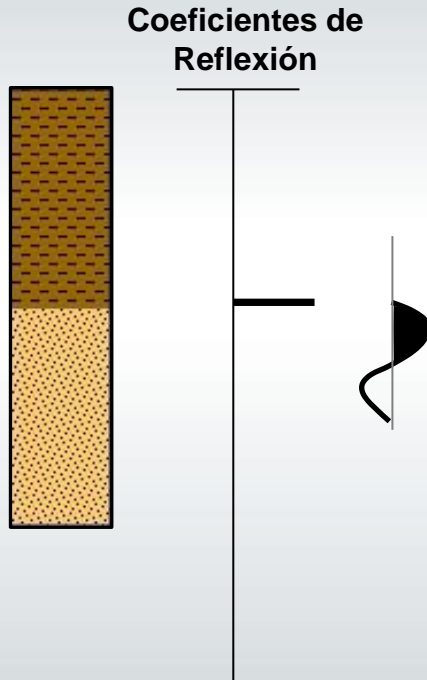


Impulso Típico



Traza Sísmica





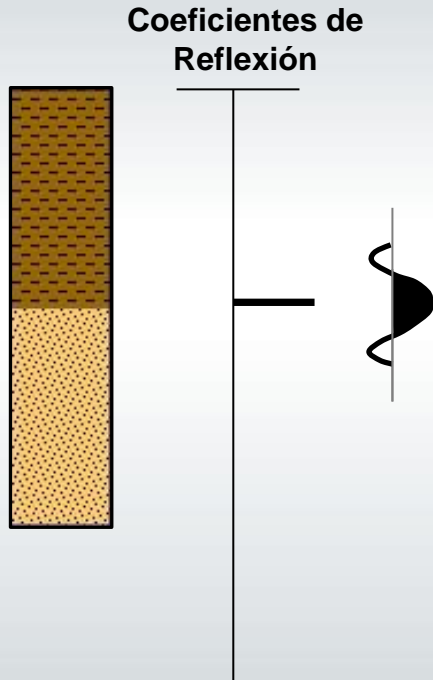
Fase Mínima

Causal (real, no hay movimiento antes de que llegue la onda)

Cargada frontalmente

El tiempo de arribo del pico es dependiente de la frecuencia

El RC está en el primer desplazamiento; el máximo desplazamiento (pico o valle) se retrasa en $\frac{1}{4} \lambda$



Fase Cero

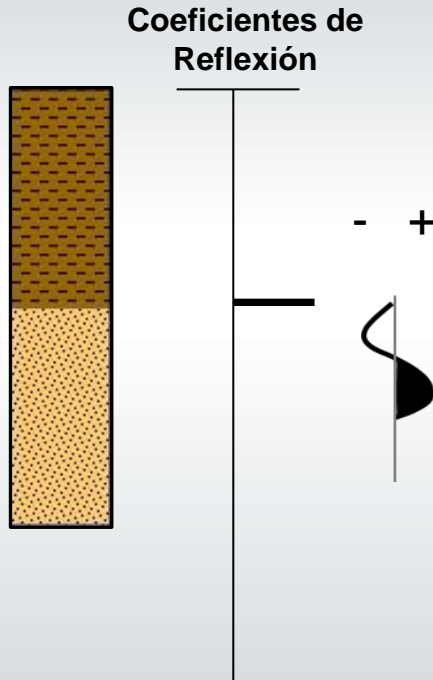
No Causal (no real, ya que hay Movimiento antes de que llegue la onda)

Simétrico a ambos lados del RC

El tiempo de arribo del pico no depende de la frecuencia

Máxima relación pico-lóbulo lateral

El RC está en el máximo desplazamiento (pico o valle)

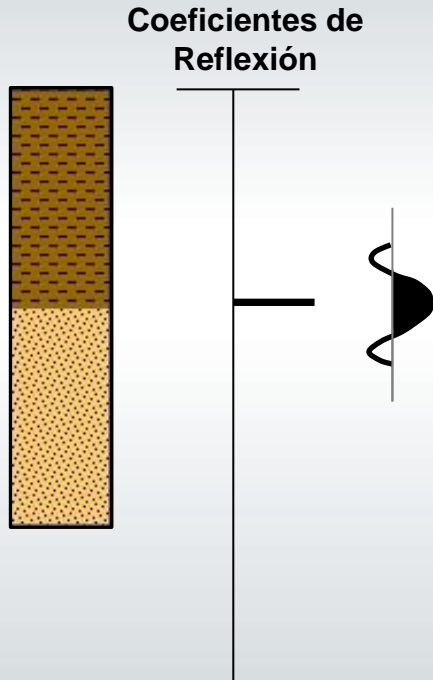


Convención SEG Normal

Una compresión es:

- # Negativo en la cinta
- Se muestra como un valle

SEG = Society of Exploration Geophysics



Convención SEG Normal

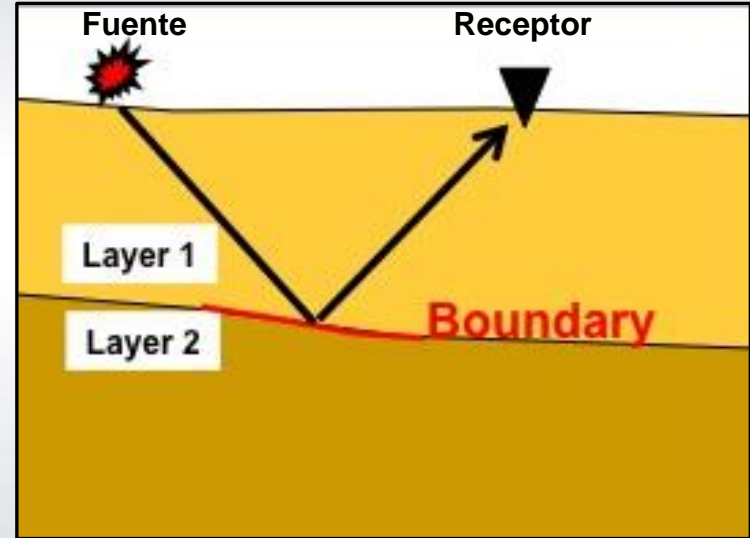
Una compresión es:

- # Positivo en la cinta
- Se muestra como un pico

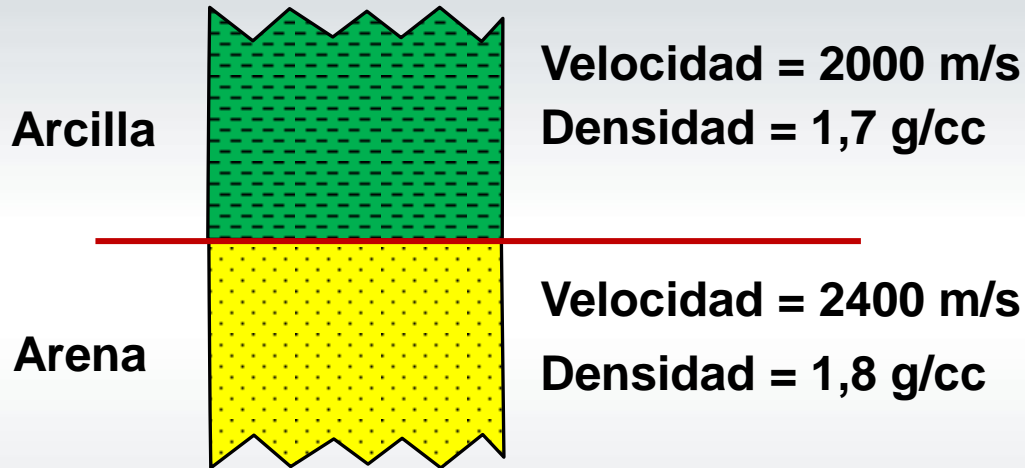
SEG = Society of Exploration Geophysics

Cualquier interfaz entre cuerpos de roca con diferentes propiedades acústicas

Las propiedades acústicas definen la **Impedancia (I)**, en la cual $I = \text{velocidad} * \text{densidad}$

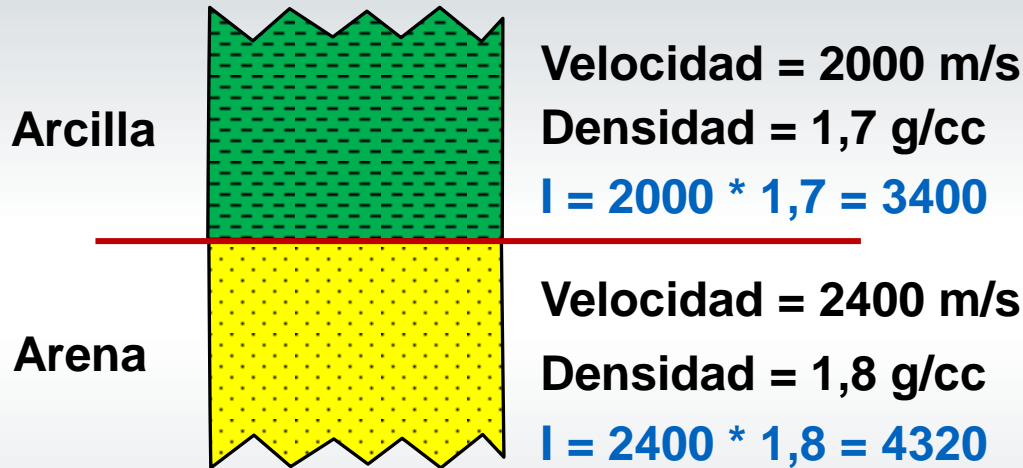


- Un cambio pequeño en Impedancia >> reflexión pequeña
- Un cambio grande en Impedancia >> reflexión grande



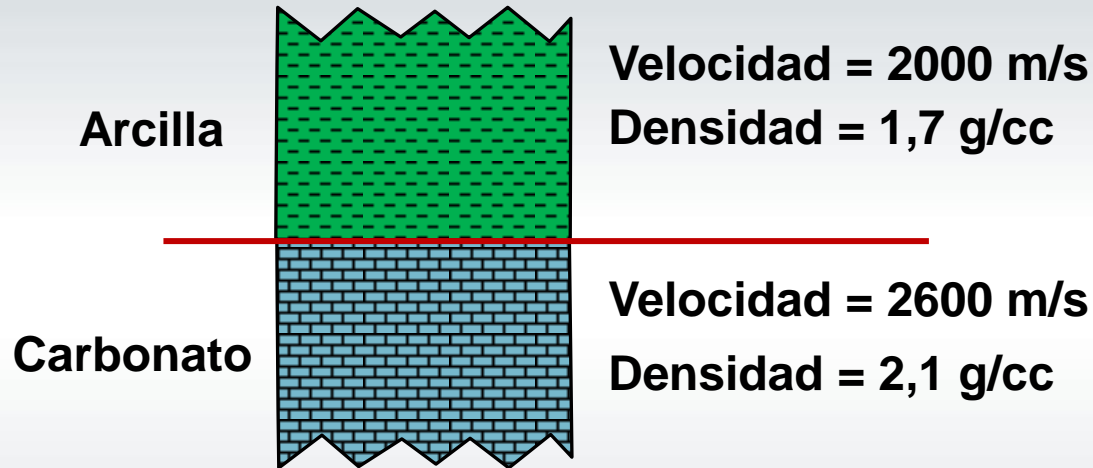
COEFICIENTE DE REFLEXION

$$= \frac{|I_{\text{abajo}} - I_{\text{arriba}}|}{|I_{\text{abajo}} + I_{\text{arriba}}|} = \underline{\hspace{2cm}} =$$



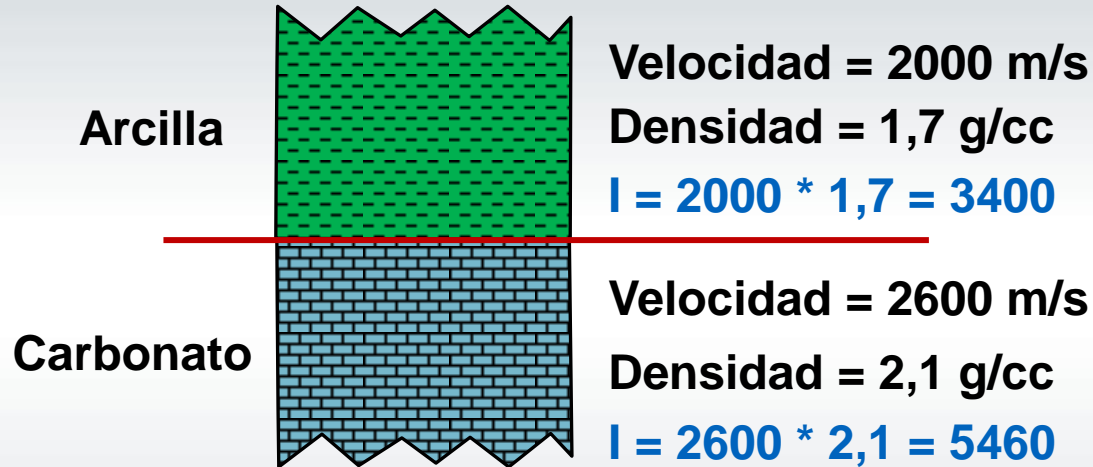
$$\text{COEFICIENTE DE REFLEXION} = \frac{I_{\text{abajo}} - I_{\text{arriba}}}{I_{\text{abajo}} + I_{\text{arriba}}} = \frac{4320 - 3400}{4320 + 3400} = 0,119$$

De la energía incidente, un 12% es reflejada, el 88% es transmitida



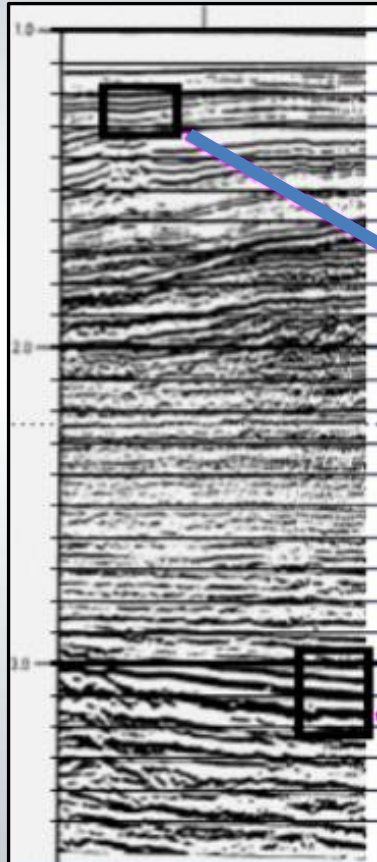
COEFICIENTE DE REFLEXION

$$= \frac{|I_{\text{abajo}} - I_{\text{arriba}}|}{|I_{\text{abajo}} + I_{\text{arriba}}|} = \underline{\hspace{2cm}} =$$



$$\text{COEFICIENTE DE REFLEXION} = \frac{I_{\text{abajo}} - I_{\text{arriba}}}{I_{\text{abajo}} + I_{\text{arriba}}} = \frac{5460 - 3400}{5460 + 3400} = 0,232$$

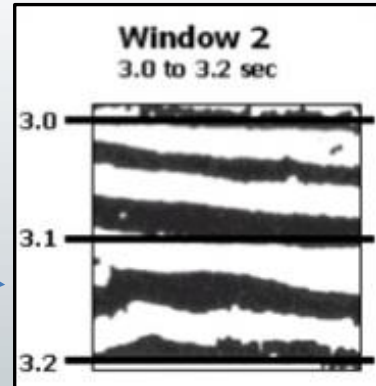
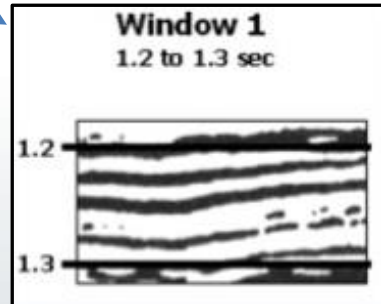
De la energía incidente, un 23% es reflejada, el 77% es transmitida



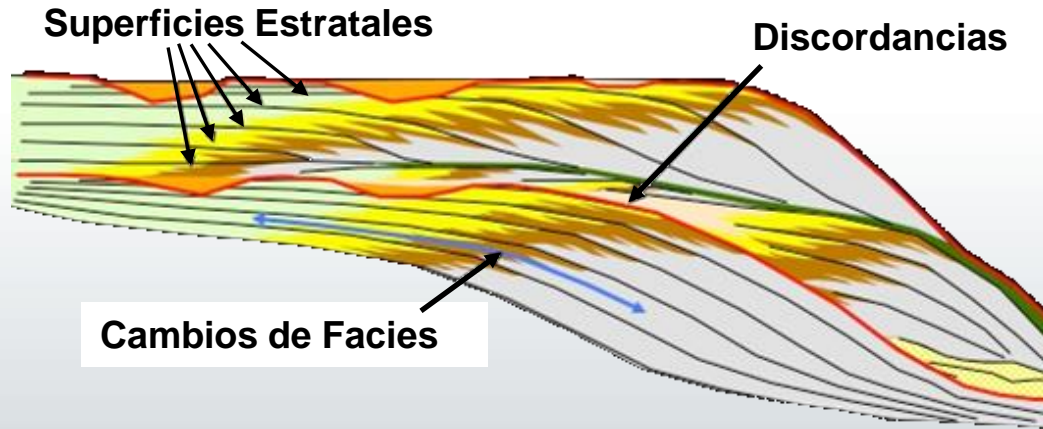
$$F_{\text{aparente}} = \# \text{ ciclos} / \text{intervalo tiempo}$$









$$F_{\text{dominante}} = (2 * F_{\text{aparente}}) / \pi$$

$$\lambda = \text{Velocidad} / F_{\text{dominante}}$$



- Las reflexiones sísmicas son paralelas a las superficies estratales
- Las terminaciones de reflexiones marcan discordancias o discontinuidades
- Cambios en el carácter de las reflexiones indican cambios de facies

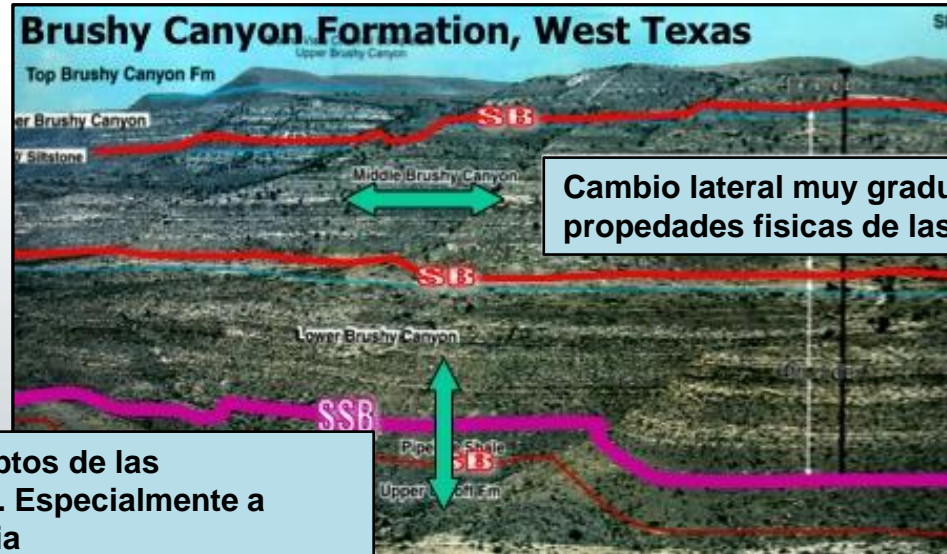


	Valles Fluviales Incisos		Planicie Costera		Foreshore - Shoreface Superior
	Shoreface Inferior - Offshore		Talud - Cuenca		Abanico Submarino
	Estuarino		Intervalo Condensado		

Recordar que las reflexiones se generan donde existen cambios en las propiedades acústicas de las rocas y fluidos ($I = \text{Velocidad} \times \text{Densidad}$)

Donde ocurrirán los cambios mas abruptos de impedancia?

- Horizontalmente como cambios en litofacies?
- Verticalmente a través de los limites estratales?



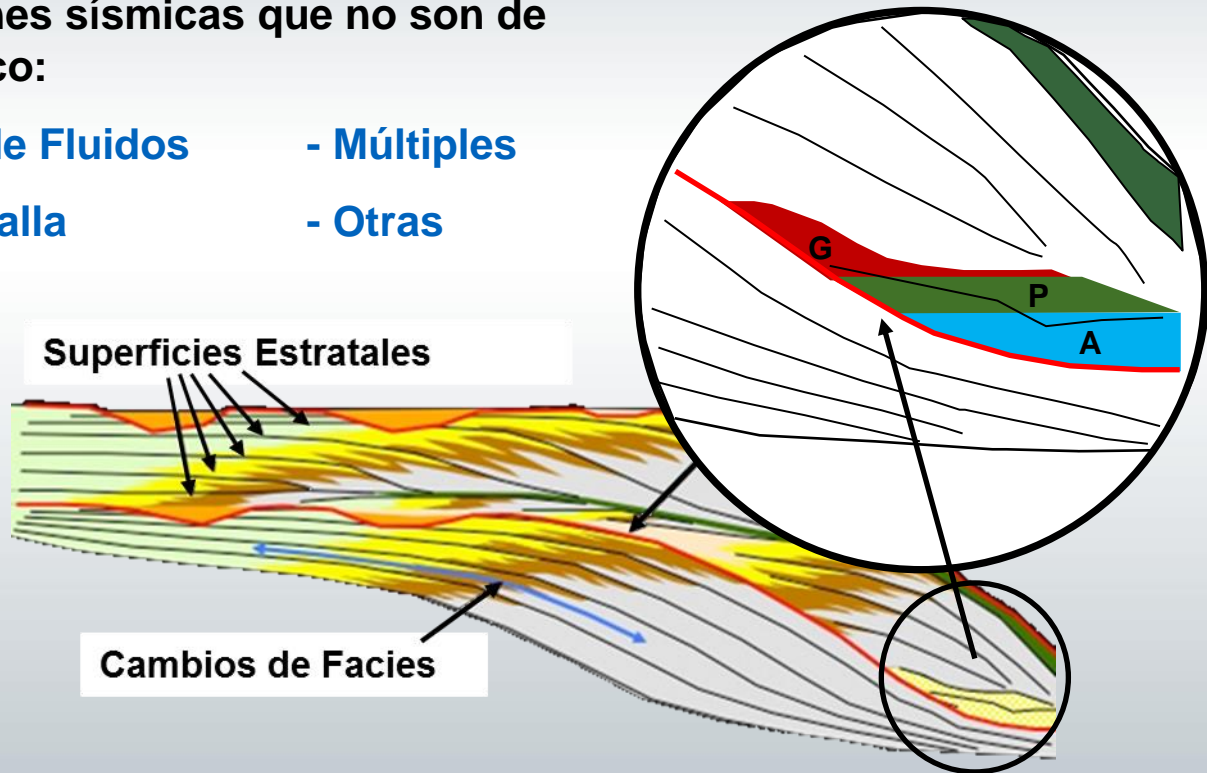
Cambio lateral muy gradual de las propiedades físicas de las rocas

Aquí puede haber cambios abruptos de las propiedades físicas de las rocas. Especialmente a través de los limites de secuencia

No todas las reflexiones corresponden a estratos!

Hay otras reflexiones sísmicas que no son de origen estratigráfico:

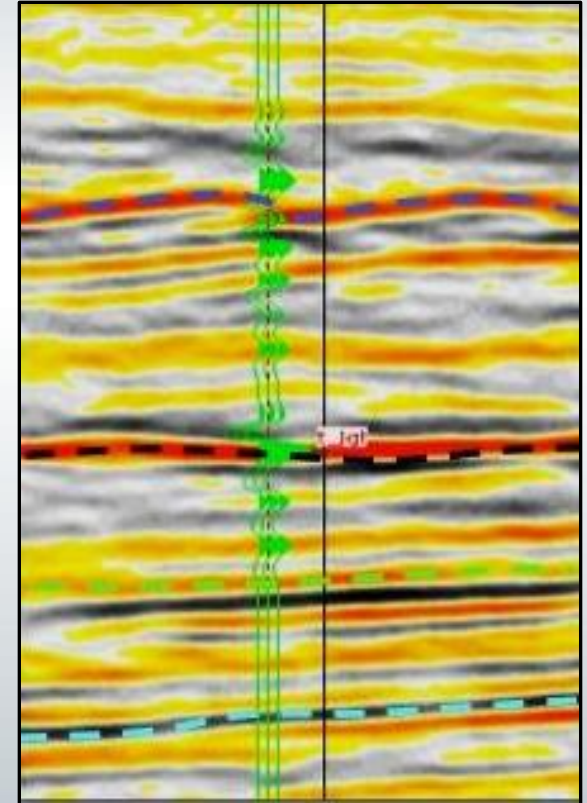
- Contactos de Fluidos
- Múltiples
- Planos de Falla
- Otras



- **Objetivos de la calibración del pozo con la sísmica**
- **Que es una buena calibración?**
- **Comparando el pozo con el dato sísmico**
- **Preparación de los datos de pozo**
- **Preparación de los datos sísmicos**
- **Como calibrar los sintéticos con los datos sísmicos**
- **Complicaciones**

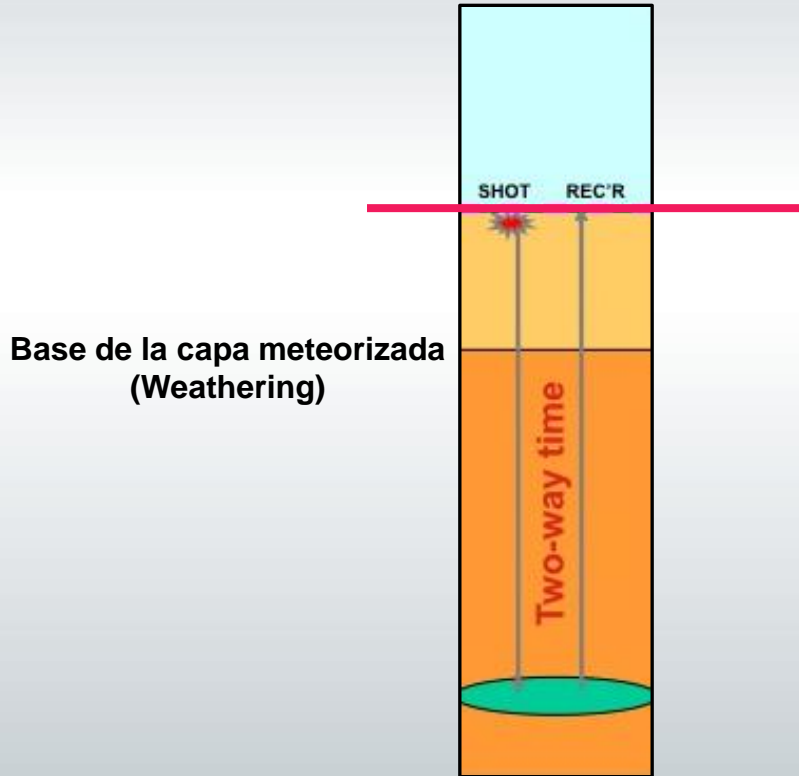
- Las calibraciones sísmica-pozo permiten que los datos de pozo, medidos en unidades de profundidad, puedan ser comparados con los datos sísmicos, medidos en unidades de tiempo
- Esto permite relacionar los topes de los horizontes identificados en un pozo con reflectores específicos en la sección sísmica
- Usamos los perfiles de pozo sónico y densidad para generar una traza sísmica sintética
- La traza sintética se compara con los datos sísmicos reales cercanos a la ubicación del pozo

Traza Sintética

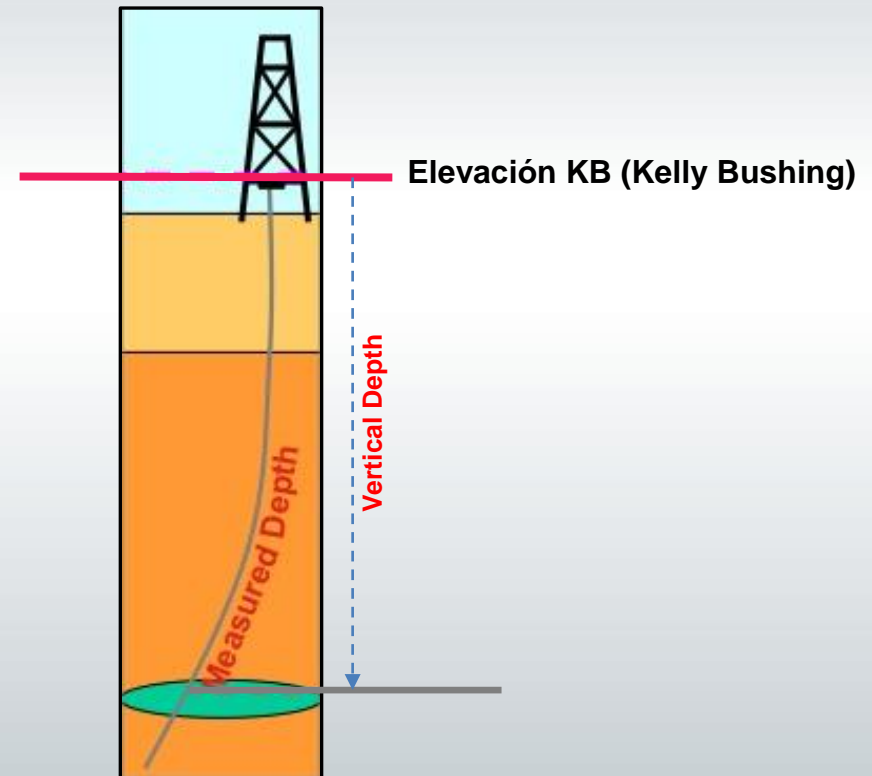


Estadío del Proyecto	Precisión Requerida	Calidad Sísmica Requerida	Ejemplo de Aplicación
Mapeo Regional	Dentro de unos pocos ciclos	Pobre/Regular	Mapeo y Ajuste de una superficie de inundación regional a lo largo de una cuenca
Exploración	Dentro de medio ciclo	Buena	Comparación de un lead con los pozos cercanos
Explotación	Coincidencia del carácter de la ondícula	Muy buena	Análisis de atributos sísmicos Inversion

Sísmica - Unidades de Tiempo



Perfiles de Pozo - Unidades de Profundidad

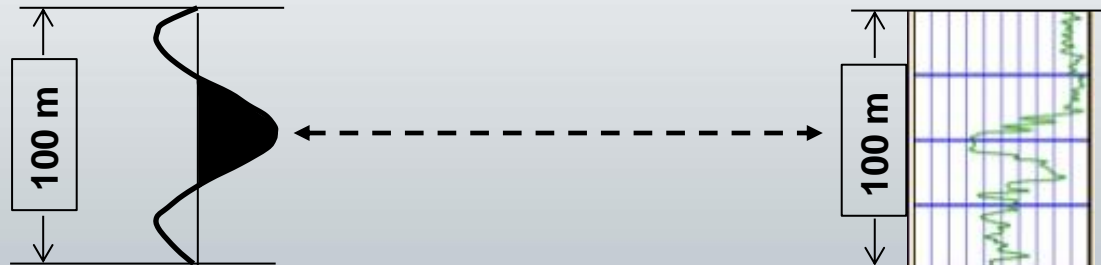


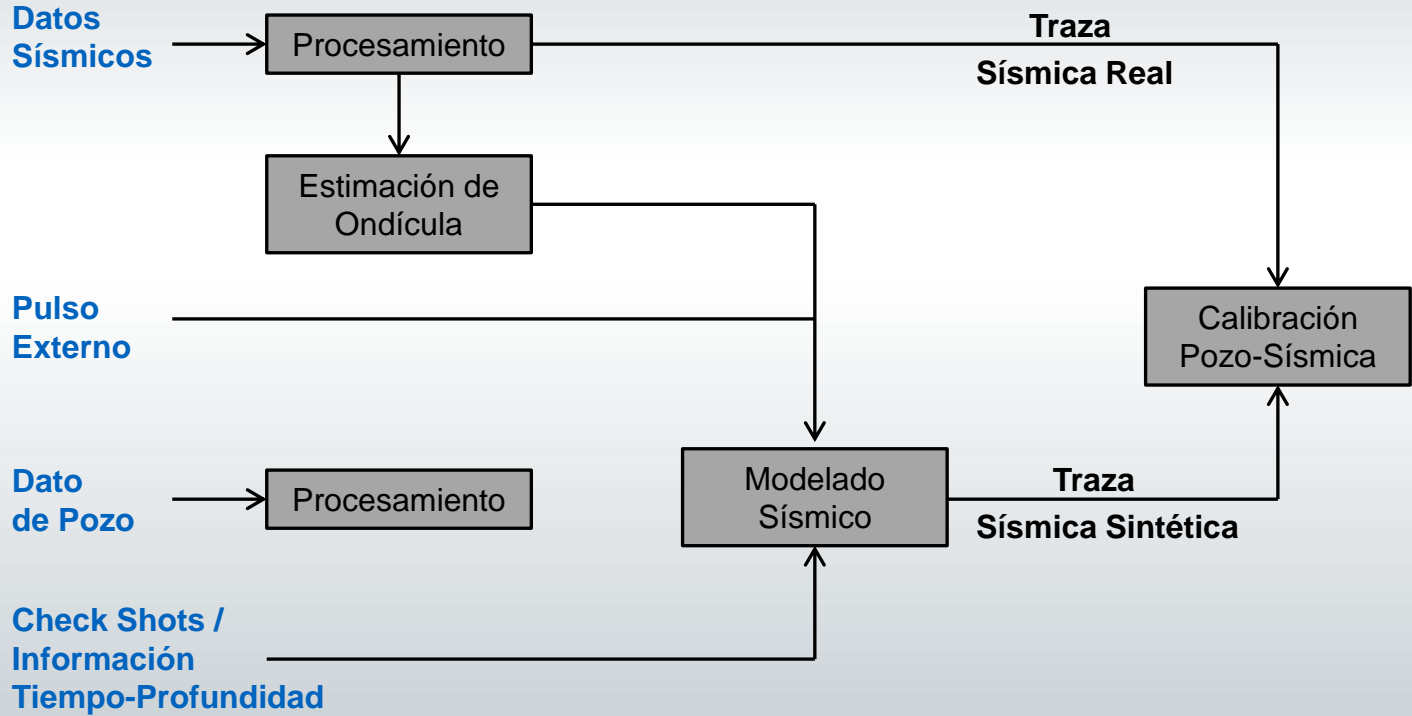
Dato Sísmico

- Muestra área y volumen
- Baja frecuencia 5 - 60 Hz
- Resolución Vertical 15 - 100 m
- Resolución Horizontal 150 - 1000 m
- Mide la amplitud sísmica, fase, continuidad, velocidades horizontales y verticales
- Medida en Tiempo

Dato de Pozo

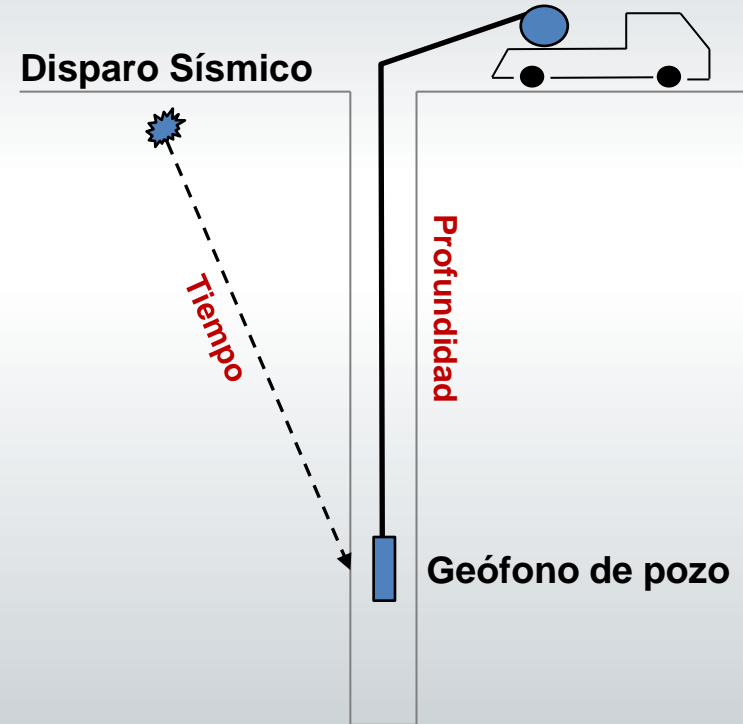
- Muestra puntos a lo largo del pozo
- Alta frecuencia 10000 - 20000 Hz
- Resolución Vertical 2 cm - 2 m
- Resolución Horizontal 0,5 cm - 6 m
- Mide la velocidad vertical, densidad, resistividad, Radioactividad, SP, propiedades de la roca y del fluido a partir de coronas
- Medida en Profundidad





Los Check Shots miden el tiempo de viaje vertical (solo ida) desde la superficie hacia varias profundidades (distintas posiciones del geófono) dentro del pozo. Se usa para:

- Determinar el tiempo de inicio del tope de los perfiles de pozo
- Calibrar la relación entre las profundidades de pozo y los tiempos calculados a partir de un perfil sísmico

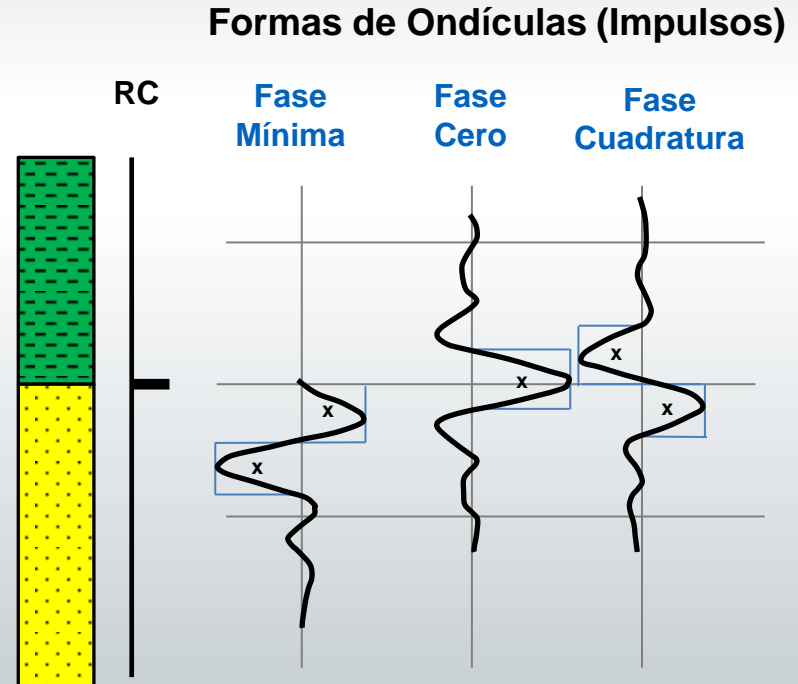


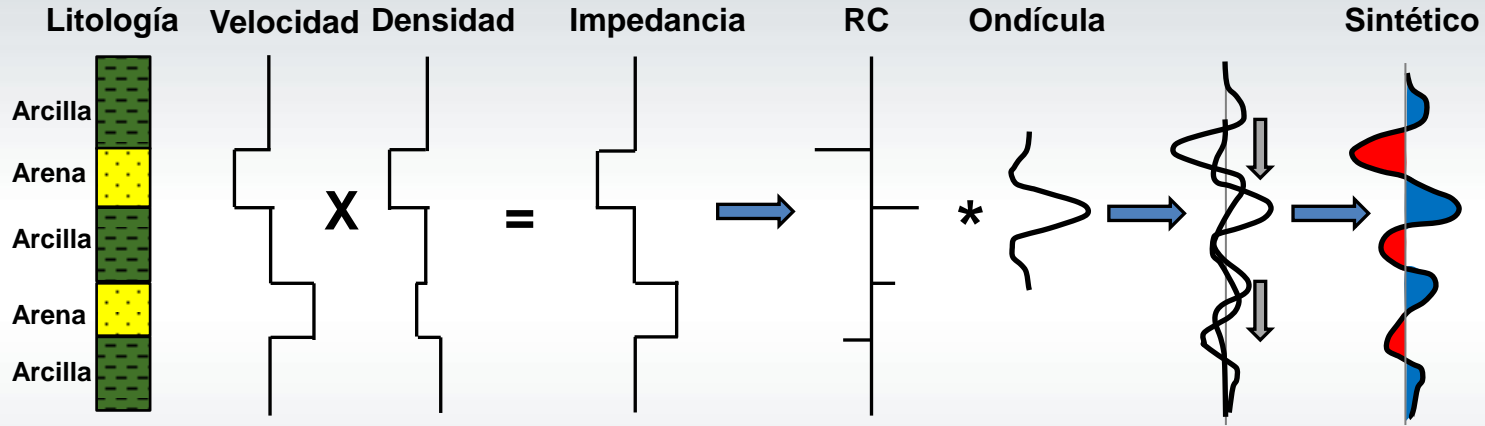
A. Usar un software que estime la ondícula tomando una ventana del dato sísmico real en la locación del pozo (**recomendado**).

B. Usar una forma de ondícula estándar especificando polaridad, frecuencia central y fase

- Fase Mínima
- Fase Cero
- Cuadratura

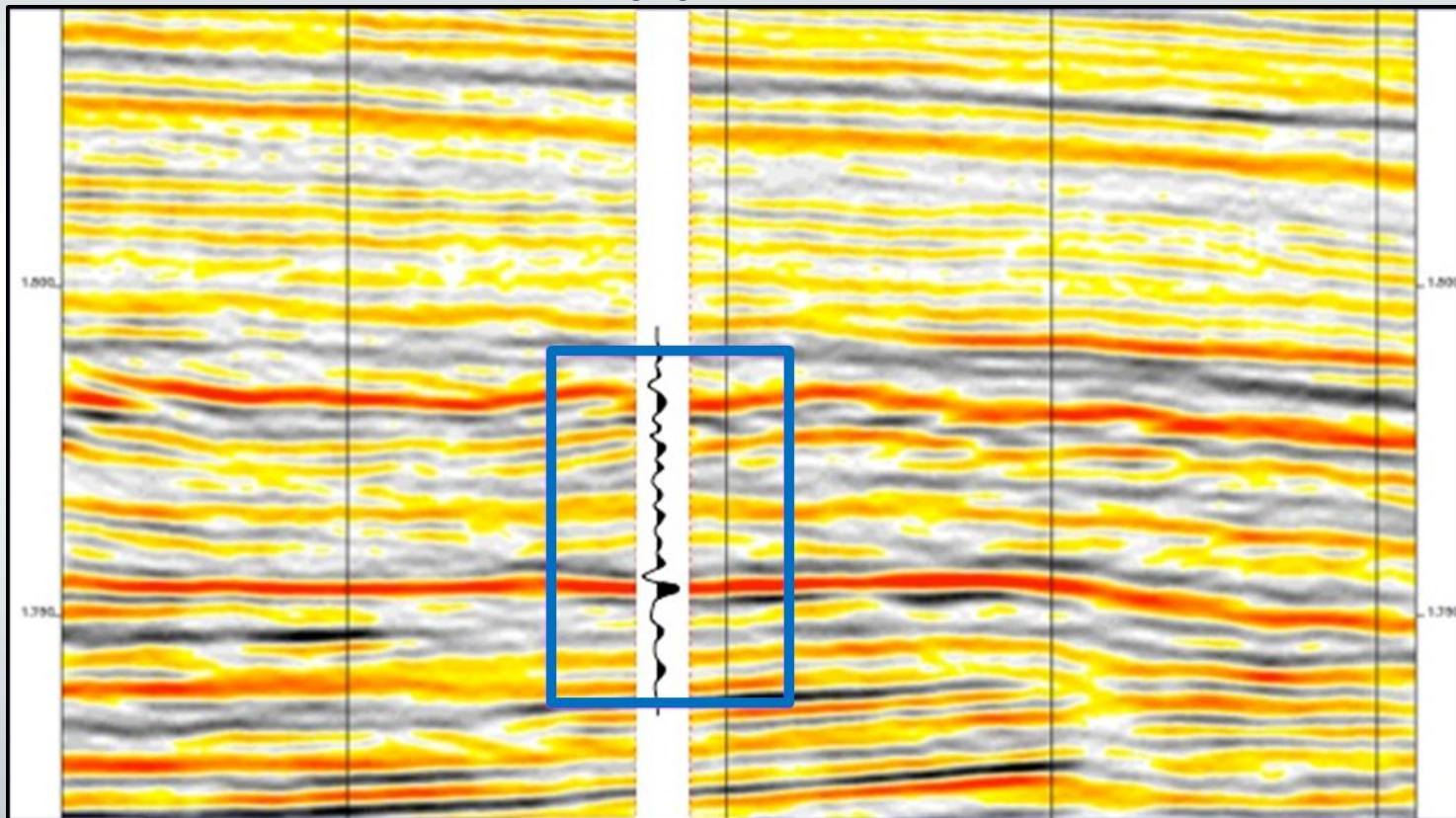
Coefficiente de Reflexión Positivo





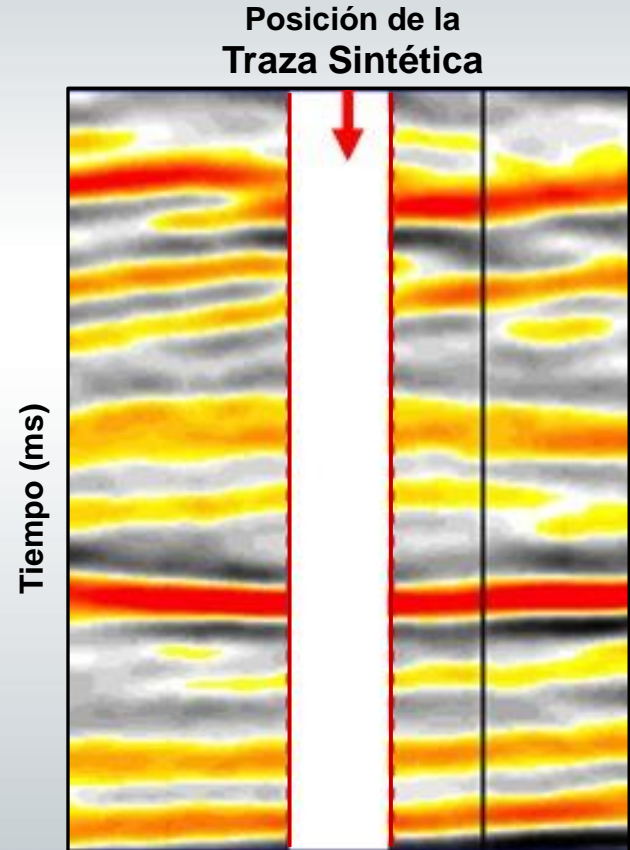
- “Bloqueamos” los perfiles de velocidad (sónico) y densidad y calculamos un “perfil” de impedancia
- Calculamos los coeficientes de reflexión en cada escalón de cambio de impedancia
- Convolucionamos nuestra ondícula con la serie de RC para obtener ondículas individuales
- Cada RC genera una ondícula cuya amplitud es proporcional al RC
- Se suman las ondículas individuales para obtener la traza sísmica sintética

Pozo A

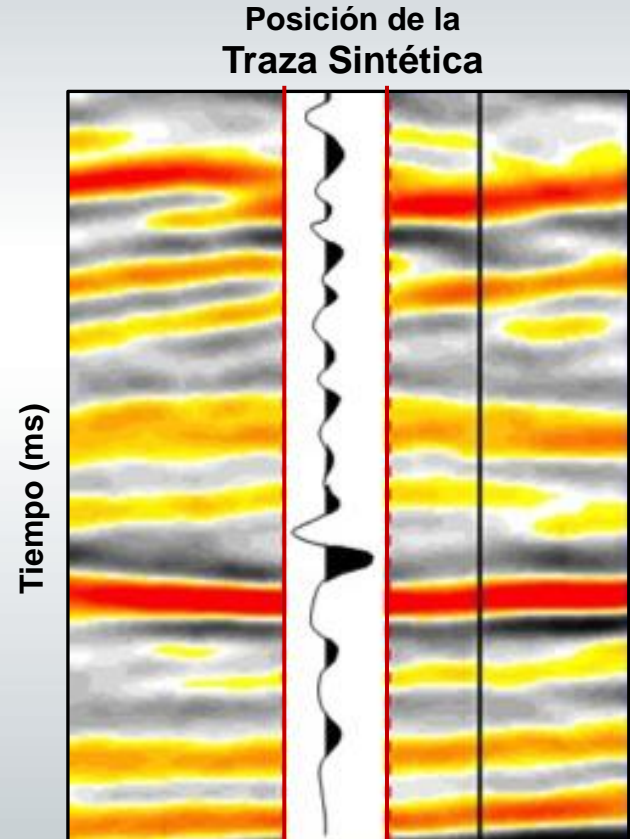


- Posicionar la traza sintética en la sección sísmica en la locación del pozo

-Si el pozo cae fuera de la sección, proyectar el sintético a lo largo del rumbo estructural o estratigráfico

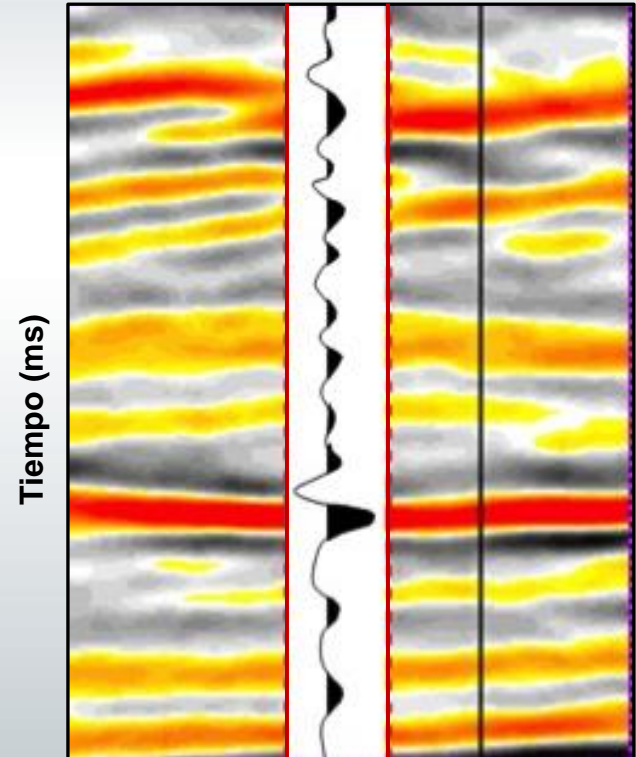


- Posicionar la traza sintética en la sección sísmica en la locación del pozo
 - Si el pozo cae fuera de la sección, proyectar el sintético a lo largo del rumbo estructural o estratigráfico
- Referenciar el datum del sintético al del dato sísmico (generalmente el nivel del terreno o el datum sísmico)
 - Si no hay checkshots, estimar el tiempo de inicio de la primera capa

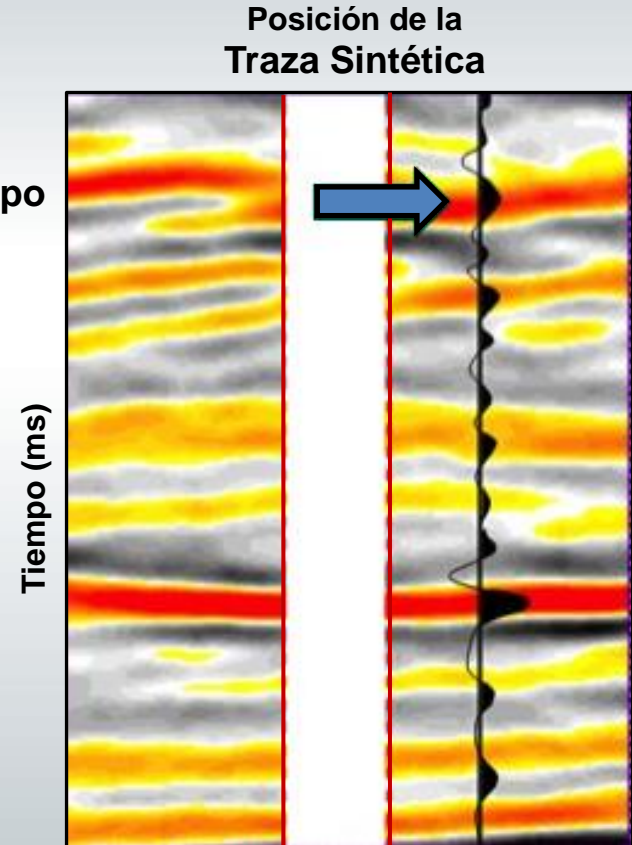


- Posicionar la traza sintética en la sección sísmica en la locación del pozo
 - Si el pozo cae fuera de la sección, proyectar el sintético a lo largo del rumbo estructural o estratigráfico
- Referenciar el datum del sintético al del dato sísmico (generalmente el nivel del terreno o el datum sísmico)
 - Si no hay checkshots, estimar el tiempo de inicio de la primera capa
- Mover el sintético en tiempo hasta obtener el mejor ajuste de carácter con el dato sísmico real

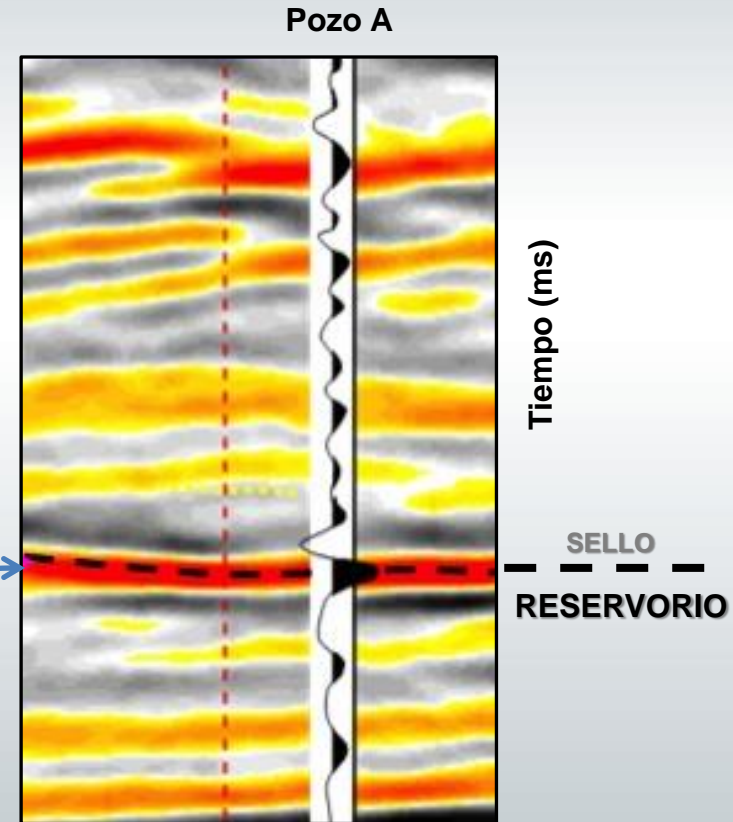
Posición de la Traza Sintética



- Si se justifica, mover el sintético lateralmente algunas trazas para obtener el mejor ajuste de carácter
- El ajuste de carácter es más importante que el ajuste en tiempo
 - Se puede usar un coeficiente de correlación cruzada como medida de la calidad del ajuste de carácter



- Aceptar el ajuste que arroje la mejor calibración de carácter con el menor corrimiento en tiempo en la zona de interés (reservorio)



El tope del reservorio debería ser mapeado en este pico (rojo)

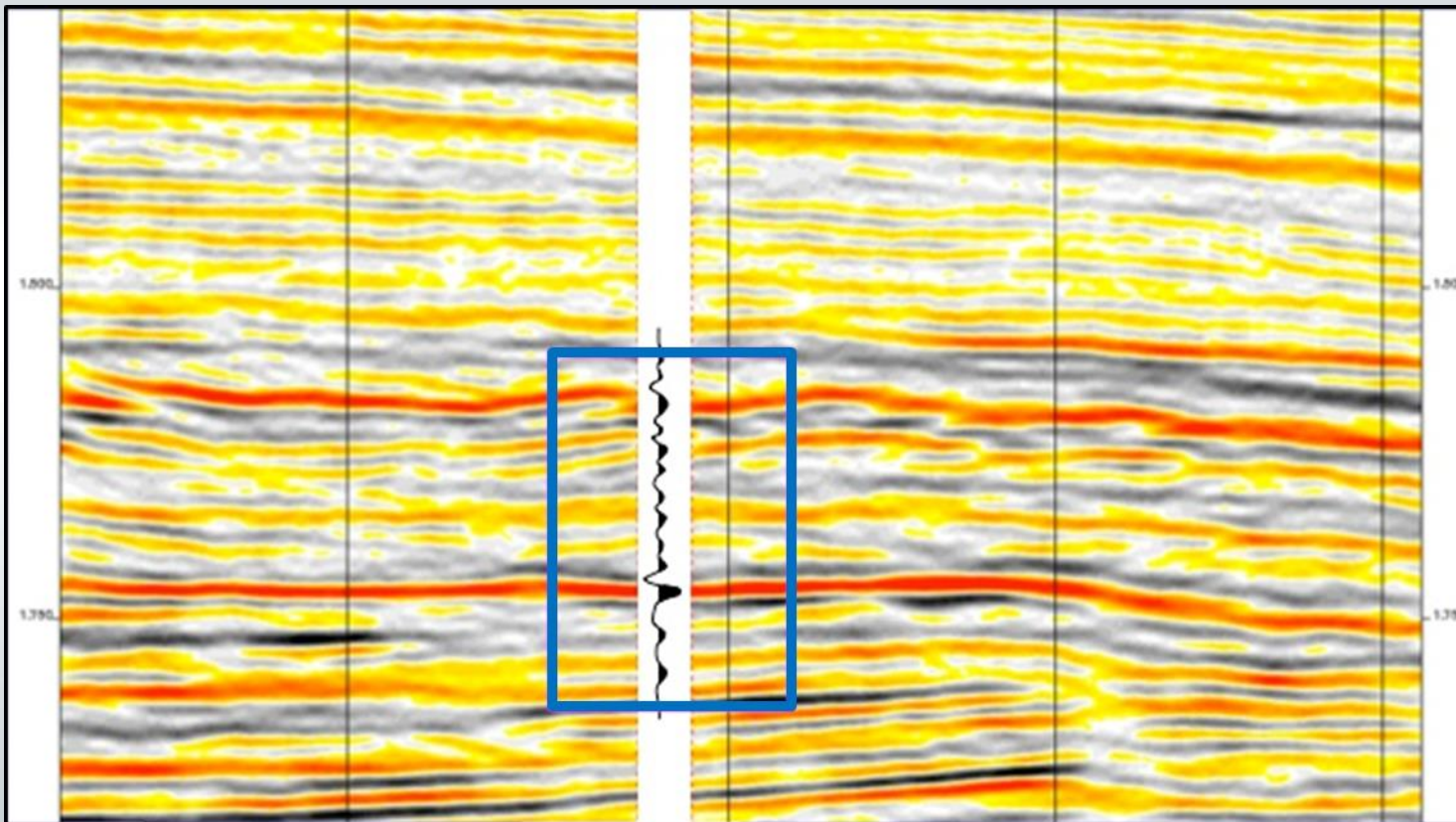
Sísmica

- Sin ruido
- Sin múltiples
- Amplitudes relativas preservadas
- Sección Zero-offset

Sismogramas Sintéticos

- Los perfiles “bloqueados” deben ser representativos de la tierra muestreada a la frecuencia del dato sísmico
- Se ignoran las múltiples
- No existen pérdidas por transmisión o absorción
- Medio isotrópico (velocidades verticales y horizontales iguales)

- Errores en la ubicación del pozo o de la sección sísmica
- Calidad de los perfiles de pozo
 - Zonas de derrumbes, efectos de invasión del fluido de perforación
- Calidad del dato sísmico
 - Ruido, múltiples, ganancia de la amplitud, migración, etc.
- Ondícula incorrecta
 - En polaridad, frecuencia y fase
 - Probar con una ondícula diferente; utilizar ondículas extraídas o calculadas
- Modelo 1D incorrecto
 - Perfiles bloqueados, checkshots con falta de edición
 - Tiempo de inicio incorrecto o mala referenciación del datum
 - Efectos de amplitud versus offset (AVO)
 - Tuning de capas
- Efectos 3D no capturados completamente por el dato sísmico o de pozo



Resolución Vertical

- Resolución vs Detección
- Respuesta de Capa Delgada y Tuning

Resolución Lateral

- Zona de Fresnel
- Migración y Resolución Lateral

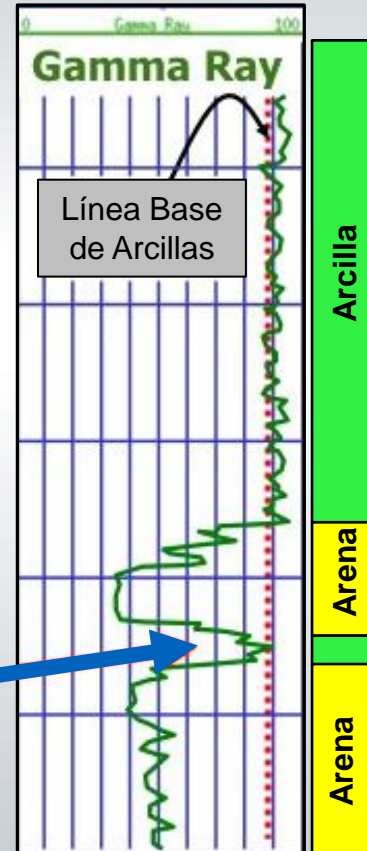
Detección: Capacidad de identificar un rasgo existente

Resolución: Capacidad para distinguir un rasgo de otro

- **El límite de detección es siempre más pequeño que el límite de resolución**
- **El límite de detección depende de la relación Señal/Ruido**

Cual es la mínima distancia vertical entre dos rasgos del subsuelo para que sea posible distinguirlos sísmicamente?

**Por ejemplo:
Basándonos en los datos sísmicos, podríamos determinar que existe una fina capa de arcilla entre las dos arenas?**



Qué es una capa gruesa?

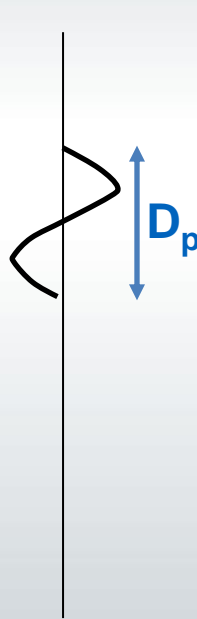
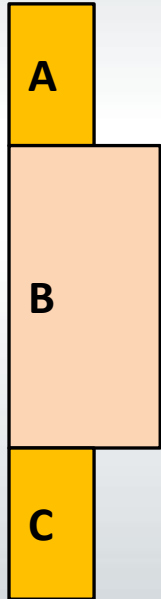
Impedancia

RC

Ondícula 1

Ondícula 2

Compuesta



La ondícula 1 termina antes de que comience la ondícula 2

Respuesta del tope de la capa

No hay interferencia

Respuesta de la base de la capa

Una capa espesa es una tal que tiene un $TWT > D_p$

Espesor en Tiempo = $0,9 * D_p$

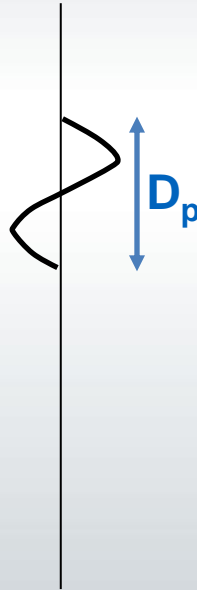
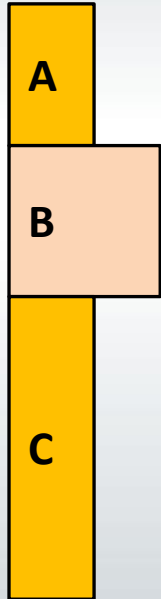
Impedancia

RC

Ondícula 1

Ondícula 2

Compuesta



La ondícula 2 comienza antes de que termine la ondícula 1

Respuesta del tope de la capa

Algo de interferencia

Respuesta de la base de la capa

El segundo hemiciclo de la Ondícula 1 y el primer hemiciclo de la Ondícula 2 forman un valle en doblete

Espesor en Tiempo = $0,5 * D_p$

La ondícula 2 comienza antes de que termine la ondícula 1

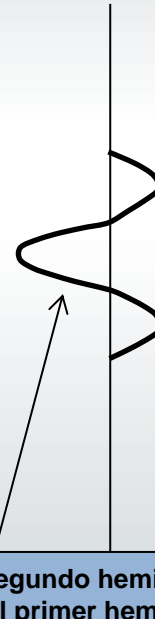
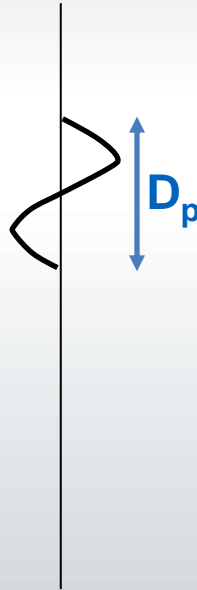
Impedancia

RC

Ondícula 1

Ondícula 2

Compuesta



Respuesta del tope de la capa

Interferencia Máxima

Respuesta de la base de la capa

El segundo hemiciclo de la Ondícula 1 y el primer hemiciclo de la Ondícula 2 están completamente en fase resultando en un aumento del doble de la amplitud

Parámetros de Entrada:

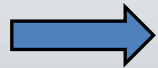
Velocidad en la zona de interés

Frecuencia Central de la ondícula en la zona de interés

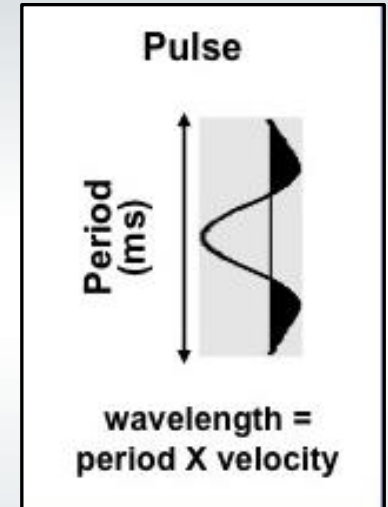
Cálculos:

Período = $1 / \text{Frecuencia Central}$

Longitud de Onda = Período * Velocidad



Límite de Resolución Vertical = Longitud de Onda / 4



Evento Somero

Velocidad = 2000 m/s

Ondícula:

Frecuencia Central = 50 Hz

Período = $1 / 50 = 0,20$ segundos

Longitud de Onda = $0,20 \times 2000 = 40$ metros

Límite de resolución = $40 / 4 =$

Evento Profundo

Velocidad = 3000 m/s

Ondícula:

Frecuencia Central = 20 Hz

Período = $1 / 20 = 0,50$ segundos

Longitud de Onda = $0,50 \times 3000 = 150$ metros

Límite de resolución = $150 / 4 =$

Evento Somero

Velocidad = 2000 m/s

Ondícula:

Frecuencia Central = 50 Hz

Período = $1 / 500 = 0,20$ segundos

Longitud de Onda = $0,20 \times 2000 = 40$ metros

Límite de resolución = $40 / 4 = 10$ metros

Evento Profundo

Velocidad = 3000 m/s

Ondícula:

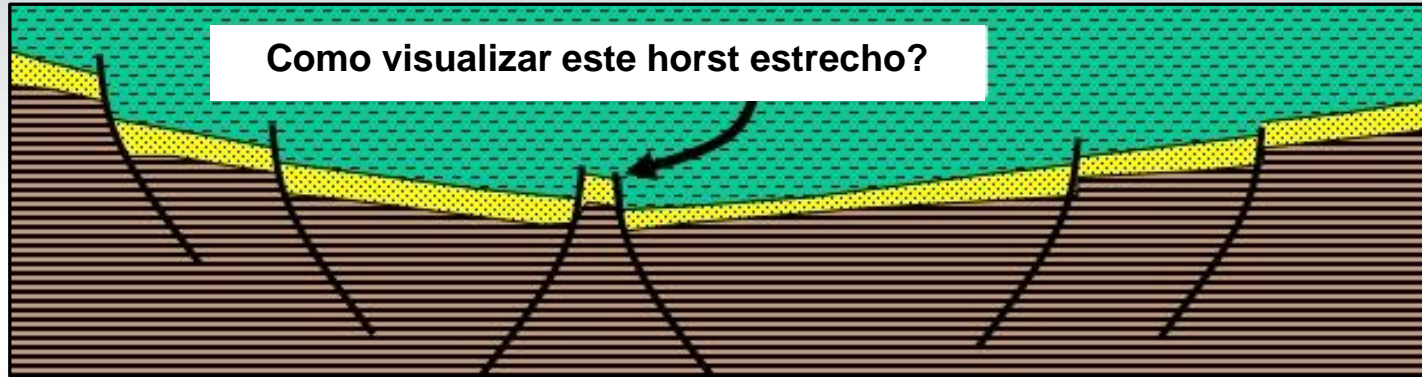
Frecuencia Central = 20 Hz

Período = $1 / 20 = 0,50$ segundos

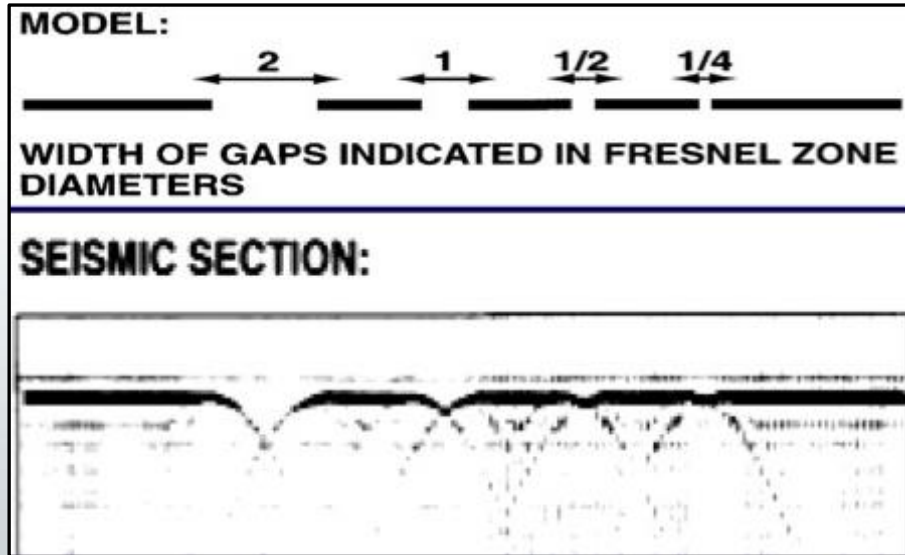
Longitud de Onda = $0,50 \times 3000 = 150$ metros

Límite de resolución = $150 / 4 = 37,5$ metros

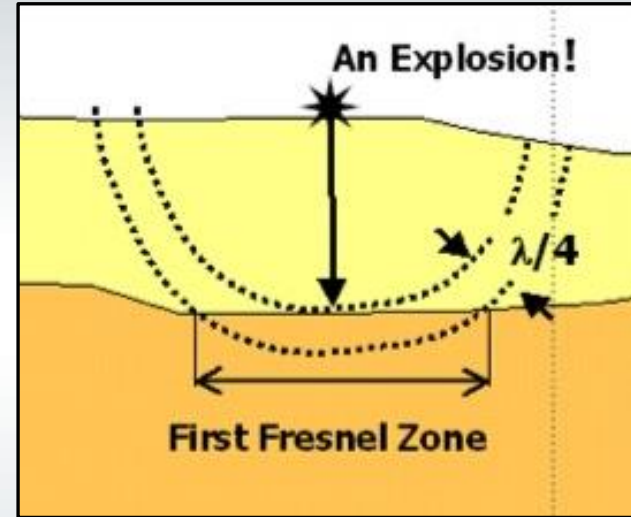
- **Resolución es la capacidad de diferenciar distintos eventos**
- **La respuesta de capa delgada tiene lugar por debajo del espesor de tuning**
- **Se prefieren las ondículas (impulsos) de corta duración**
 - **Las ondículas de ancho de banda amplio y fase cero son las mejores**
 - **Las ondículas con mínima energía en los lóbulos laterales mejoran la interpretación**
- **Para mejorar la resolución:**
 - **El ancho de banda puede incrementarse mediante deconvolución**
 - **Las frecuencias que se incluyen deben tener una adecuada relación señal-ruido**



¿Cual es la mínima distancia horizontal entre dos rasgos del subsuelo para que puedan ser diferenciados sísmicamente?

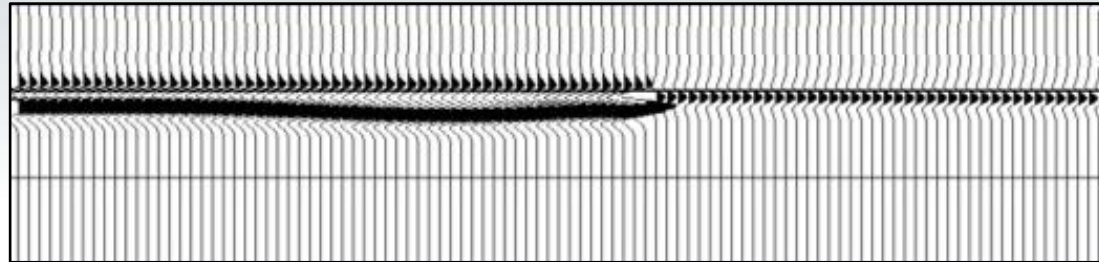


- Un evento observado en el receptor es reflejado desde una zona de puntos
- Los caminos de los rayos desde la fuente hasta el receptor que difieren en longitud en menos de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, pueden interferir constructivamente
- La porción del reflector desde el que se adicionan constructivamente es la **Zona de Fresnel**
- Los cambios que tienen lugar dentro de esta zona son difíciles de resolver
- El tamaño de la Zona de Fresnel depende de la longitud de onda del impulso y de la profundidad del reflector



Reducción del Smearing lateral por Migración

Respuesta Ideal
o del Modelo



Stack
(no migrado)

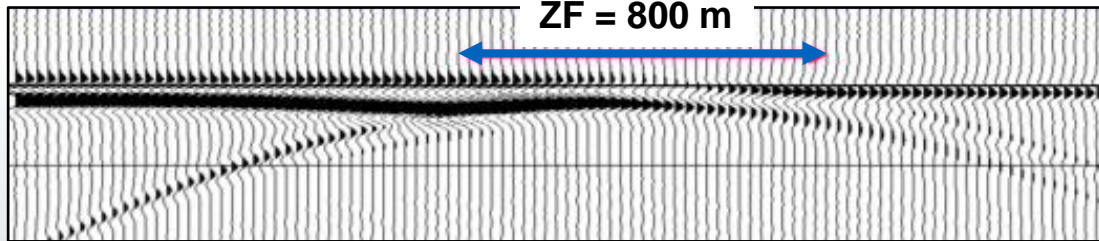
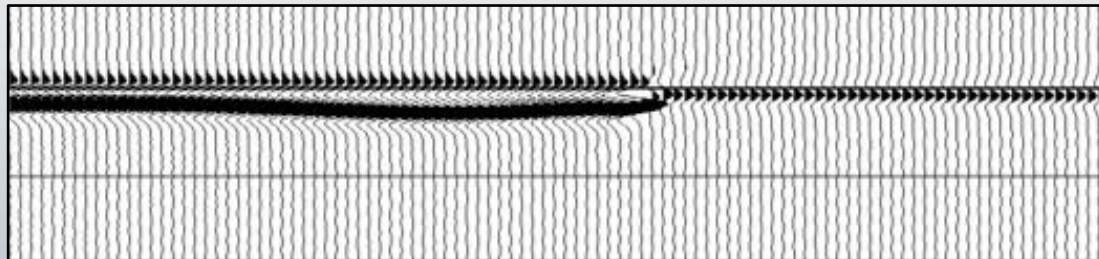
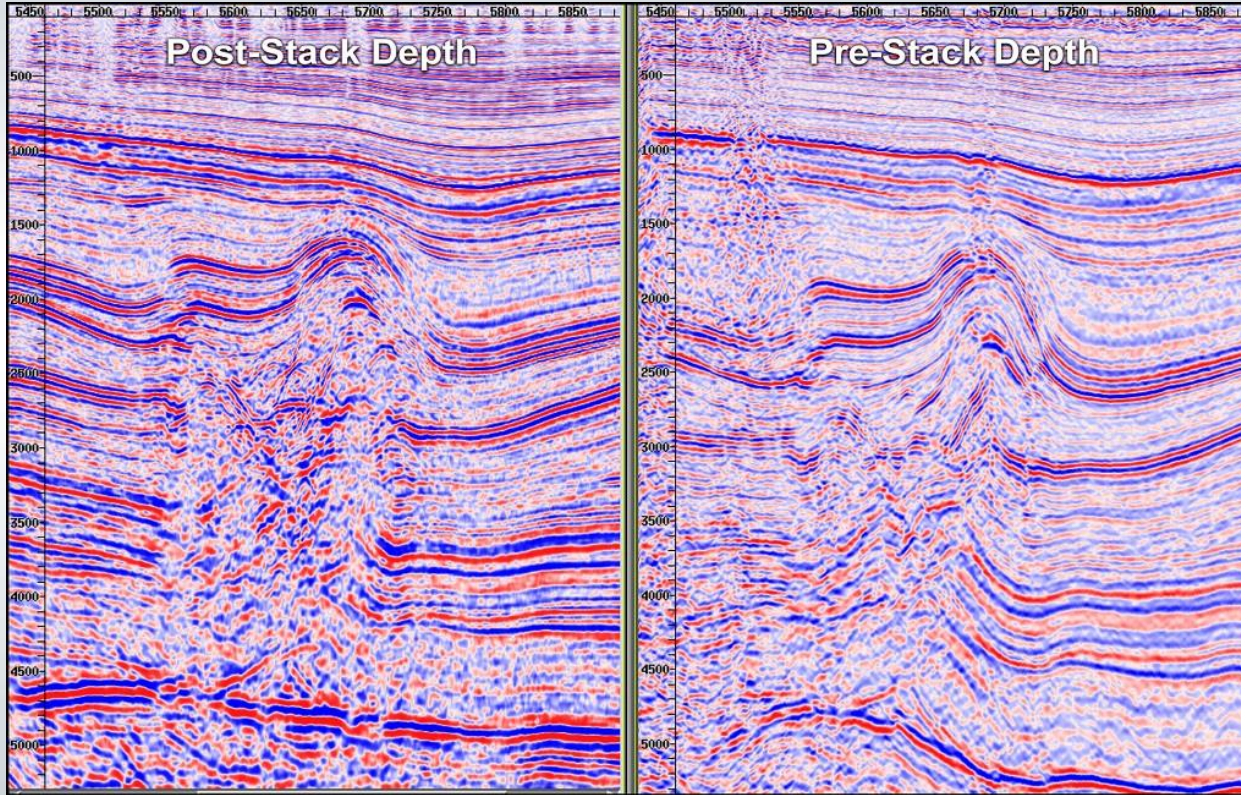


Imagen después
de migración





Migración Estándar

Migración de Alta Gama

Pre Migración

$$F_d = V_{avg} \sqrt{T/F}$$

Post Migración

$$F_d = \lambda / 4 = V_{avg} / 4F$$

Donde:

F_d = Diámetro de Fresnel

V_{avg} = Velocidad Promedio

T = Tiempo

F = Frecuencia de la ondícula

λ = Longitud de onda

Evento Somero

- Tiempo = 1 segs
- $V_{int} = V_{avg} = 2000 \text{ m/s}$
- Frecuencia Central Pulso = 50 Hz
- Diametro Fresnel PreMig =
- Diametro Fresnel PostMig =

Evento Profundo

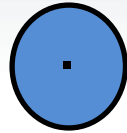
- Tiempo = 5 segs
- $V_{int} = 4600 \text{ m/s}$
- $V_{avg} = 3800 \text{ m/s}$
- Frecuencia Central Pulso = 20 Hz
- Diametro Fresnel PreMig =
- Diametro Fresnel PostMig =

Evento Somero

- Tiempo = 1 segs
- $V_{int} = V_{avg} = 2000 \text{ m/s}$
- Frecuencia Central Pulso = 50 Hz
- Diametro Fresnel PreMig = **282 metros**
- Diametro Fresnel PostMig = **10 metros**

Evento Profundo

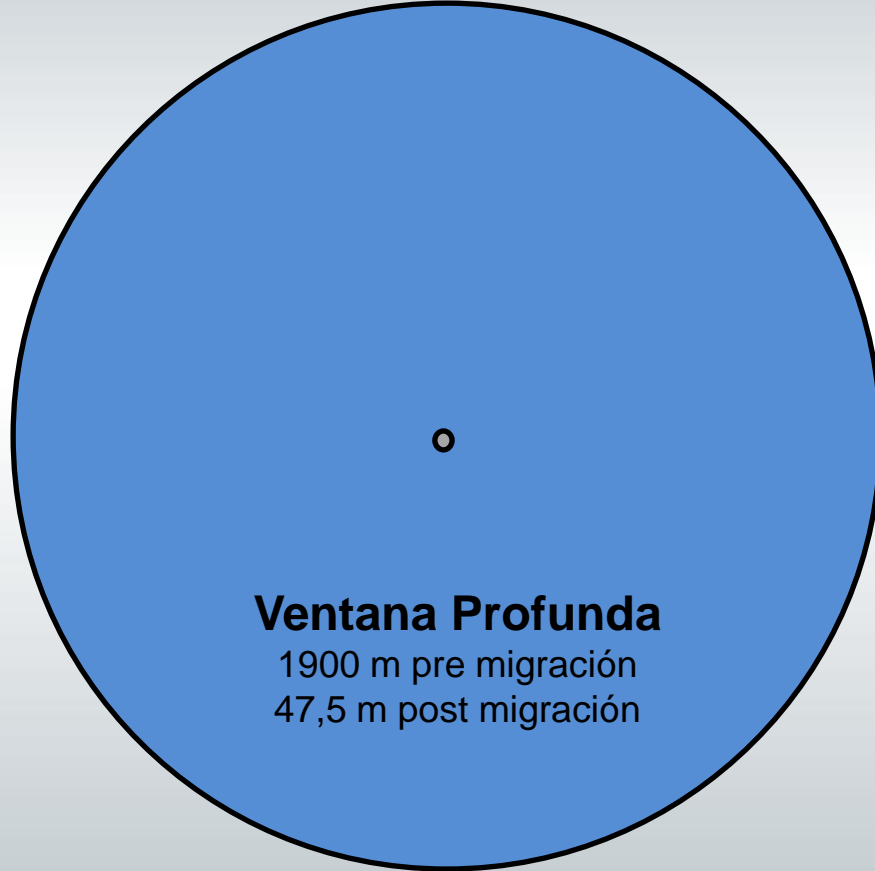
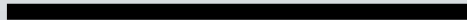
- Tiempo = 5 segs
- $V_{int} = 4600 \text{ m/s}$
- $V_{avg} = 3800 \text{ m/s}$
- Frecuencia Central Pulso = 20 Hz
- Diametro Fresnel PreMig = **1900 metros**
- Diametro Fresnel PostMig = **47,5 metros**



Ventana Somera

282 m pre migración
10 m post migración

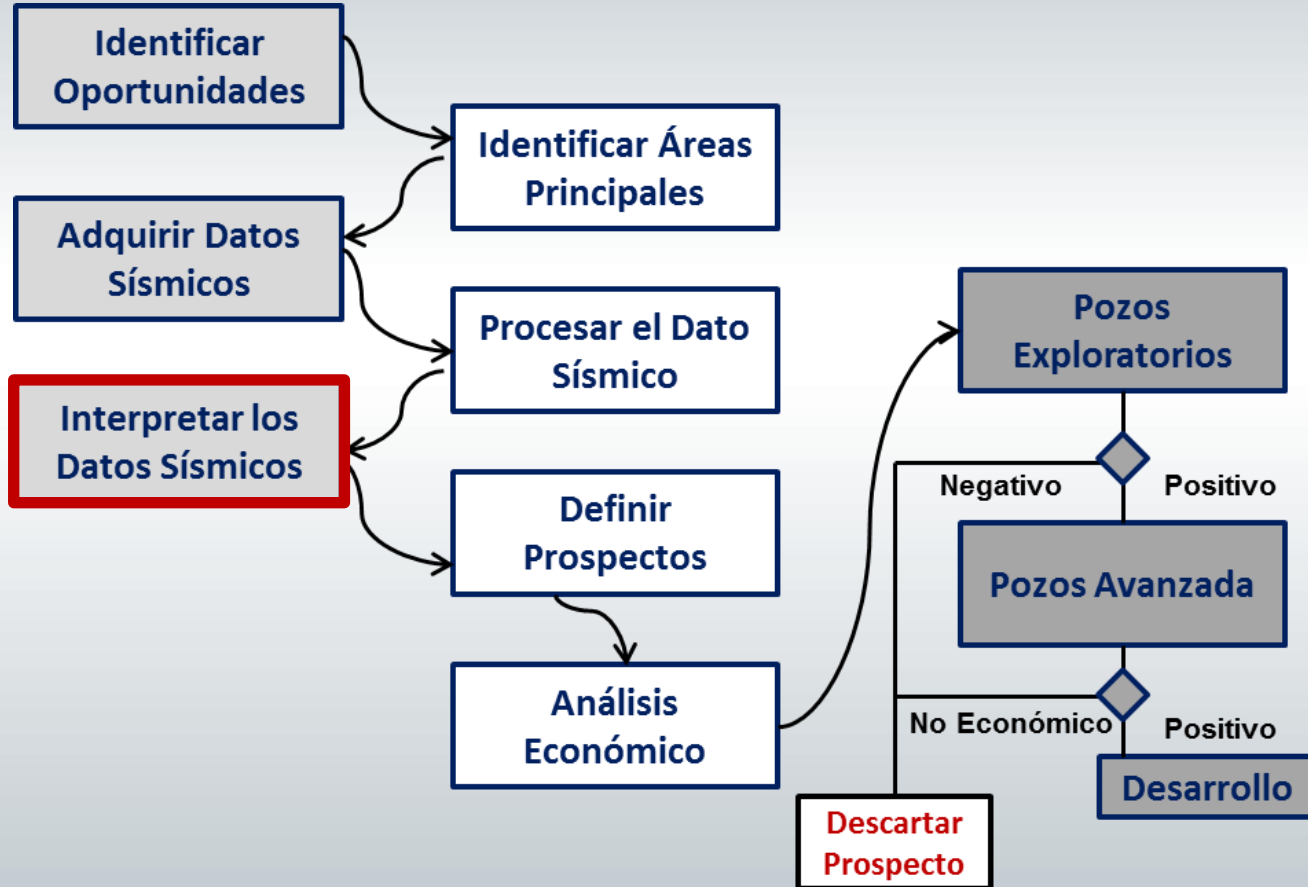
1 km



Ventana Profunda

1900 m pre migración
47,5 m post migración

- **La migración realiza la resolución lateral**
- **Se necesita una gran apertura (longitud del cable de receptores) para tener una resolución lateral alta**
- **Se necesita un muestreo espacial fino para tener una resolución lateral alta**
- **La migración pre-stack da una mejor resolución lateral que la migración post-stack**
- **La migración en profundidad da una mejor resolución que la migración en tiempo**



La interpretación sísmica permite..

- **Desarrollar un Modelo Geológico**
- **Aplicar ese modelo Geológico a la Prospección de hidrocarburos (Exploración)**

Utilizando todos los datos disponibles (pozos, sísmica, afloramientos, estudios regionales, gravimétricos, magnéticos, etc.), el objetivo es construir un Modelo Estructural y Estratigráfico que refleje las condiciones actuales

➤ Interpretación Estructural

- Fallas y Pliegues
- Subsistencia y Levantamiento
- Trenes Estructurales
- Rasgos Estructurales

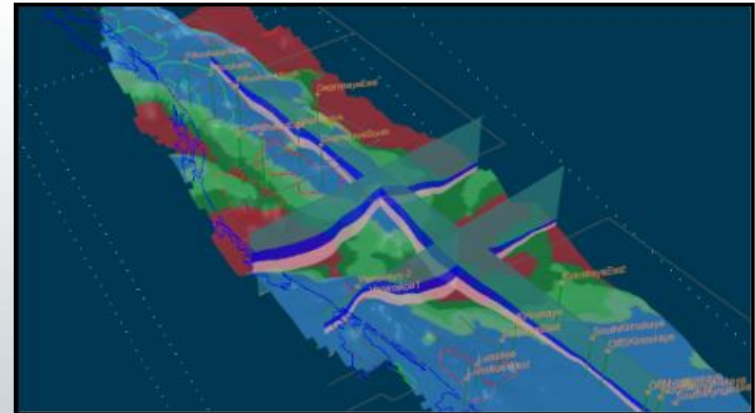
➤ Interpretación Estratigráfica

- Discordancias
- Paquetes de estratos
- Litologías / Facies / Ambientes Sedimentarios
- Edades

El Análisis Estructural es el estudio de todos los procesos significativos que formaron una cuenca y deformaron su relleno sedimentario, desde procesos actuando a escala de cuenca (por ej. Tectónica de placas) hasta procesos de escala mucho menor (por ej. fracturación)

Algunos elementos importantes son:

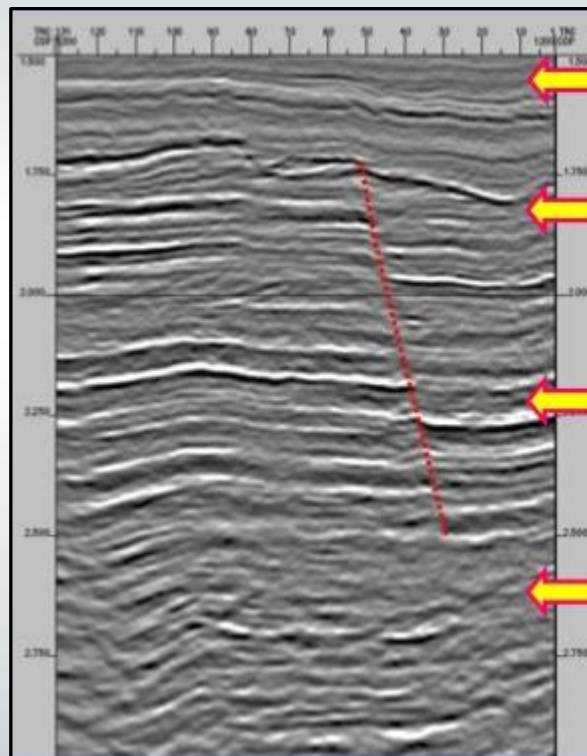
- Formación de la Cuenca
- Mapeo de la red de Fallas
- Deformación Estratigráfica
- Configuración de Trampas
- Timing del desarrollo de Trampas



- **Identificar y mapear fallas, pliegues, levantamientos y otros elementos estructurales**
- **Interpretar ambientes y estilos estructurales**
- **Asegurar la consistencia geométrica en tres dimensiones. Validar la interpretación estructural**
- **Determinar las relaciones temporales de formación de estructuras, en particular aquellas que conformaron trampas**
- **Chequear que la interpretación sea admisible**

La mayor parte de los datos sísmicos se muestran en TIEMPO doble, lo cual puede distorsionar las relaciones geométricas

Nótese la exageración vertical: cambia con la profundidad



V:H es 1,3:1
A 1900 m/s

V:H es 1:1
A 2500 m/s

V:H es 0,9:1
A 3000 m/s

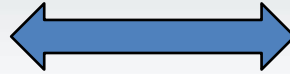
V:H es 0,8:1
A 3500 m/s

1 km

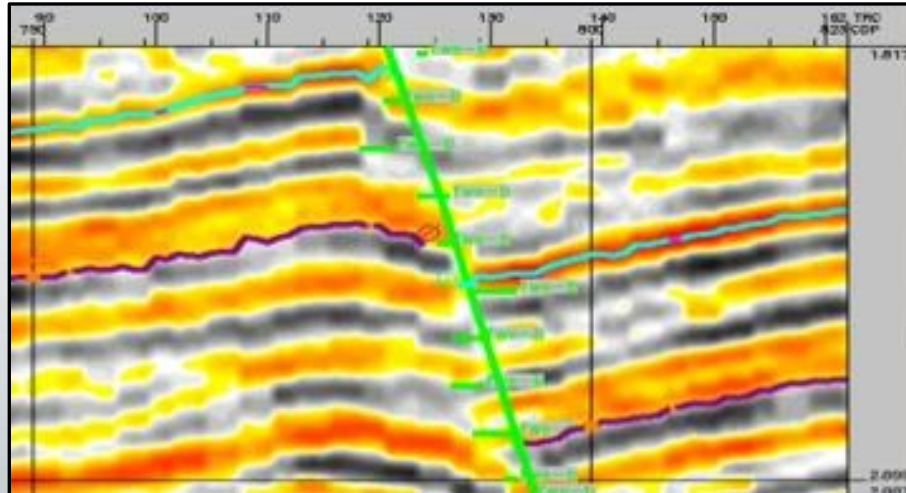
- **Es información tridimensional (aun si viene de una grilla 2D)**
- **Es capaz de visualizar estructuras a escala de trampa**
- **Es capaz de visualizar la estratigrafía, identificar los reservorios y sellos y de usarse como marcadores estructurales para, por ej., reconocer el rechazo de las fallas**
- **Provee un contexto 3D para entender otros datos:**
 - **Geología de superficie**
 - **Datos de pozo**
 - **Datos de campos potenciales**

- **Resolución Lateral limitada: no puede resolver rasgos “pequeños”**
- **Las inclinaciones de capas muy pronunciadas son difíciles de visualizar**
- **La adquisición puede ser difícil, por ej. en aéreas de topografía compleja, o geología superficial compleja, o fondos de agua “dura”**
- **El eje vertical es típicamente Tiempo (migrado), no profundidad**
 - **Las variaciones de velocidad distorsionan las geometrías**
- **Las escalas de visualización no están normalmente a $V:H = 1:1$, lo cual resulta en una distorsión de las geometrías**
- **Típicamente no podemos “ver” los hidrocarburos**

No se puede obtener toda la información estructural sin trabajar la estratigrafía

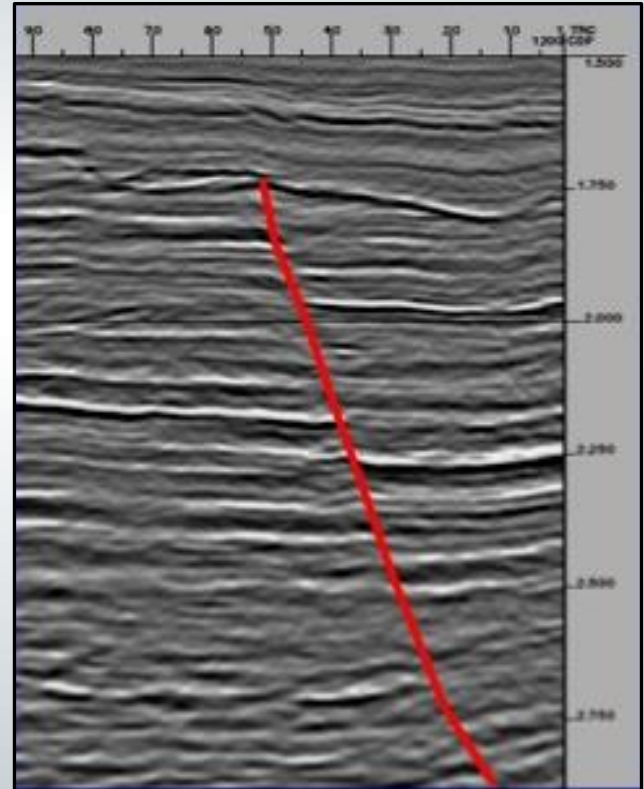


No se puede obtener toda la información estratigráfica sin trabajar la estructura

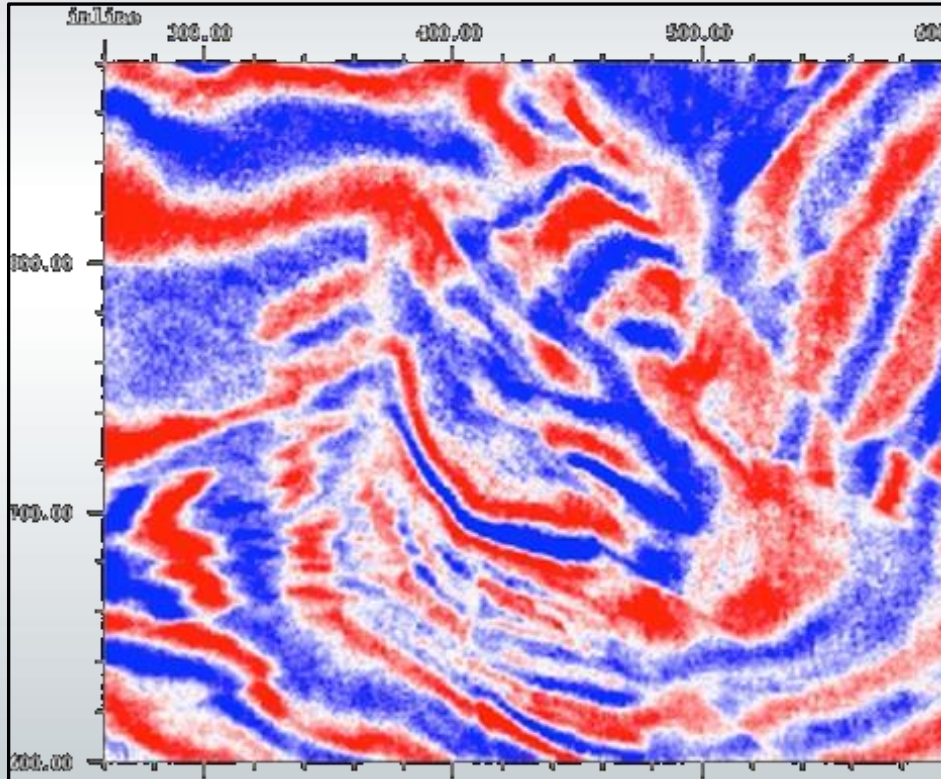


Podemos reconocer fallas de mediana a gran escala en las secciones sísmicas por:

- Terminación de reflectores
- Rechazo de horizontes estratigráficos
- Cambios bruscos de inclinación
- Cambios bruscos en los diseños de los reflectores sísmicos
- Reflexiones del plano de falla
- Plegamientos y flexuras asociadas
- Discontinuidades



Se ven evidencias de fallas?

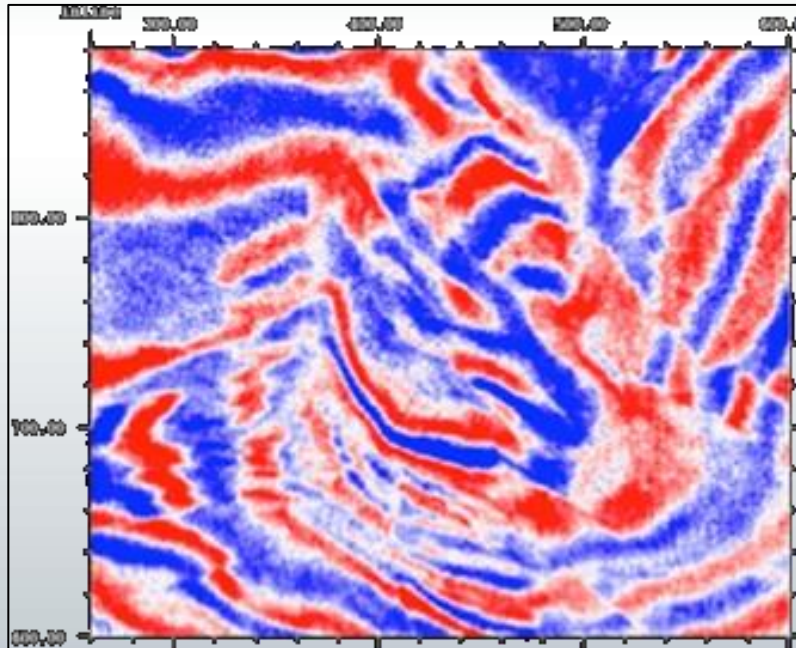


1856 ms

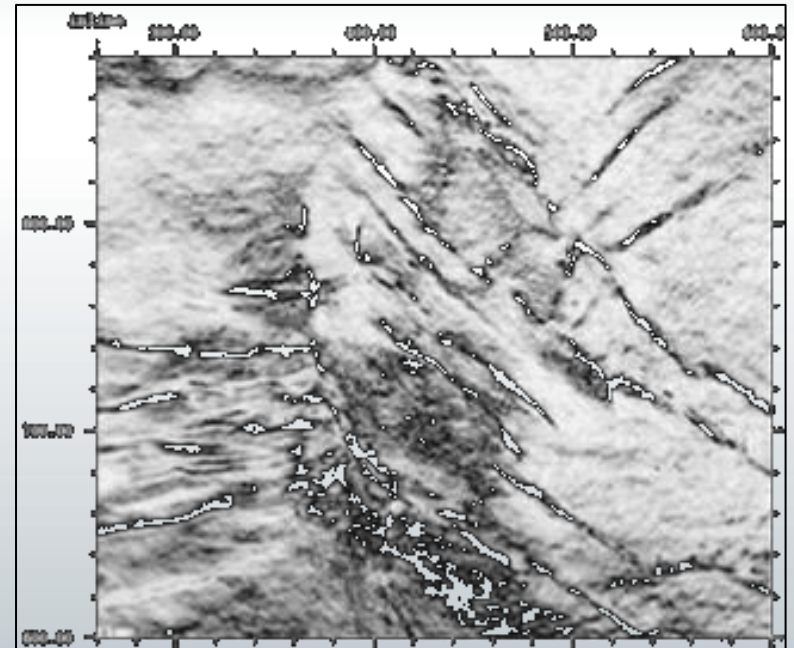
Se conoce también como Discontinuidad o Varianza

Un volumen de datos derivado del dato sísmico en amplitud basado en la correlación traza a traza. Los valores de los datos van de 0 a 1 (siendo 1 donde trazas vecinas son idénticas)

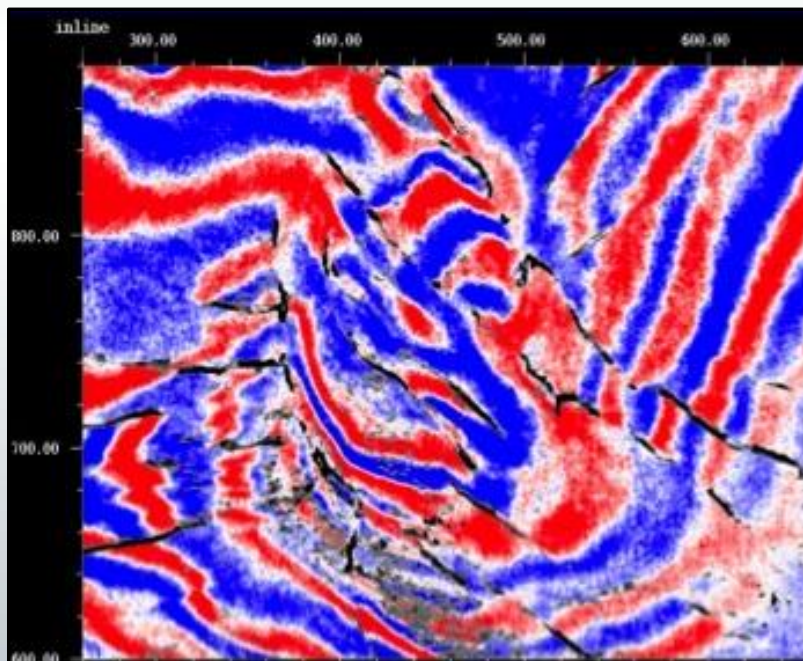
Amplitud 1856 ms



Coherencia 1856 ms



1. Los datos de amplitud se muestran en colores rojos y azules
2. Los datos de coherencia se muestran con opacidades definidas por el usuario. En este caso se uso negro para los valores muy bajos de correlación, grises para los bajos y transparente para los altos



1856 ms

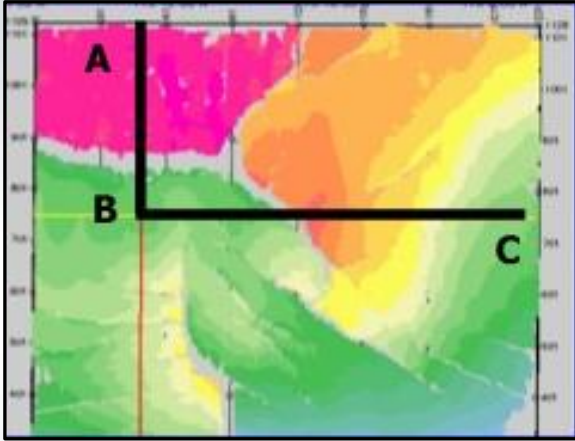
Opacidad para datos de Coherencia

Negro

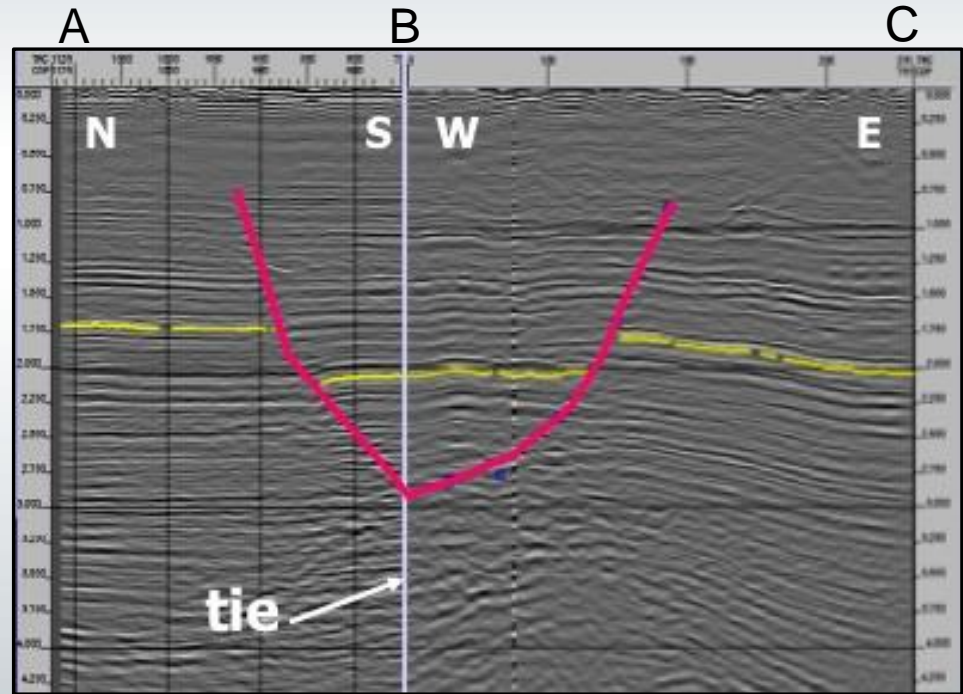
Gris

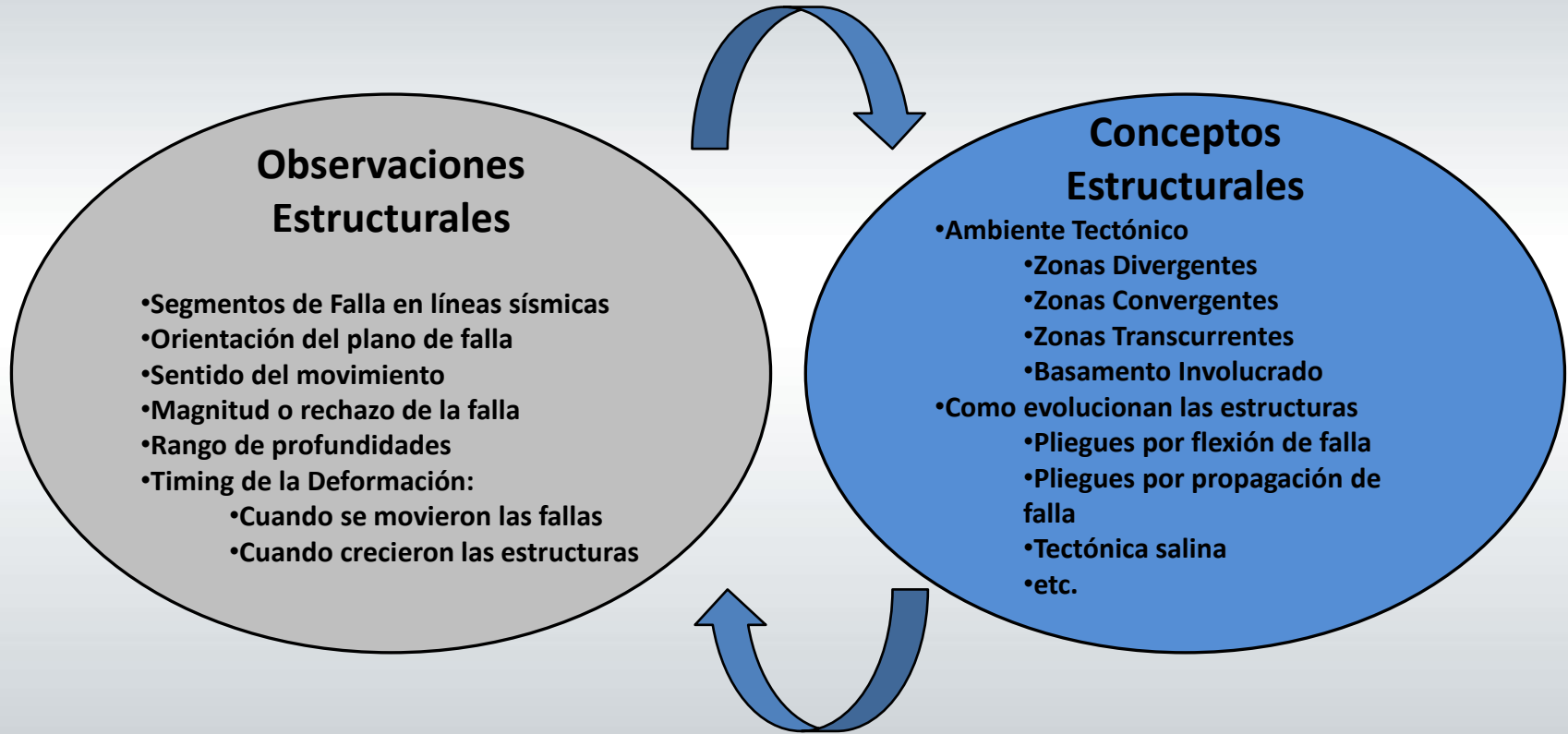
Transparente

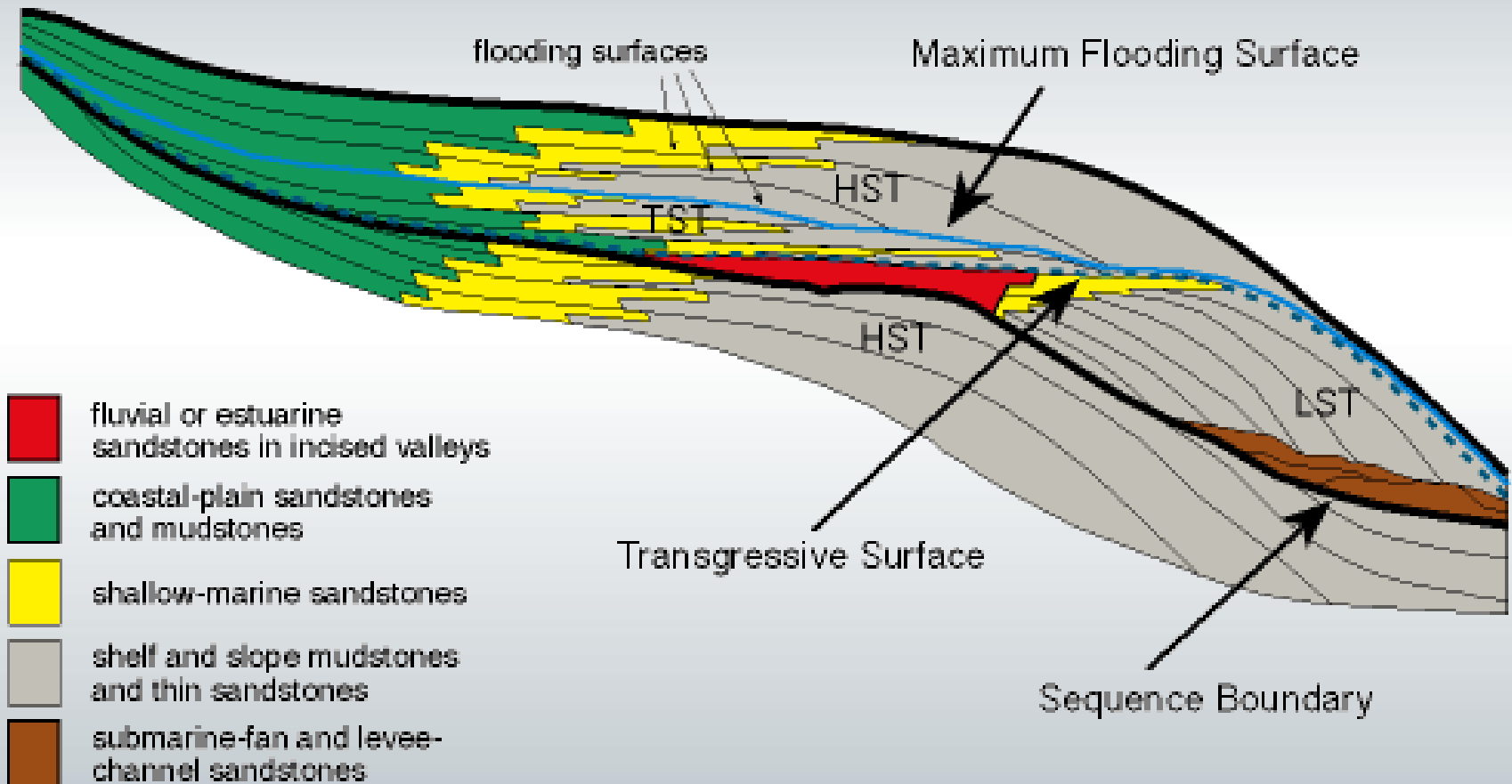


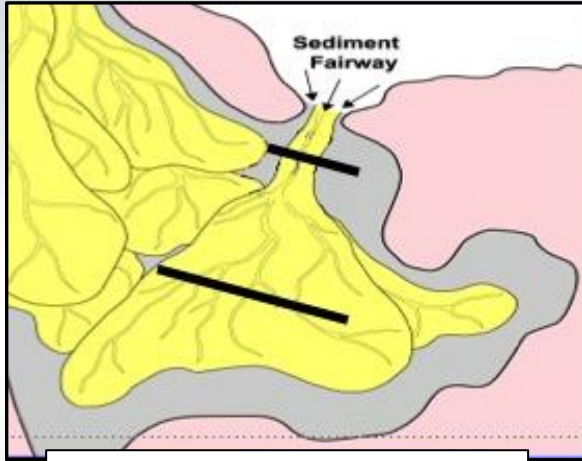


Las fallas deben coincidir en líneas que se interceptan para que la interpretación sea consistente



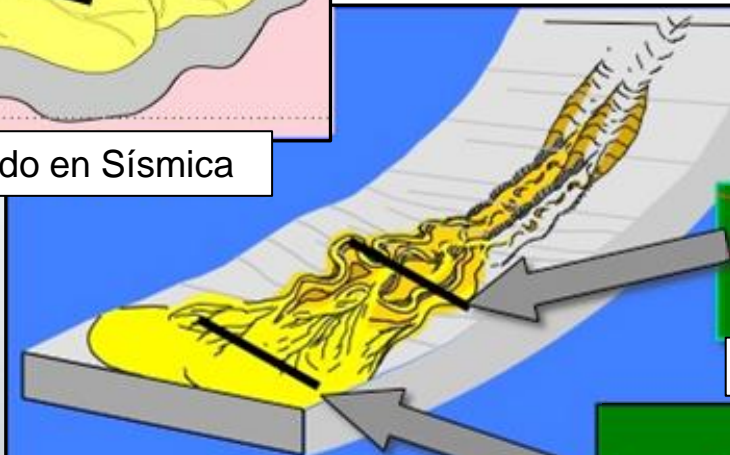






Mapa Basado en Sísmica

Las Observaciones Sísmicas se convierten en Predicciones Estratigráficas usando los modelos Depositacionales



Modelo Depositacional

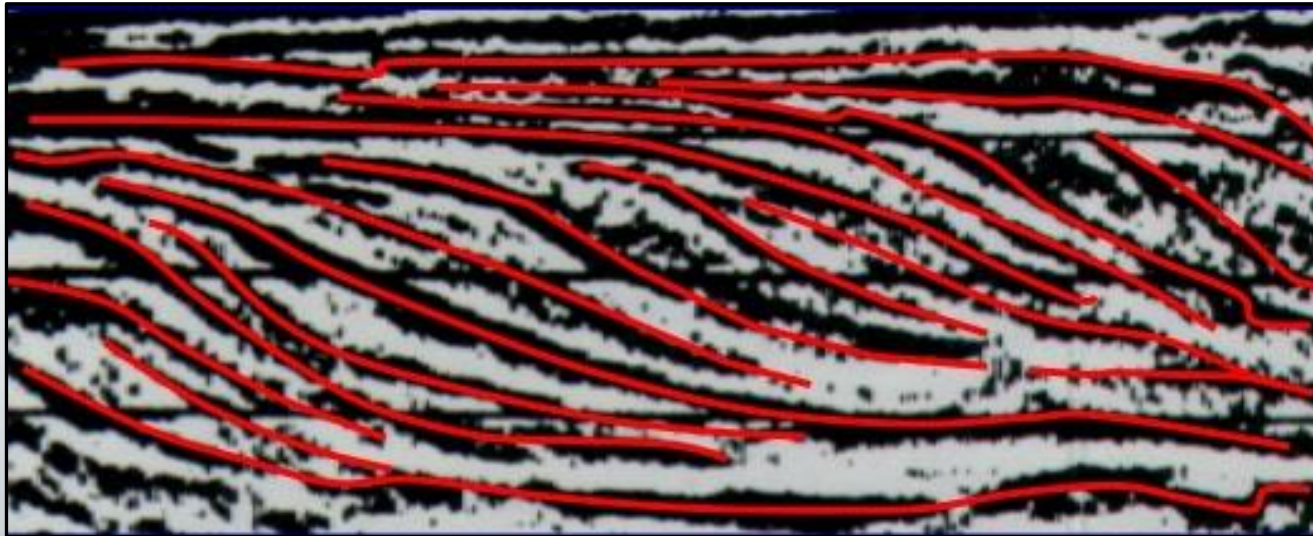


Predicción de Litologías



Los datos sísmicos tienen una resolución que no es tan fina como la que usan para trabajar la mayoría de los estratigrafos

Las unidades son genetralmente de decenas a centenas de metros



• Usando Afloramientos o Coronas

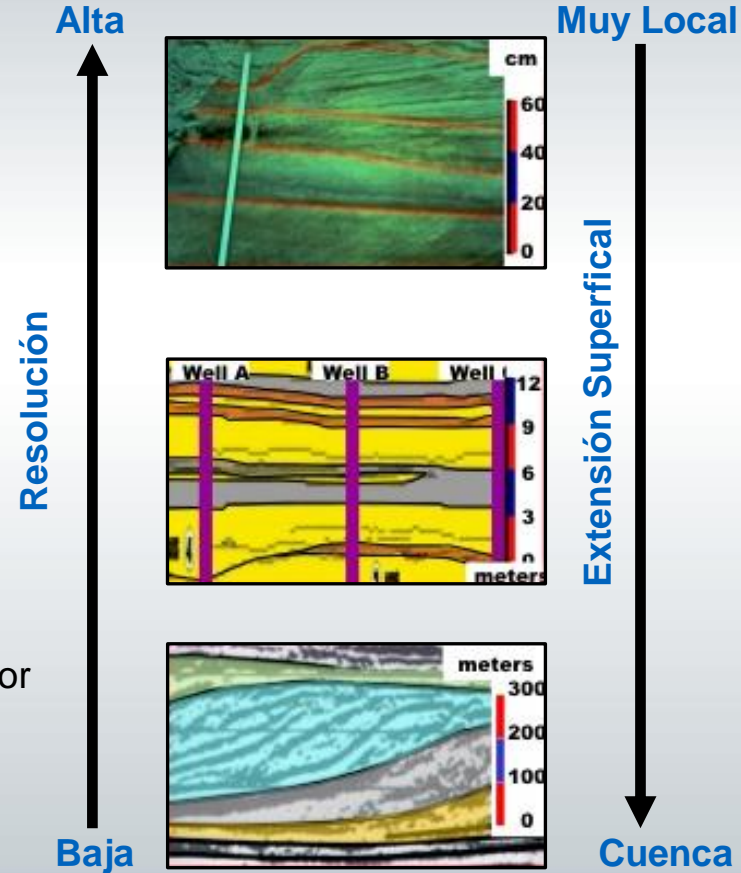
- Se correlacionan visualmente laminas y capas
- Las unidades tienen centímetros de espesor

• Usando Perfiles de Pozo

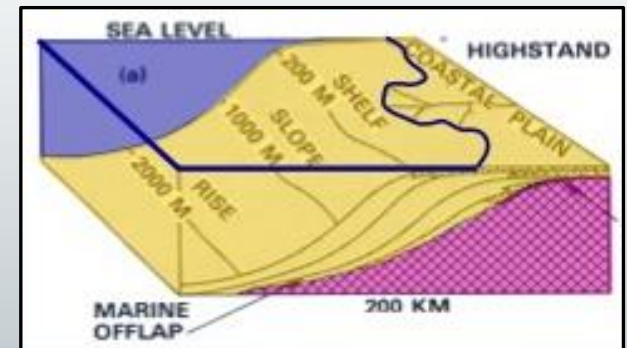
- Correlación de los patrones de los marcadores de pozo
- Las unidades tienen metros de espesor

• Usando Datos Sísmicos

- Correlación sísmica conjuntos de capas y unidades mayores
- Las unidades tienen decenas a centenas de metros de espesor



- Buena Cobertura Superficial
- Es capaz de visualizar estructuras las principales unidades depositacionales
- Es capaz de identificar las potenciales unidade de rocas madre, reservorios y sellos
- Provee un contexto estratigraficos para entender otros datos:
 - Datos de pozo
 - Historia del relleno de la cuenca
 - Sistemas de Hidrocarburos

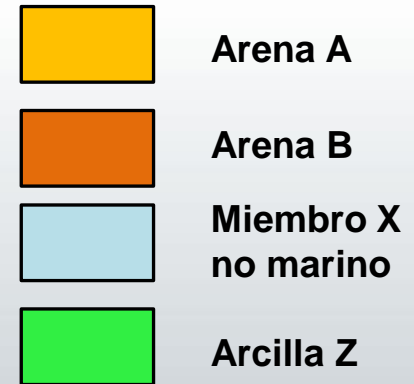
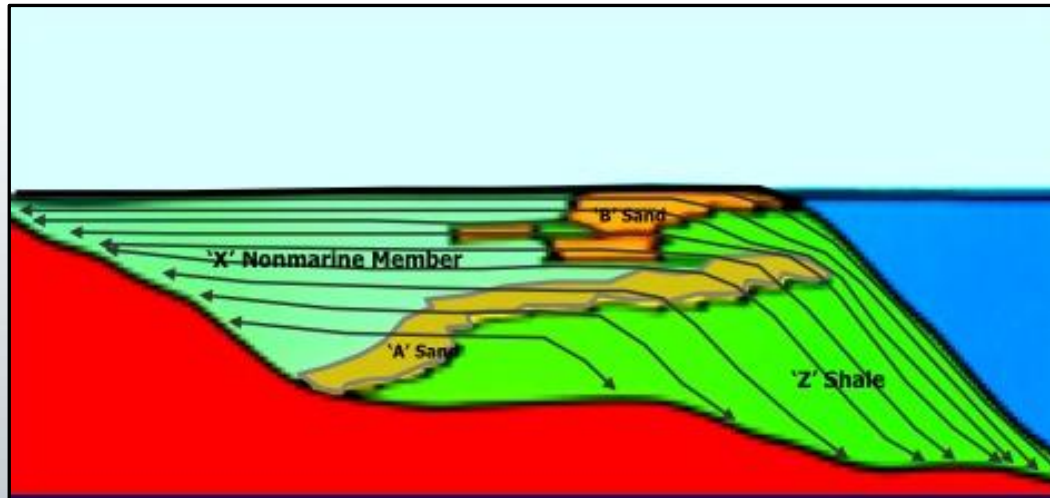


- **Resolución vertical y lateral limitada: no puede resolver rasgos “pequeños”**
- **La interpretación estratigráfica esta limitada por la calidad del dato sísmico**
- **Las respuestas sísmicas no son únicas: por ejemplo una amplitud baja puede deberse a una arena masiva o a una arcilla espesa**
- **En áreas nuevas y poco exploradas usualmente tenemos gaps de correlación desde los afloramientos o cuencas vecinas**
- **La erosión post-depositacional y/o la estructuración puede complicar las correlaciones estratigráficas y reconstrucciones paleo-depositacionales**
- **Típicamente no podemos “ver” los hidrocarburos**

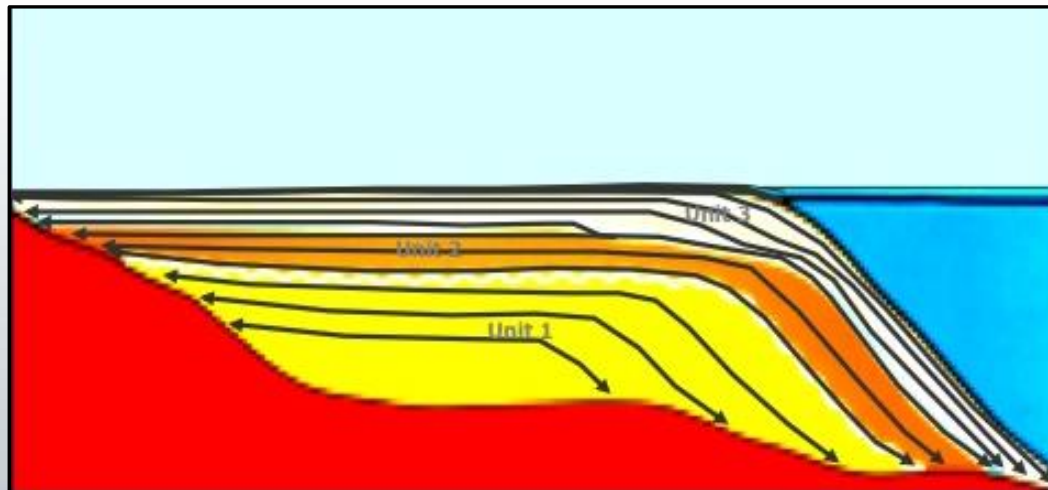
Hay dos métodos para correlacionar la estratigrafía:

- **Por tipo de roca : Litoestratigrafía**
- **Por equivalencia de edades : Cronoestratigrafía**

- Las unidades están basadas en litologías
- Las unidades de roca varían en espacio y tiempo
- Los límites entre las unidades son *subjetivos* y no físicos ya que los cambios laterales de facies son graduales



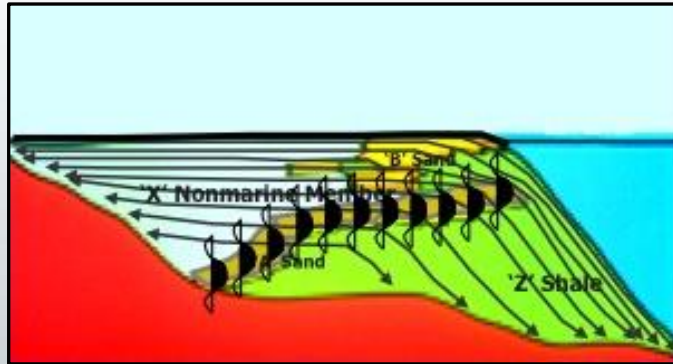
- Las unidades están basadas superficies estratales equivalentes en tiempo, subdivisiones estratigráficas naturales
- Las cronozonas varían en espacio pero no en tiempo
- Corresponden a límites físicos que pueden generar reflexiones



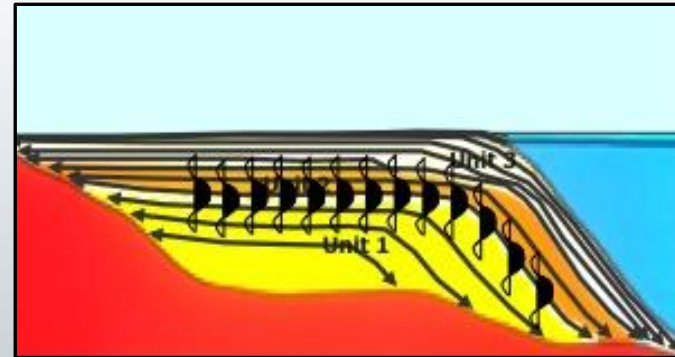
Que es lo que se observa en las Secciones Sísmicas?

- Unidades Litoestratigraficas o
- Unidades Cronoestratigrafías?

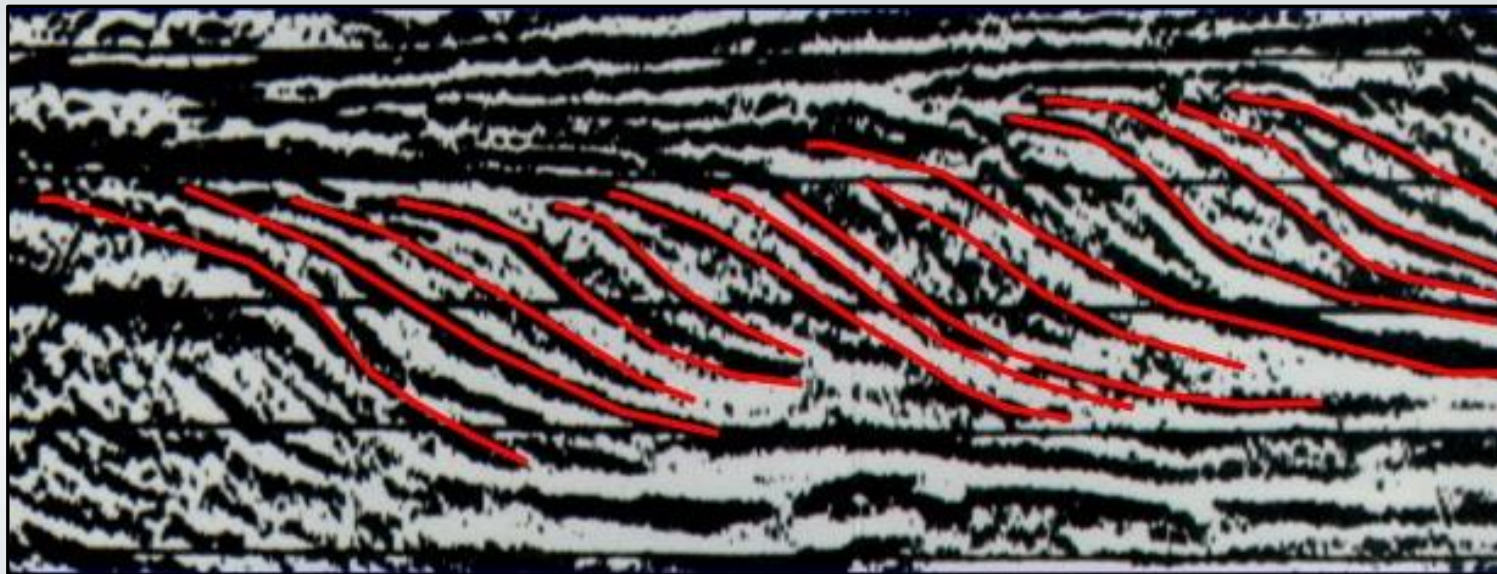
Que geometría observaríamos en un sistema progradante?



Litoestratigrafico?



Cronoestratigrafico ?



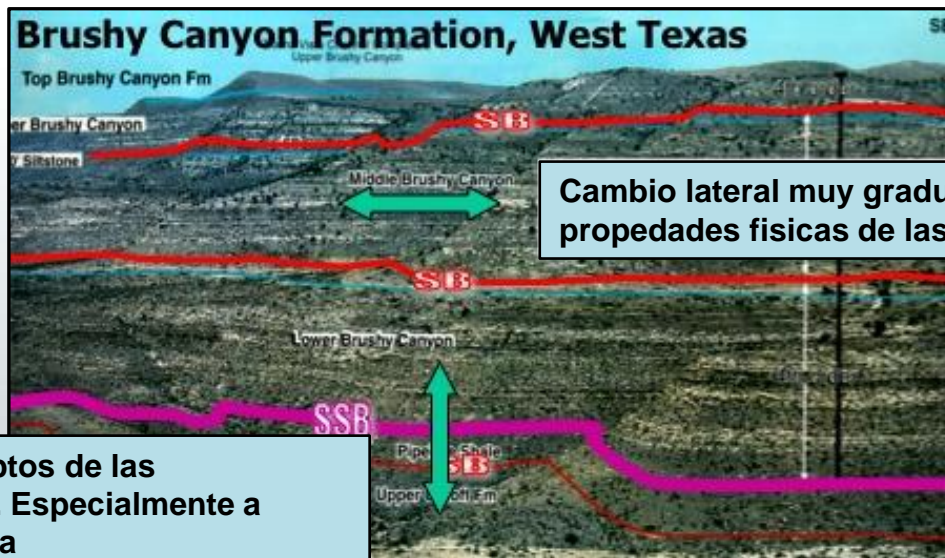
En un sistema deposicional progradante los reflectores son paralelos a las superficies estratatales y en consecuencia tienen significado temporal o cronoestratigrafico

- **Un principio básico de la sismoestratigrafía es que las reflexiones sísmicas son líneas tiempo**
- **Como las unidades de estratos por encima de la escala de bancos marcan unidades de tiempo, concluimos que las reflexiones sísmicas son cronoestratigráficas**

Recordar que las reflexiones se generan donde existen cambios en las propiedades acústicas de las rocas y fluidos ($I = \text{Vel} \times \text{Den}$)

Donde ocurrirán los cambios mas abruptos de impedancia?

- Horizontalmente como cambios en litofacies?
- Verticalmente a través de los limites estratales?



Cambio lateral muy gradual de las propiedades físicas de las rocas

Aquí puede haber cambios abruptos de las propiedades físicas de las rocas. Especialmente a través de los limites de secuencia

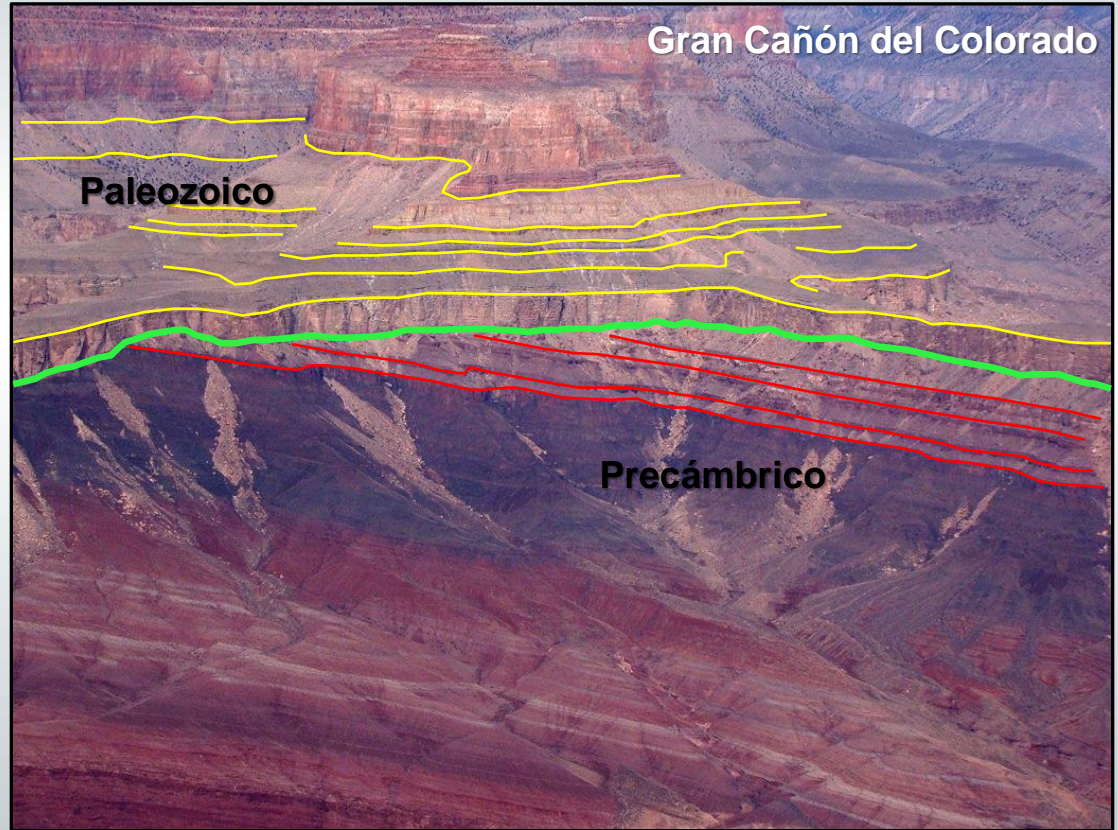
Como podemos subdividir una sección sísmica en unidades estratigráficas que tengan sentido?

Análogamente, que es lo que haríamos con esta foto de un afloramiento?

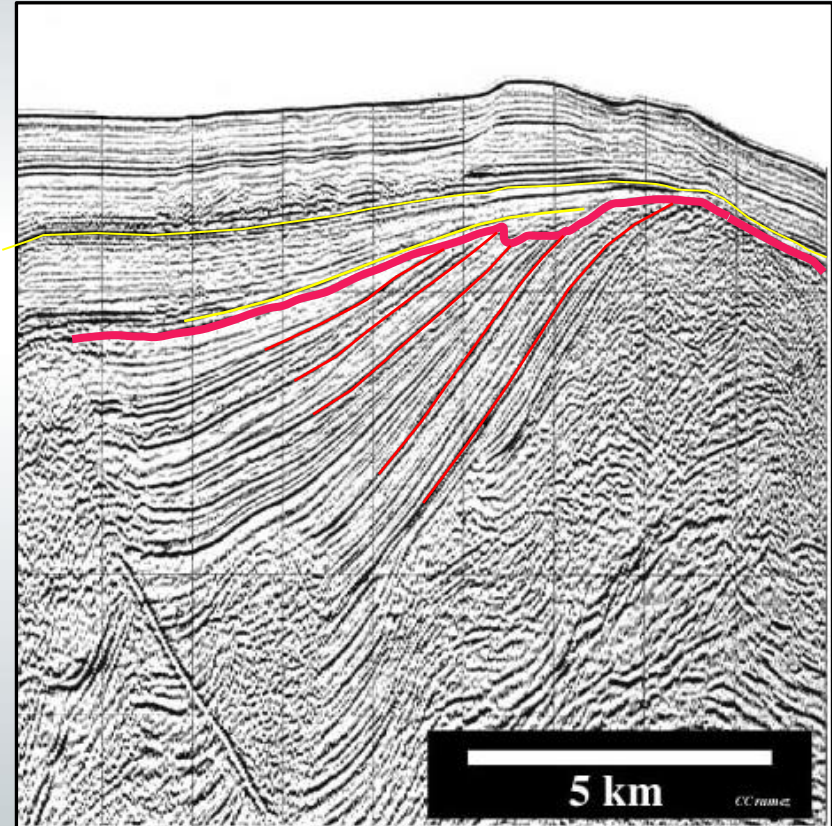
Buscaríamos evidencias de quiebres significativos en la depositación?

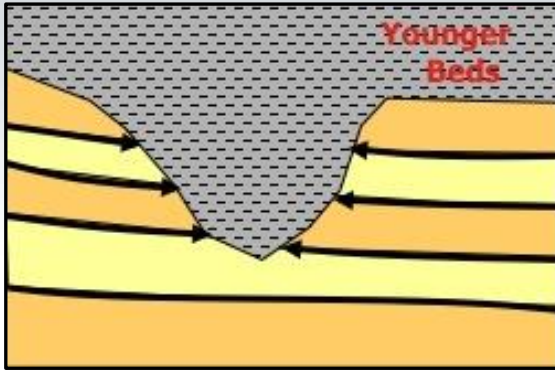


La discordancia angular entre las rocas precámbricas y las rocas paleozoicas marca una disconformidad que separa un paquete estratigráfico mas viejo de uno mas nuevo



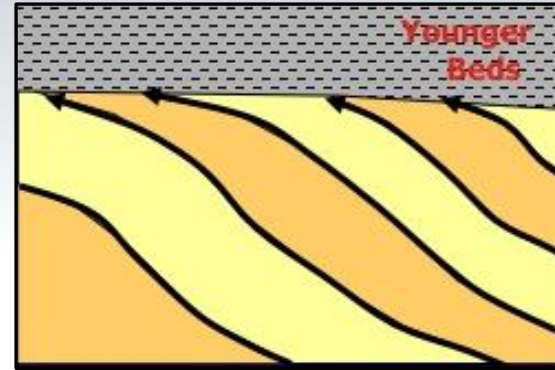
Hay una discordancia angular entre las reflexiones a un lado y otro de la superficie rosa





Erosión

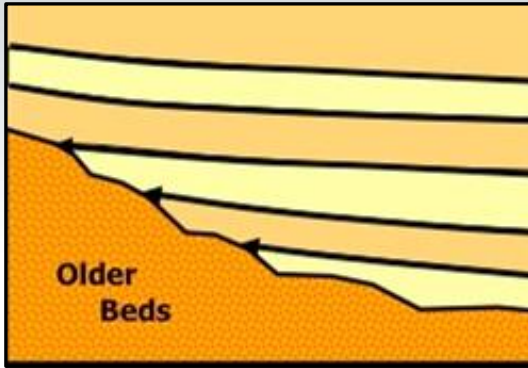
Una relación discordante de **tope** a lo largo de una disconformidad debido a erosión post depositacional



Toplap

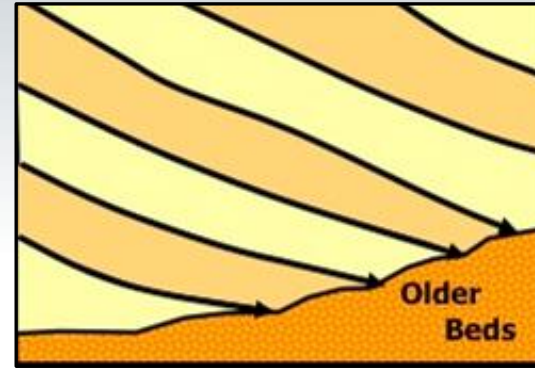
Una relación discordante de **tope** en la cual los estratos terminan contra una superficie principalmente como resultado de no depositacion (by-pass)

NOTA: Estas definiciones están basadas en relaciones geométricas observadas e inferencias sobre procesos depositacionales



Onlap

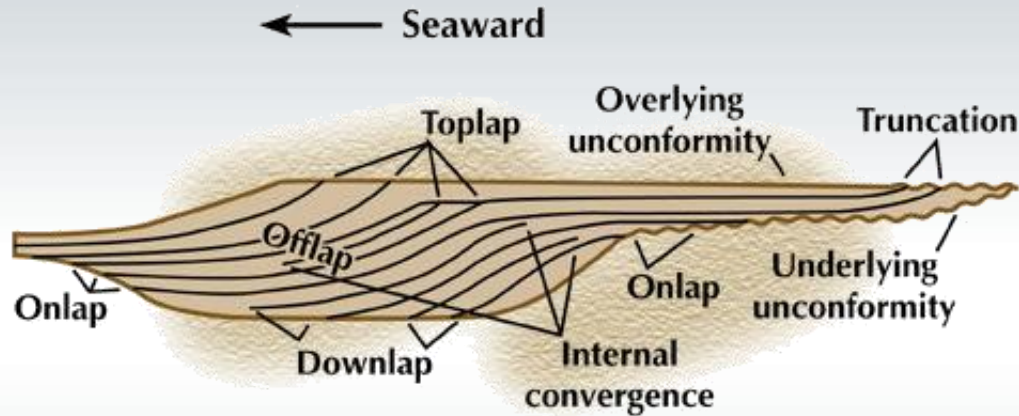
Una relación discordante de **base** en la cual los estratos más jóvenes terminan progresivamente contra una superficie de mayor inclinación



Downlap

Una relación discordante de **base** en la cual estratos inclinados más jóvenes terminan progresivamente contra una superficie de menor inclinación

NOTA: Estas definiciones están basadas en relaciones geométricas observadas; no hay inferencias sobre procesos depositacionales



From Mitchum and others (1977b)

Una **secuencia deposicional** es una sucesión de estratos relativamente concordantes y genéticamente relacionados limitados en su tope y en su base por discordancias o sus correlativas concordancias.

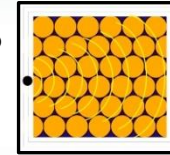
Una **secuencia sísmica** es una secuencia deposicional identificada en una sección sísmica

- **Revisar las causas de la respuesta sísmica**
- **Modelando la respuesta sísmica**
- **Que son los atributos sísmicos**
- **Generalidades sobre las aplicaciones de los Atributos Sísmicos**

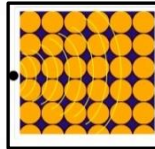
¿Que causa la respuesta sísmica?

- Litología (areniscas, pelitas, calizas, evaporitas)
- Porosidad (intrínseca, compactación, diagénesis)
- Mineralogía (calcita vs dolomita, pelitas carbonosas)
- Tipo de Fluidos y saturación (agua, petróleo, gas)

Rápido



Lento



Una arenisca con 30% de porosidad:

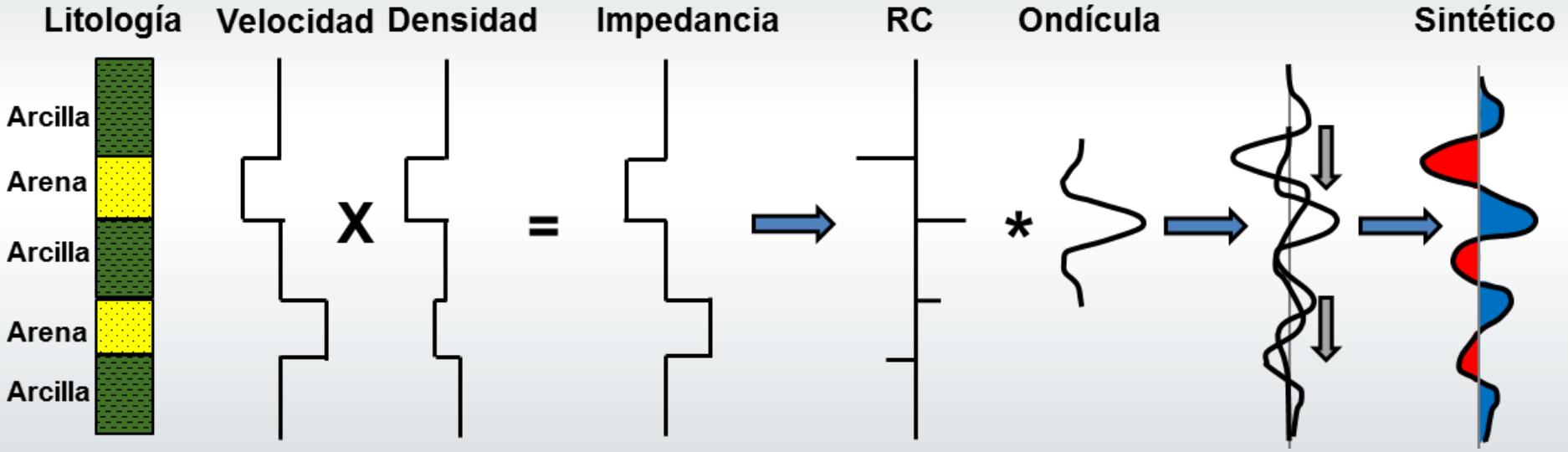
Fluido Poral	Densidad
Agua salada	2,164
Agua dulce	2,155
Petróleo	2,095
Gas	1,856

Modelando la respuesta sísmica:

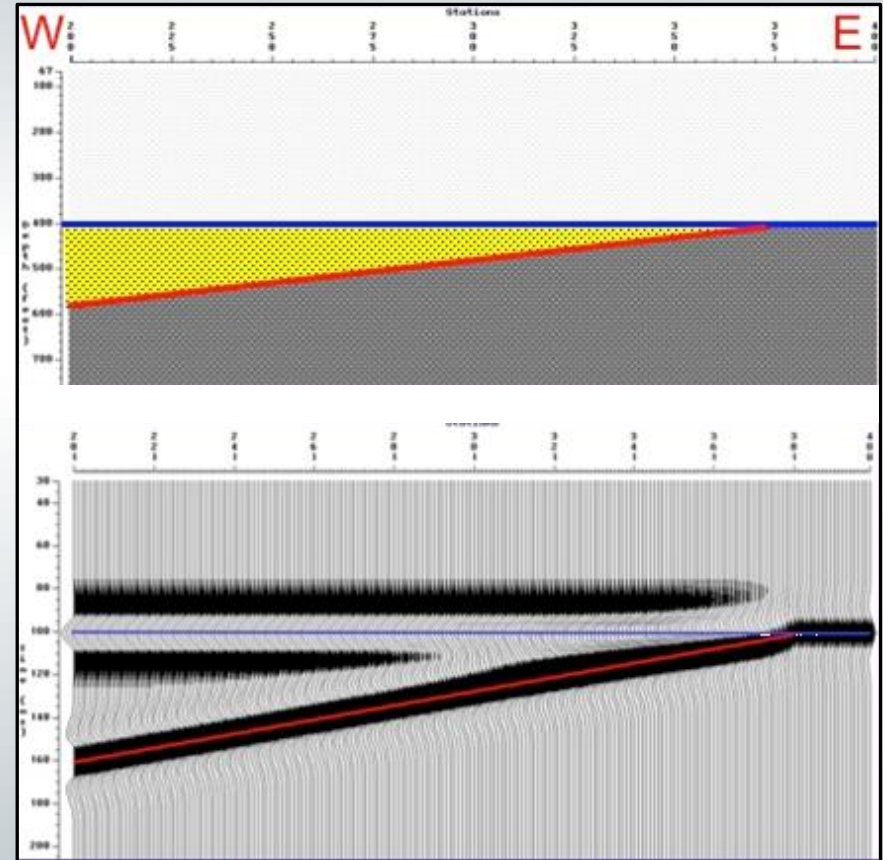
- Determinar la velocidad y densidad total del conjunto rocoso
- Calcular la impedancia (Recordar: $I = \text{Densidad} \times \text{Velocidad}$)
- Representar los cambios de impedancia como coeficientes de reflexión

$$CR = (I_2 - I_1) / (I_2 + I_1)$$

- Convolucionar la ondícula sísmica con los coeficientes de reflexión



- El **modelo de cuña** se usa para mostrar las interacciones entre los coeficientes de reflexión a medida que cambian los espesores
- Notar como el pico del medio cambia de amplitud, forma y duración a medida que la arena se hace menos espesa hacia el este



¿Qué son los Atributos Sísmicos?

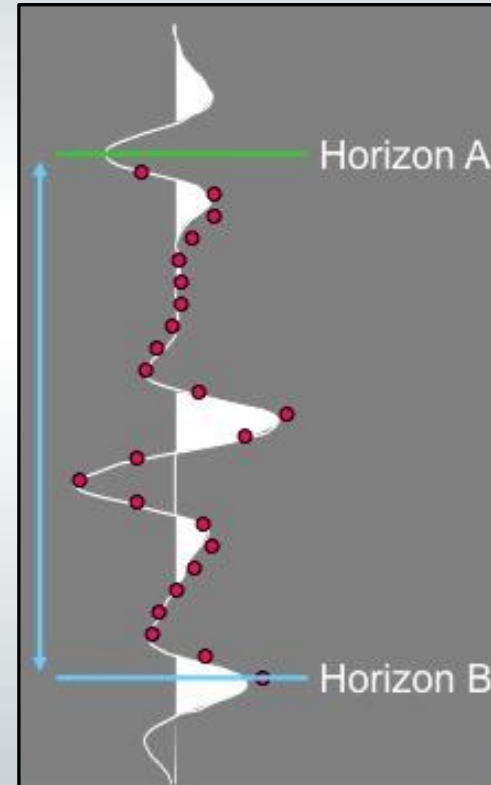
Los **Atributos Sísmicos** son descripciones matemáticas de la forma y otras características de la traza sísmica en intervalos de tiempo específicos

¿Por qué son importante los **Atributos Sísmicos**?

- Los datos sísmicos son cada vez más confiables y se requiere que podamos extraer la mayor cantidad posible de información de la respuesta sísmica
- Los atributos sísmicos permiten a los intérpretes extraer mas información del dato sísmico
- Las aplicaciones incluyen evaluación de Plays, identificación de prospectos y sus riesgos asociados, caracterización de reservorios, planeamiento de pozos y desarrollo de yacimientos

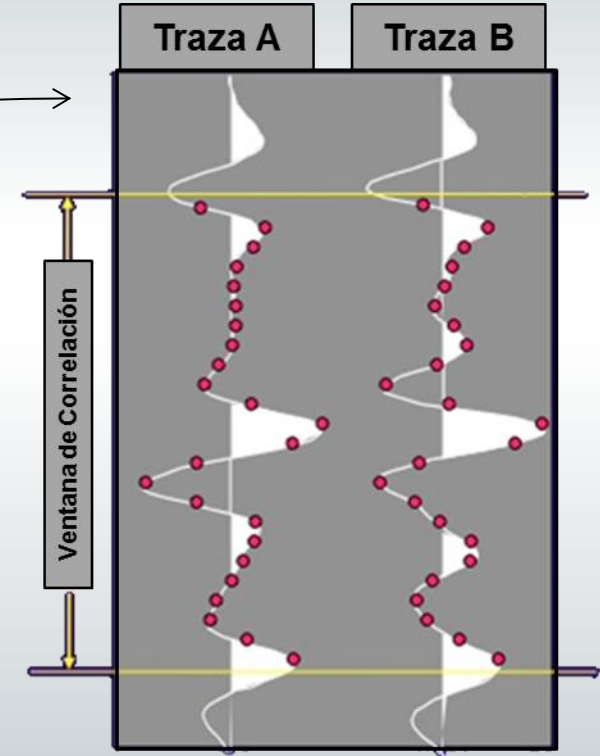
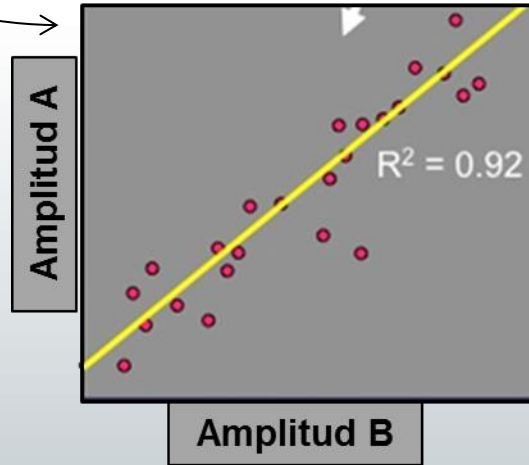
Clases de Atributos Sísmicos

- **Horizonte (loop)**
 - Pico de la amplitud
 - Duración
 - Simetría
- **Intervalo**
 - Amplitud Promedio
 - Máxima (Mínima) Duración
 - Isocrón
- **Muestra (volumen, instantáneos)**
 - Amplitud
 - Tiempo
 - Frecuencia



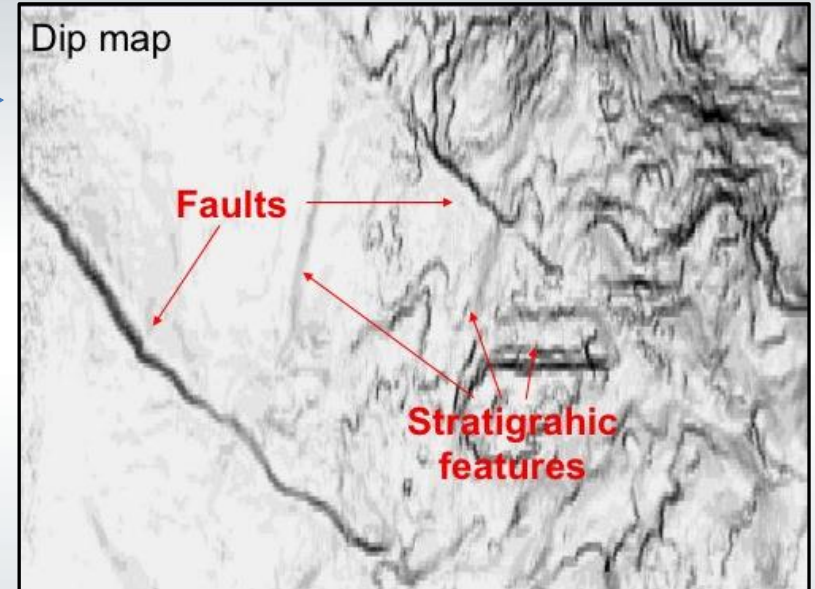
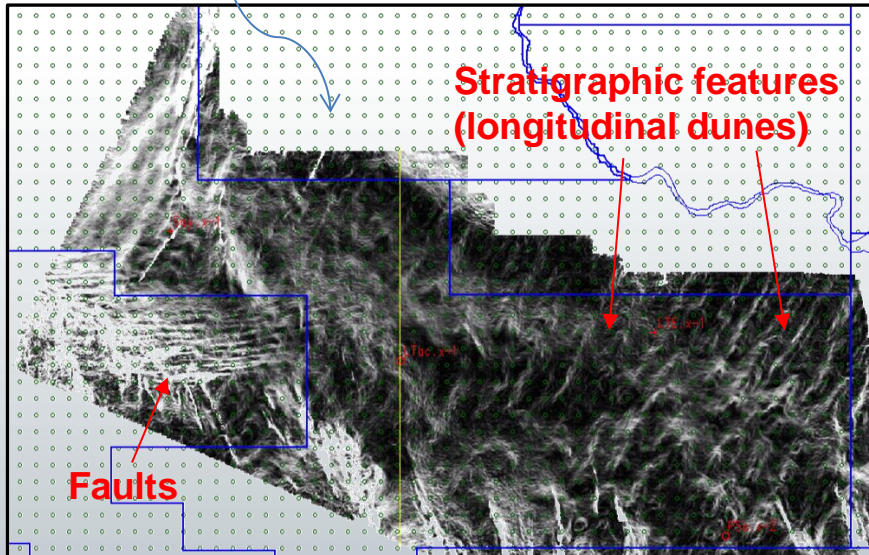
Clases de Atributos Sísmicos

- Multi Traza
- Dip / Azimuth
- Coherency



Clases de Atributos Sísmicos

- Multi Traza
- Dip / Azimuth
- Coherency



Aplicaciones de los **Atributos Sísmicos**

- **Cualitativas**

- **Calidad del dato; identificación de artefactos sísmicos**
- **Facies Sísmicas; Ambientes deposicionales**

- **Cuantitativas**

- **Ecuaciones relacionando las propiedades de las rocas a los cambios en los atributos sísmicos**
- **Espesor del Reservorio**
- **Litología**
- **Porosidad**
- **Tipo de Fluido presente en la roca**

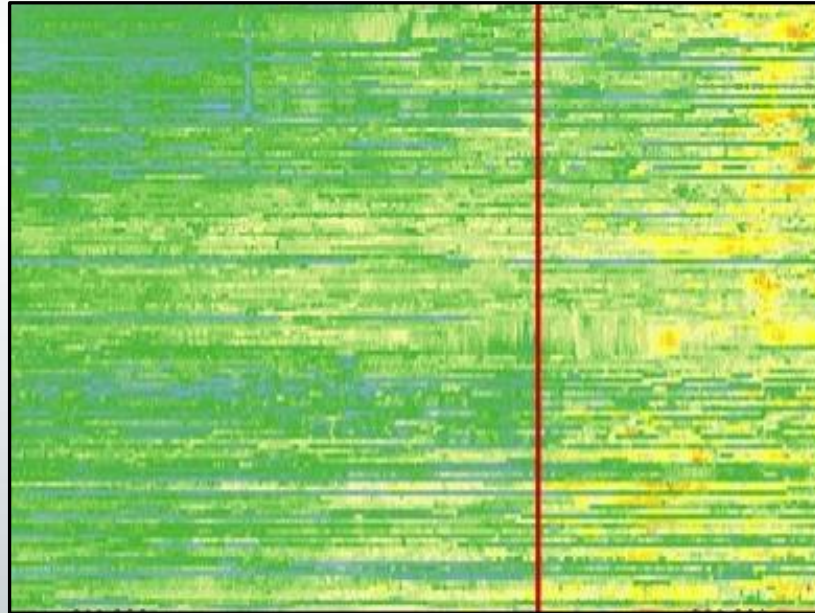
Análisis de la **calidad** del dato

- **Identificar zonas donde la calidad sísmica esta afectada negativamente por los métodos de adquisición o procesamiento, o por interferencia geológica**
 - **Gaps de adquisición, creación de bandas paralelas a las inlines**
 - **Múltiples, errores de migración, velocidades incorrectas**
 - **Balance de amplitudes y fase incorrectos**
 - **Atenuación de frecuencia**
 - **Geología superficial (gas somero, canales, rocas volcanicas), etc**

Análisis de la **calidad** del dato (detección de Artefactos)

- Bandas paralelas a la dirección de adquisición (inline) al fondo del agua (aprox. 40 ms)

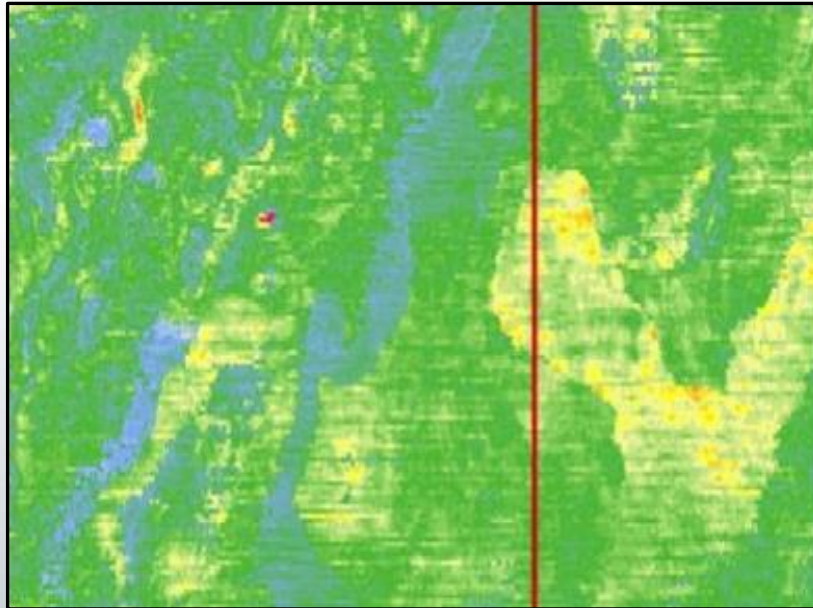
Dirección Inline
→



Análisis de la **calidad** del dato (detección de Artefactos)

- Bandas paralelas a la dirección de adquisición (inline) a 1000 ms

Dirección Inline



Mapeo de **Facies Sísmicas**

- Las Facies son paquetes de rocas que exhiben características similares (por ejemplo: litofacies, facies petrofísicas, facies deposicionales)
- Las facies sísmicas son paquetes de cuerpos sísmicamente definidos que exhiben similares características sísmicas (por ejemplo: geometría de los reflectores, amplitud, continuidad, frecuencia)
- Los ambientes de depositación pueden ser interpretados a partir de patrones de las facies sísmicas (similares atributos sísmicos)

Análisis **Cuantitativo** de Atributos Sísmicos

Requerimientos:

- **Amplitud controlada (preservada), Procesamiento controlado de la Fase**
- **Reconocimiento de la Calidad del dato**
- **Buenos ajustes Pozo-Sísmica**
- **Control de pozo suficiente (se necesita generalmente modelado sísmico adicional)**

Análisis **Cuantitativo** de Atributos Sísmicos

Requerimientos:

- **Amplitud controlada (preservada), Procesamiento controlado de la Fase**
- **Reconocimiento de la Calidad del dato**
- **Buenos ajustes Pozo-Sísmica**
- **Control de pozo suficiente (se necesita generalmente modelado sísmico adicional)**

Análisis **Cuantitativo** de Atributos Sísmicos

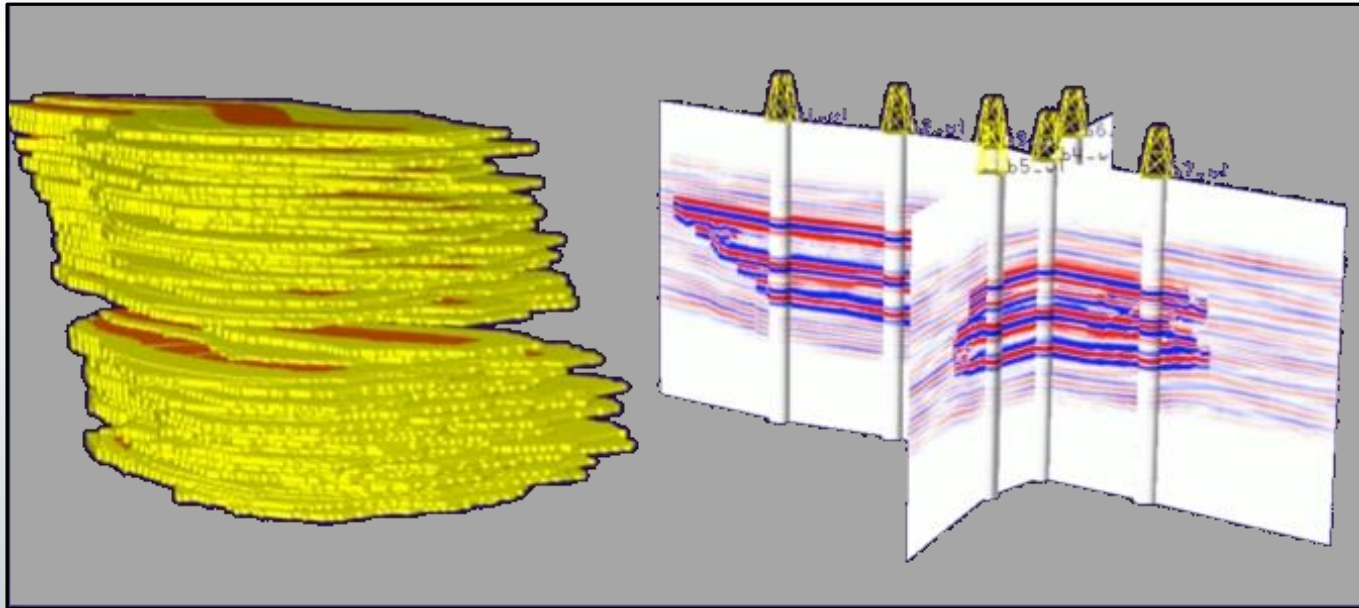
Objetivo:

- **Construir una correlación entre atributos sísmicos y el espesor de arenas para predecir areas de mayor productividad del reservorio**

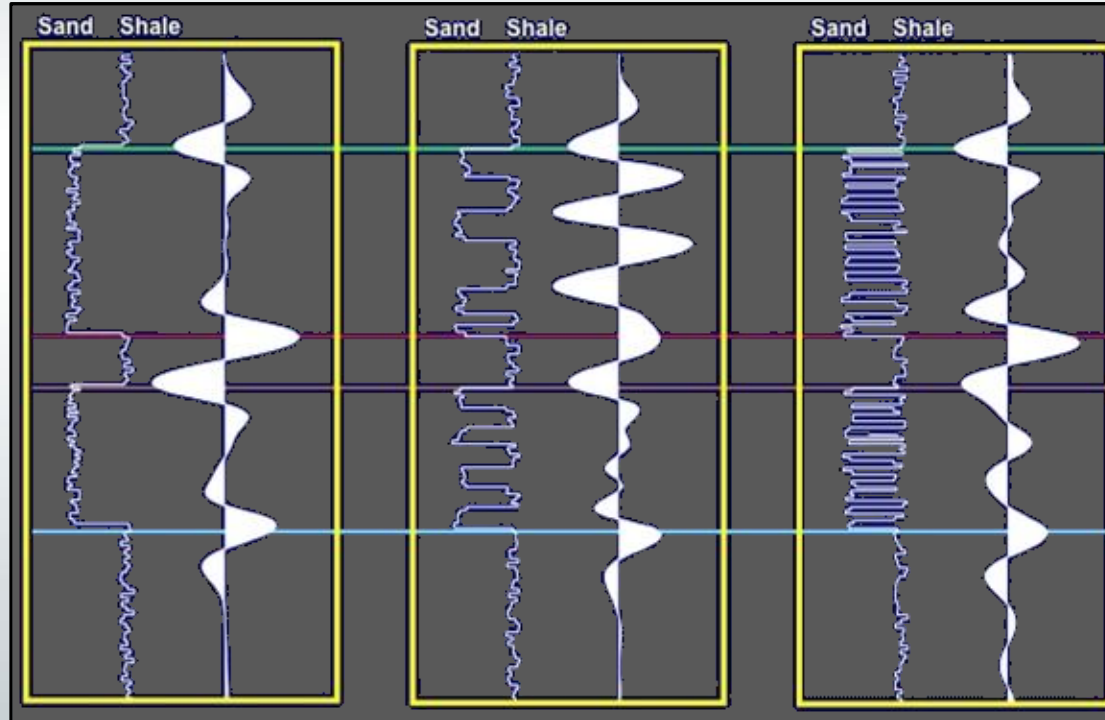
Herramientas:

- **Sísmica - Modelos de perfiles de pozo (por ejemplo de propiedades de roca)**

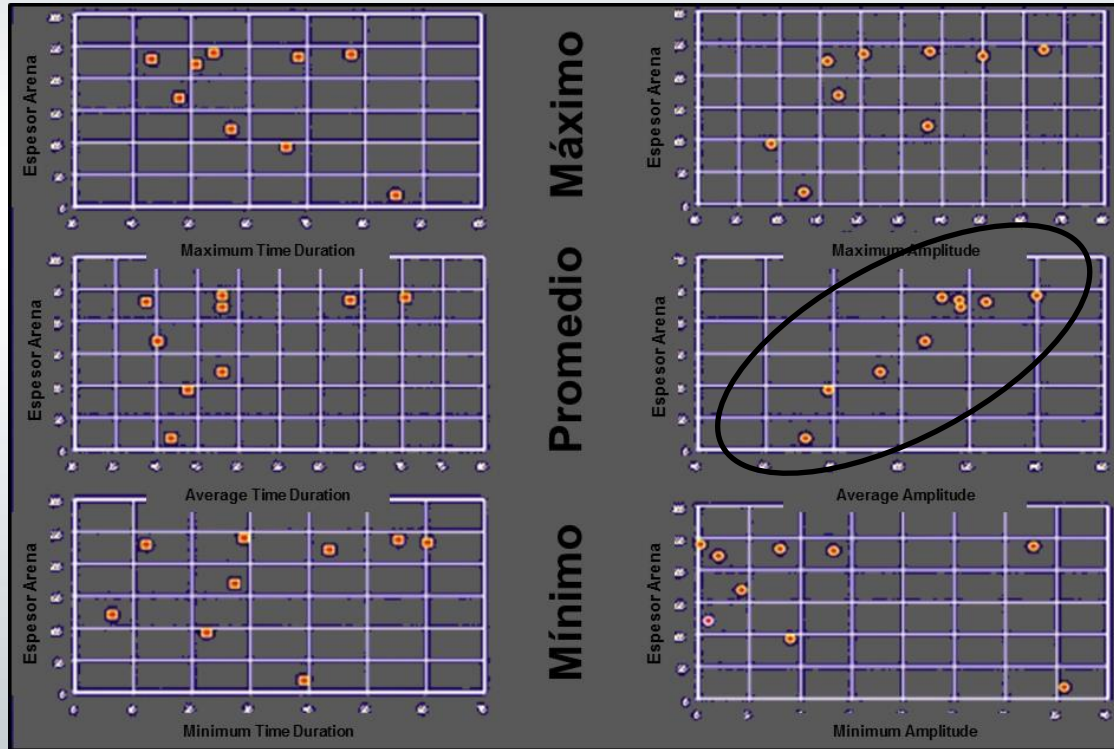
Modelo Geológico simplificado. Mantos de arena no confinados que comprenden dos reservorios multi-cíclicos separados por una arcilla marina. Backstepping



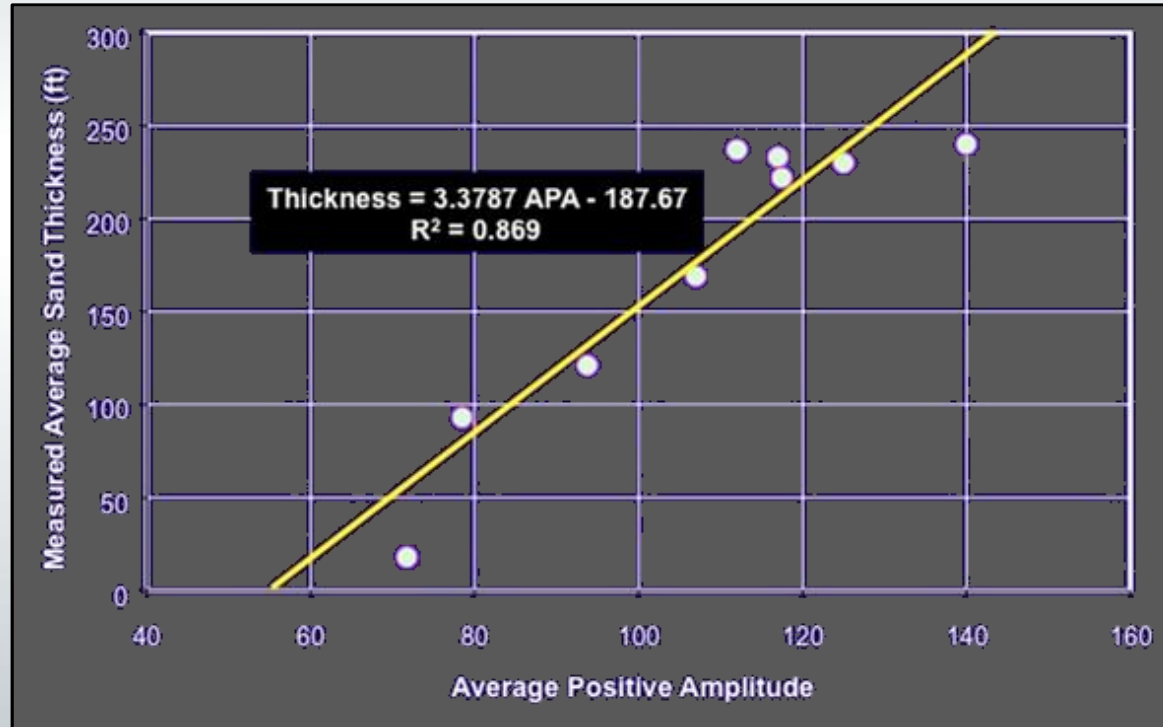
¿Qué atributo sísmico permite diferenciar el **espesor promedio** de arenas?



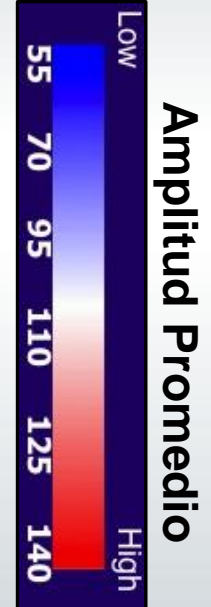
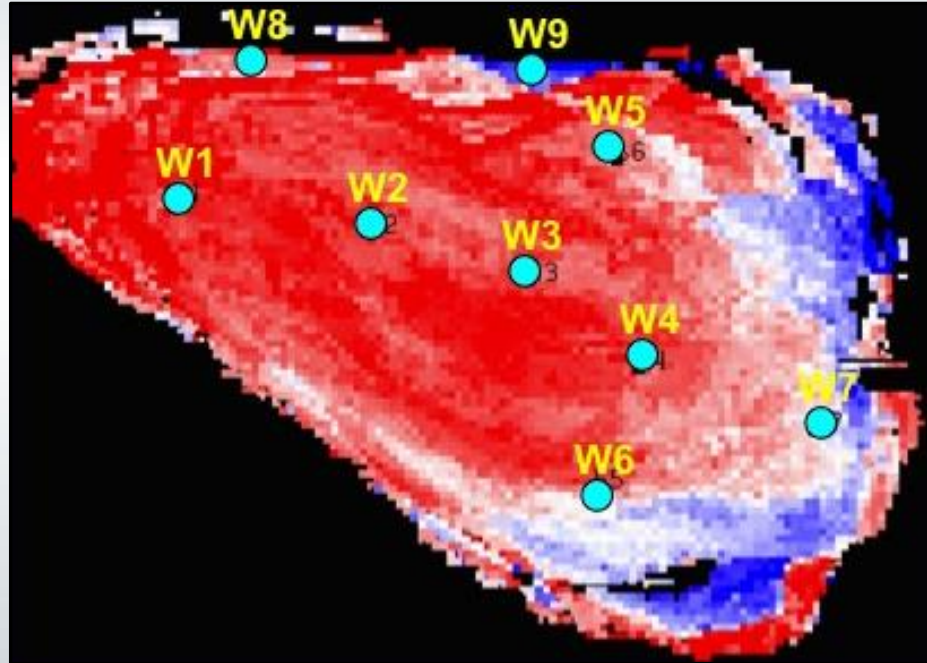
¿Qué atributo sísmico permite diferenciar el **espesor promedio** de arenas?



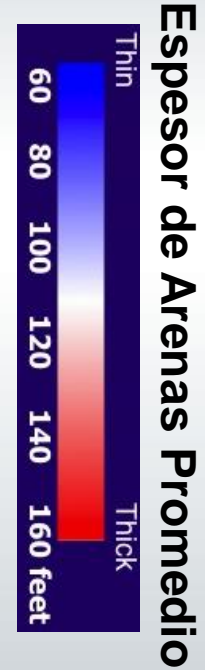
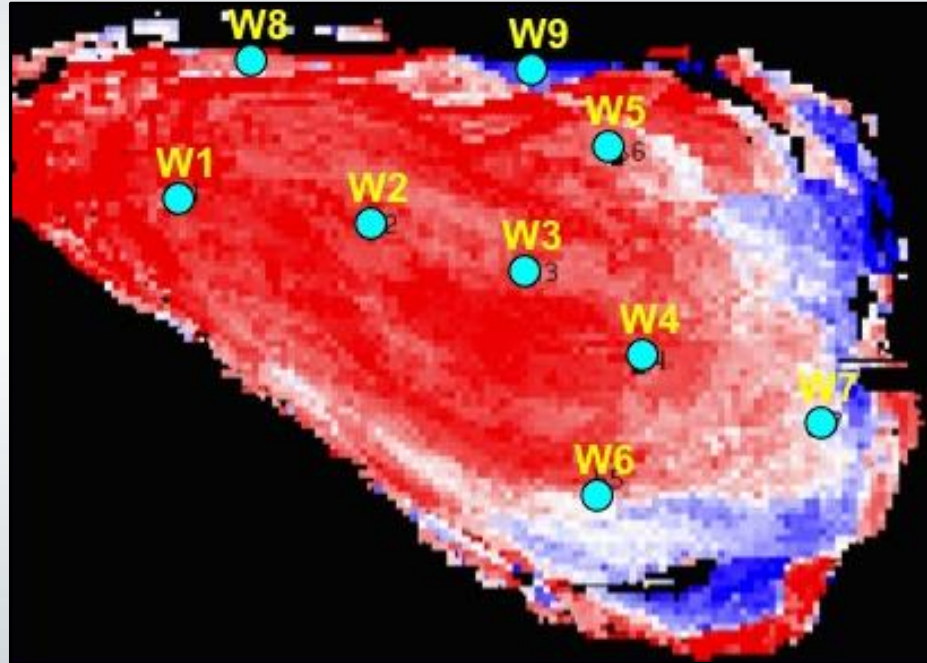
Calibración del Atributo Sísmico



Atributo Sísmico de **Entrada**

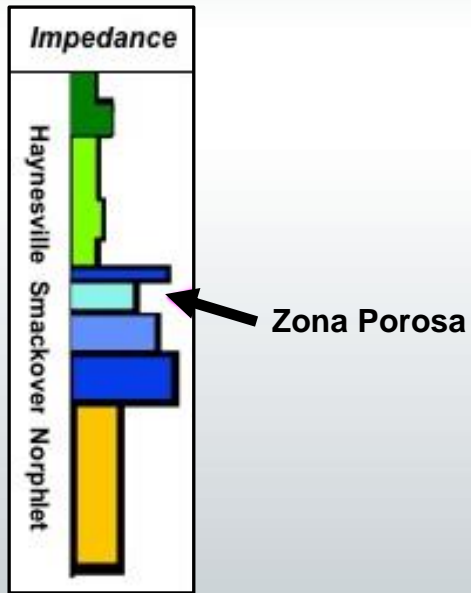


Atributo Sísmico de **Entrada**

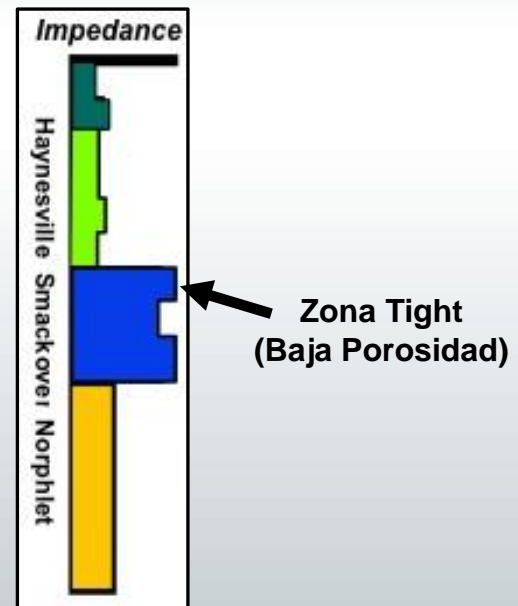


Análisis **Cuantitativo**: Un breve ejemplo

Porosidad en Smackover Superior

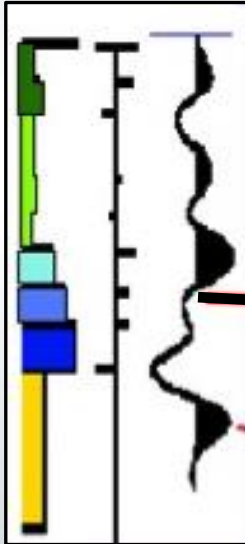


Sin Porosidad en Smackover Superior

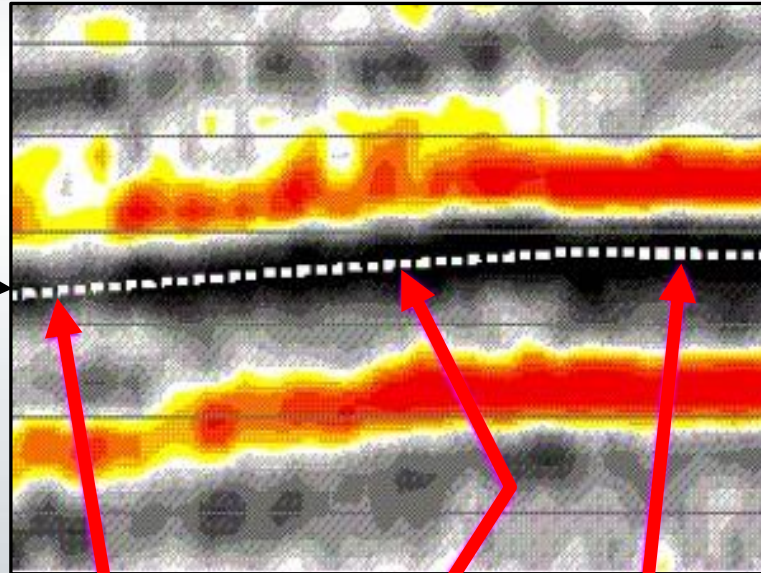


Un Cambio de Porosidad genera un Cambio de Respuesta Sísmica

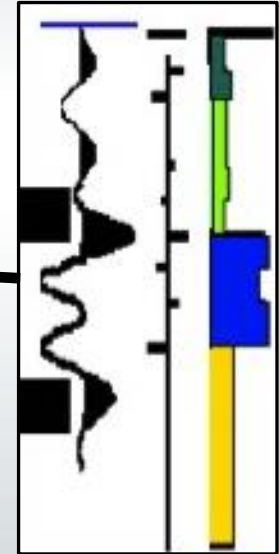
Porosidad
en Smackover Superior



Línea Sísmica Representativa



Sin Porosidad
en Smackover Superior

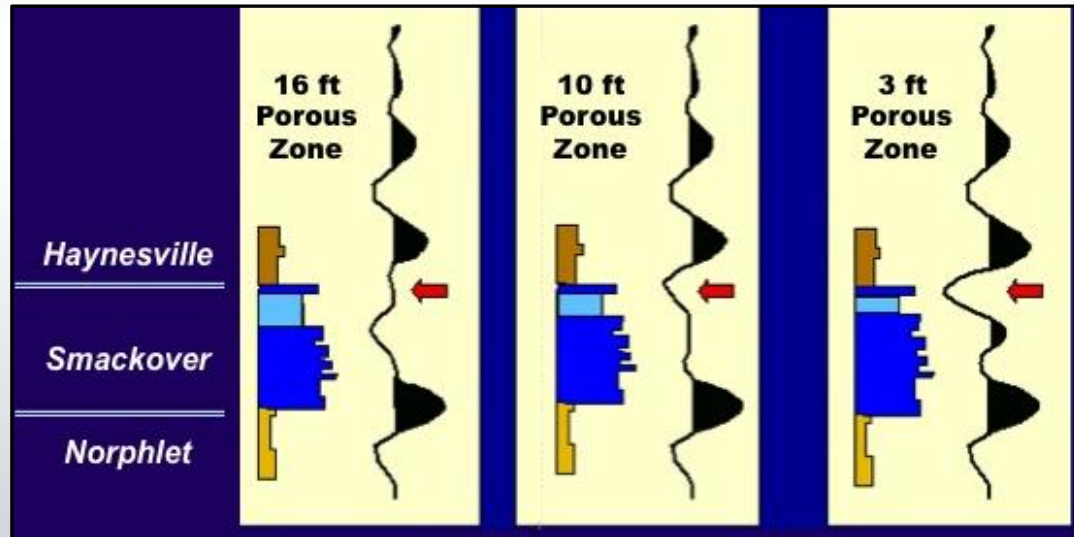


El valle es de baja amplitud y la duración del loop es larga

Horizonte mapeado

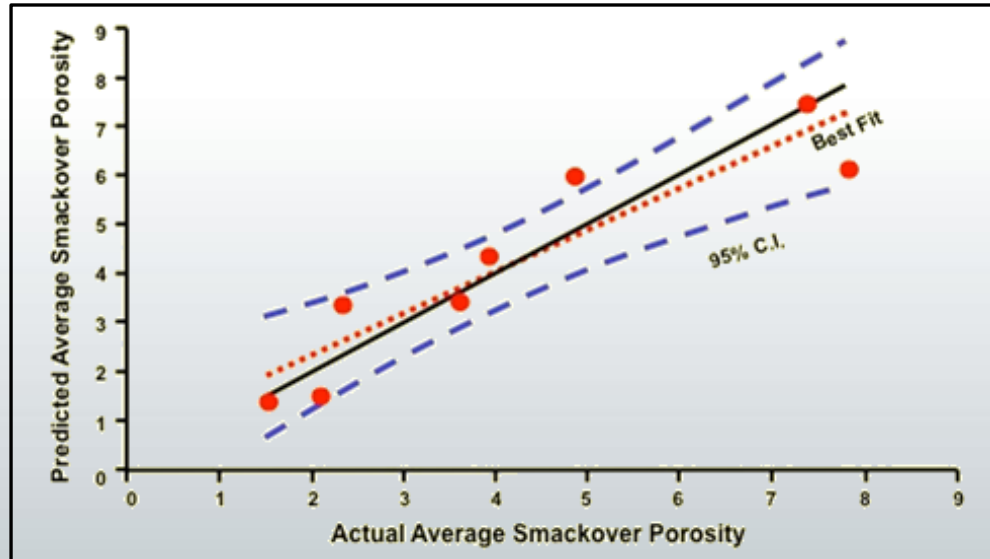
El valle es de alta amplitud y la duración del loop es corta

Cambiando la porosidad en el miembro superior del Smackover en **modelos 1-D** confirmamos que hay una **signatura sísmica** relacionada a la porosidad

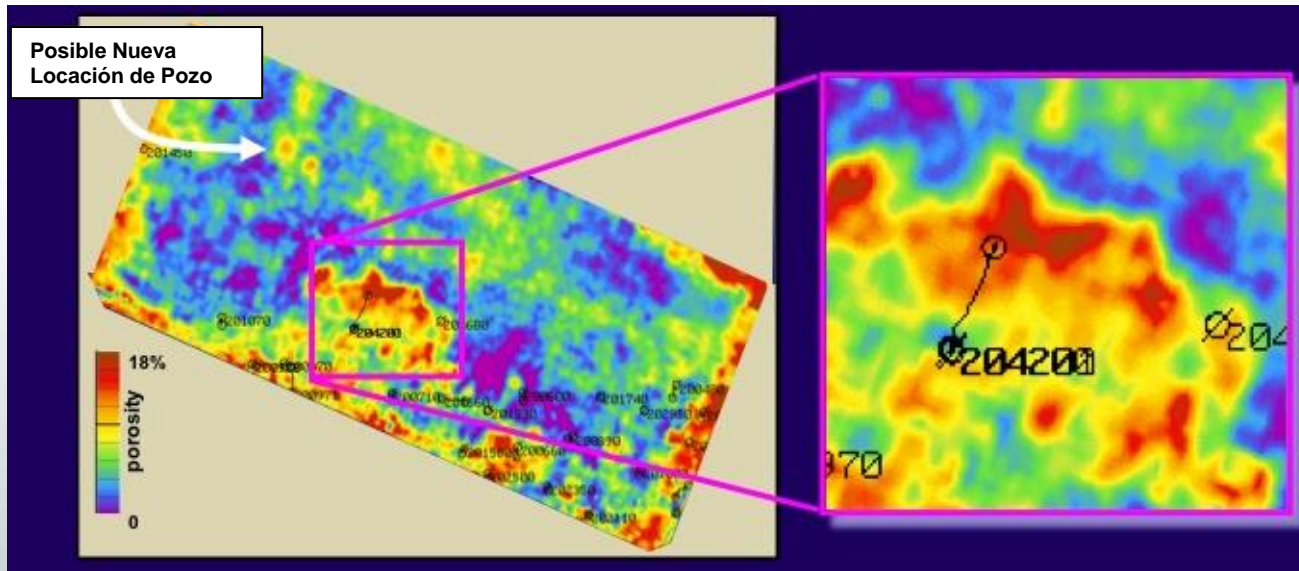


Porosidad para la unidad Smackover

- Predicha en base a 4 atributos
- Calibración basada en **8 pozos**



Aplicando la “ecuación” derivada de los atributos al survey sísmico 3D se obtiene un **Mapa de Porosidad Predictivo** para el miembro Smackover



Los posibles inconvenientes y sus *Soluciones*

Control de pozo inadecuado

- Los pozos no representan toda la variabilidad dentro del reservorio
- *Usar modelado Sísmico para llenar las lagunas*

Atributos redundantes

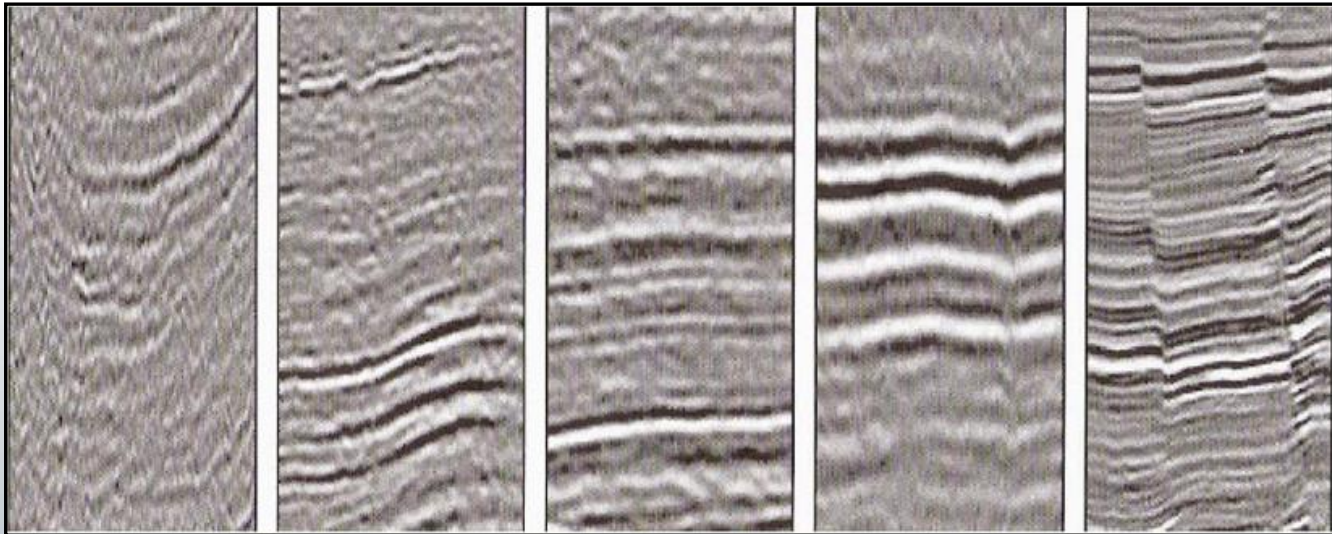
- Diferentes atributos tienen una alta correlación unos con otros
- *No usar los atributos redundante; quedarse con aquel que mejor se correlaciona con la propiedad de la roca que se esta estudiando*

Correlación Lineal

- Las correlaciones no lineales pueden ser mas representativas
- *Probar esquemas de correlación no lineal pero ser conscientes de los problemas de extrapolación*

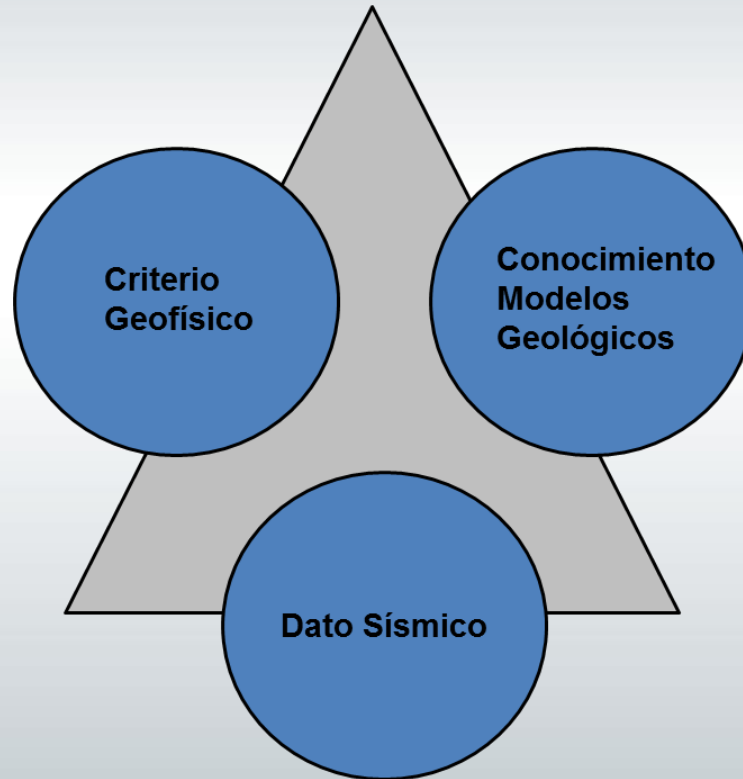
- Los atributos sísmicos describen la **forma** y otras **características** de la traza sísmica en intervalos específicos o en tiempos específicos
- Los atributos sísmicos son importantes porque permiten a los interpretes **extraer más información** del dato sísmico
- Los atributos sísmicos pueden ser derivados de **una sola traza** o por comparación de **múltiples trazas**
- Tres tipos comunes de atributos de una sola traza son los basados en **horizontes, intervalos y muestras**.
- Los atributos sísmicos son usados para el **análisis cualitativo** (calidad del dato, mapeo de facies sísmicas) y **cuantitativo** (espesor neto de arenas, predicción de la porosidad, etc.)

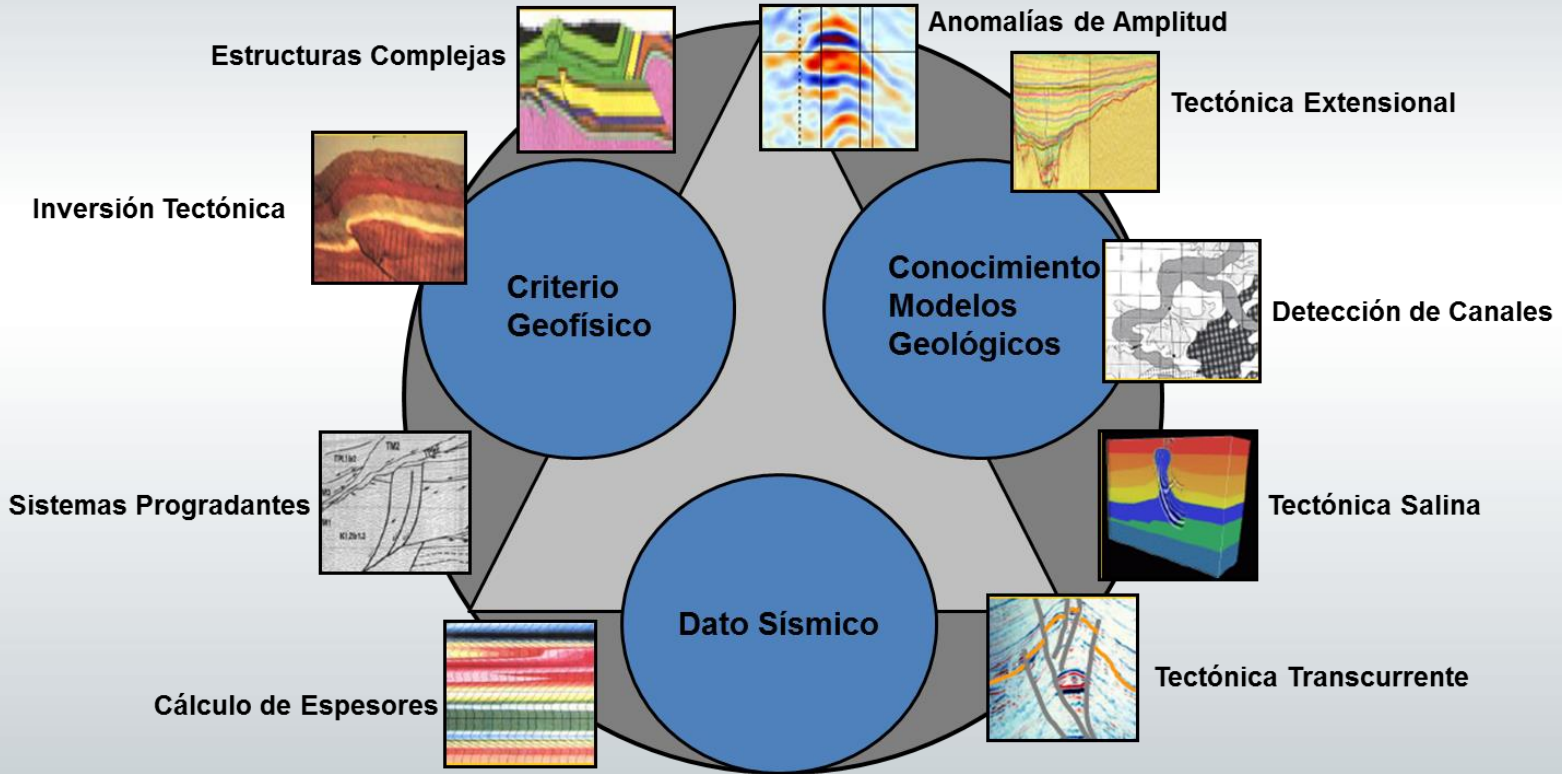
El principal objetivo de la interpretación sísmica es el de mapear estructuras, estratigrafía y propiedades de roca/fluidos. En ese orden, la calidad del dato sísmico a utilizarse debe mejorar. Énfasis en adquisición y procesamiento de acuerdo al trabajo que se quiere realizar.



Tratar de explicar, en términos geológicos, los contrastes elásticos encontrados en el terreno

Obtención de un **Modelo Geológico, simple y verosímil, compatible con el dato sísmico observado**





Estructural

- Extensional
- Inversión
- Transcurrente
- Estructuras Complejas
- Fallas de Crecimiento
- Tectónica Salina/Arcilla

Estratigráfico

- Progradaciones
- Canales Fluviales

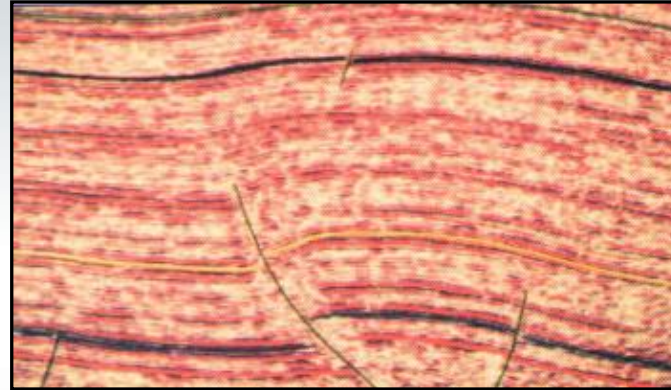
Fluidos/Litología

- Anomalías de Amplitud
- Calculo de espesores
- Caracterización de Facies

Inversión Tectónica

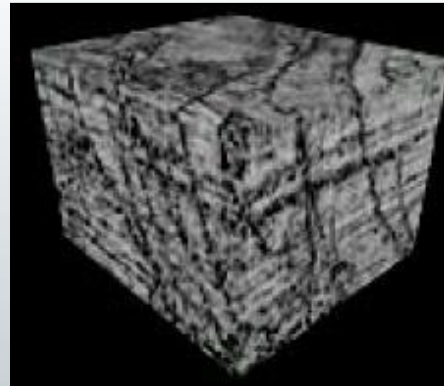
Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Geológico



Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Relación S/R (Deconvolución, Migración)



Técnica de Interpretación
“Cubo de Coherencia”

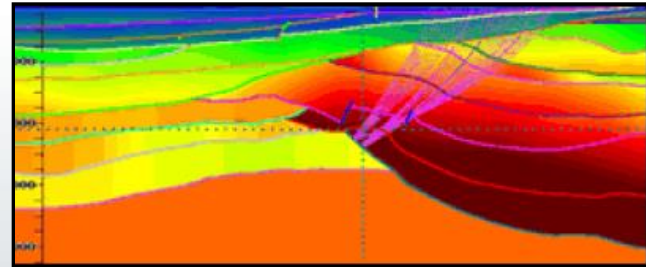
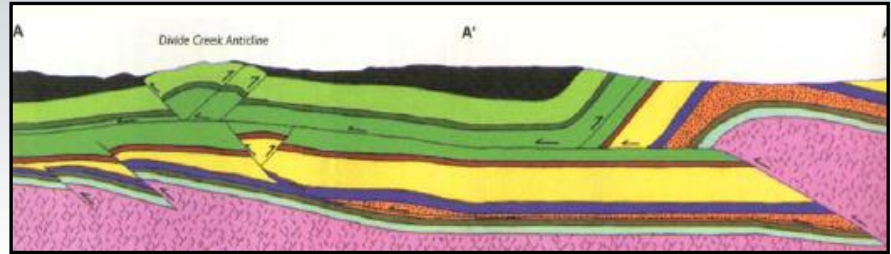
Estructuras Complejas (FPC)

Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Imagen Satelital / Geología de Superficie
- Modelo Geológico

Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Relación S/R (Deconvolución, Migración)



Técnica de Interpretación
“Migración PreStack en Profundidad”
(PSDM)

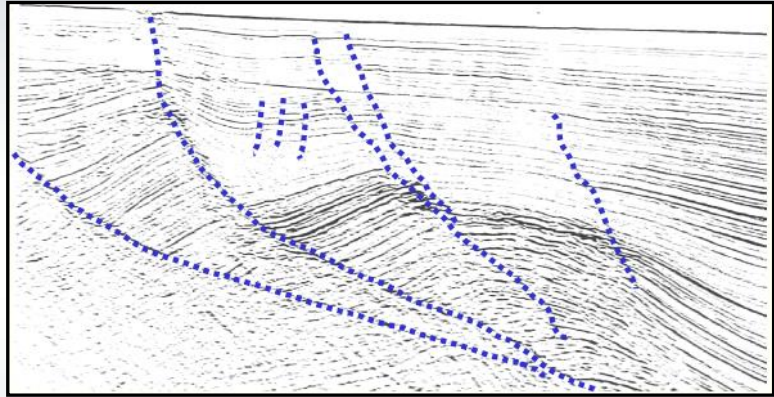
Fallas de Crecimiento

Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Geológico

Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Relación S/R (Deconvolución, Migración)



Técnica de Interpretación
“Correlación de Atributos”

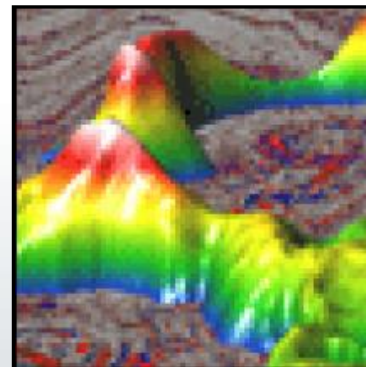
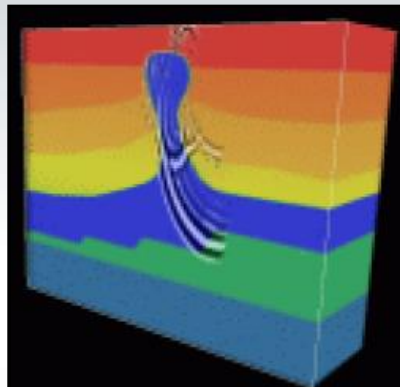
Tectónica Salina/Arcilla

Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación / VSP
- Modelo Geológico / Velocidades

Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Relación S/R (Deconvolución, Migración)



Técnica de Interpretación
“Mapeo Aeromagnético”

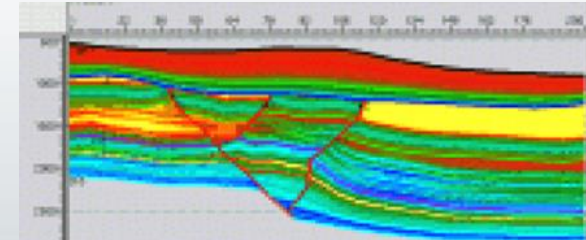
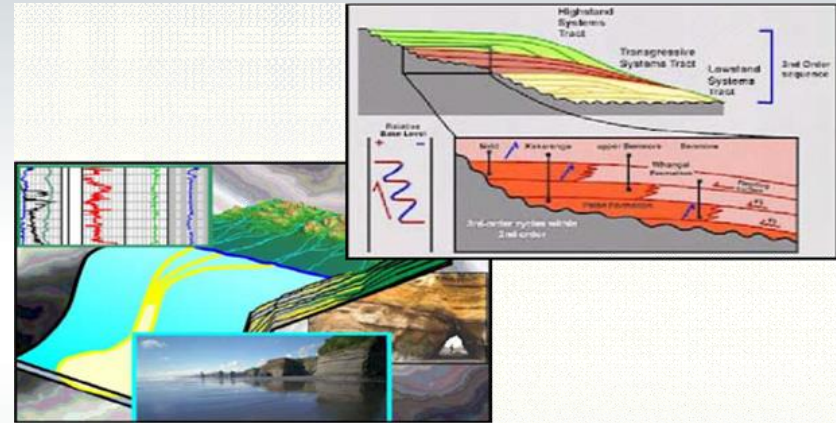
Progradaciones

Datos de Entrada

Dato Sísmico
 Pozos de Correlación
 Modelo Geológico

Consideraciones Parámetros

Adquisición
 Procesamiento
 Resolución Horizontal
 Ancho de Banda y Relación S/R

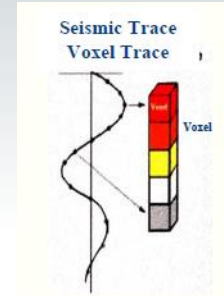
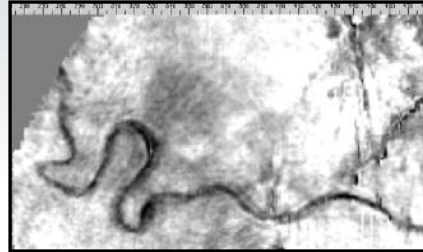


Técnica de Interpretación
“Inversión de Traza”

Canales Fluviales

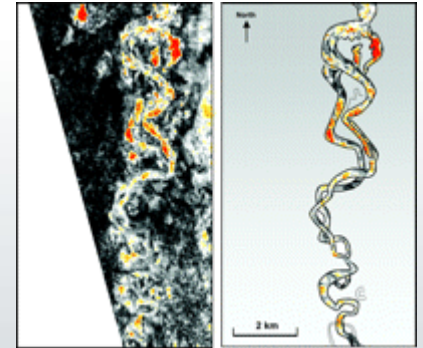
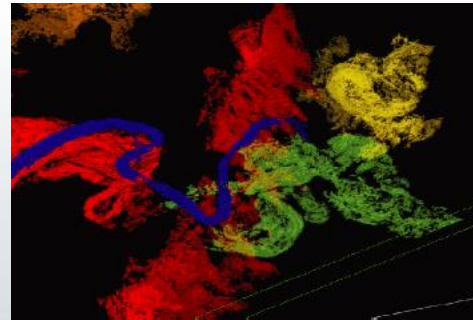
Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Geológico



Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Ancho de Banda y Relación S/R



Técnica de Interpretación
“Geomorfología Sísmica”

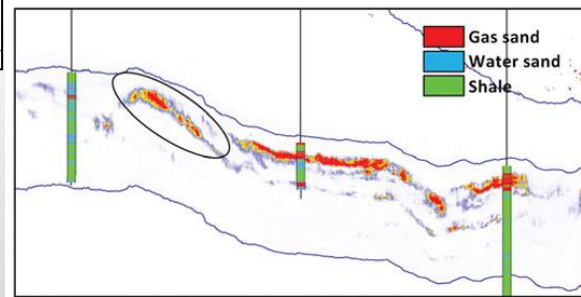
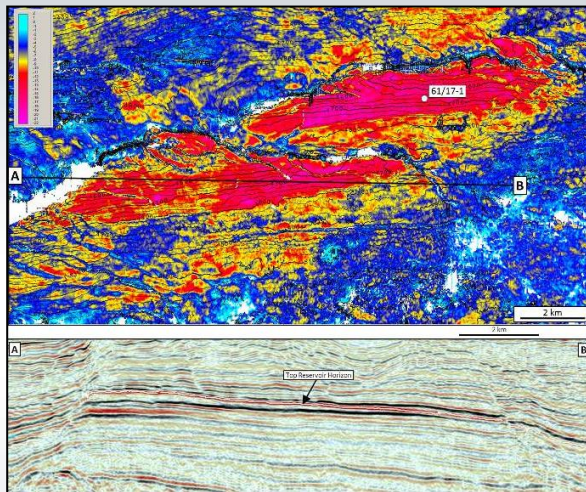
Fluidos/Litología

Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Sísmico / Velocidades

Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Resolución Horizontal
- Ancho de Banda y Relación S/R

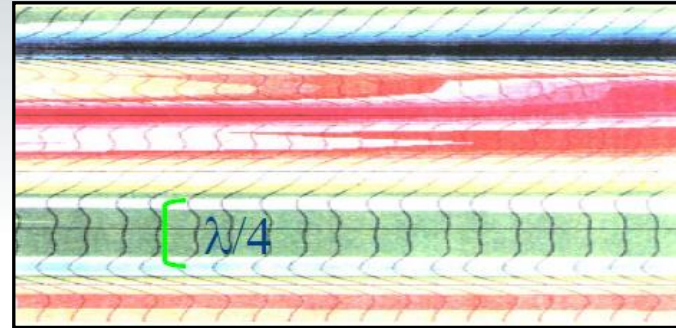


Técnica de Interpretación
“AVO Inversion, Elastic Inversion”

Calculo de Espesores

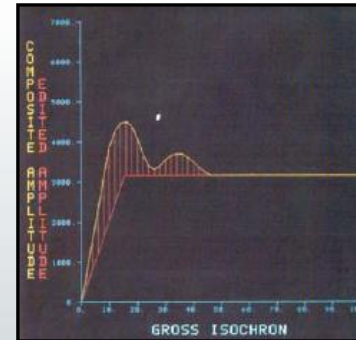
Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Velocidades



Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Contenido de Frecuencias
- Ancho de Banda y Relación S/R



Técnica de Interpretación
“Curva de Tuning”

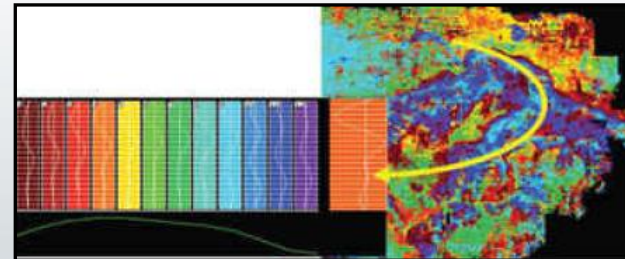
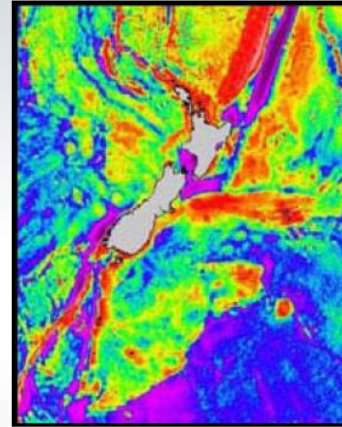
Caracterización Litológica

Datos de Entrada

- Dato Sísmico
- Pozos de Correlación
- Modelo Velocidades

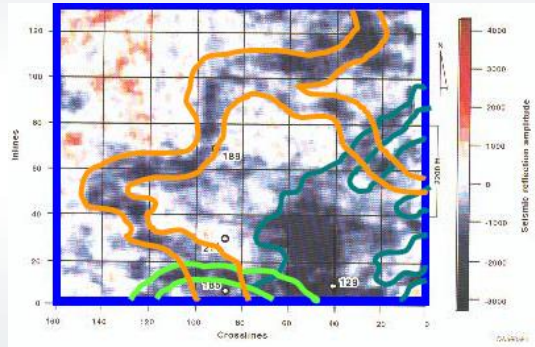
Consideraciones Parámetros

- Adquisición
- Procesamiento
- Contenido de Frecuencias
- Ancho de Banda y Relación S/R

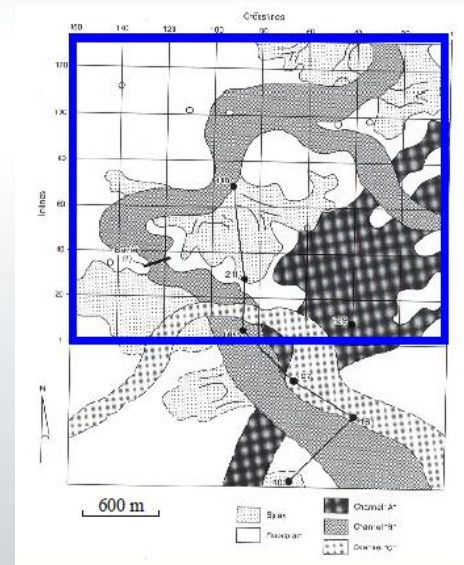


Técnica de Interpretación
“Clasificación de Sismofacies”

El proceso de interpretación no es único.
Implica una serie de elecciones arbitrarias

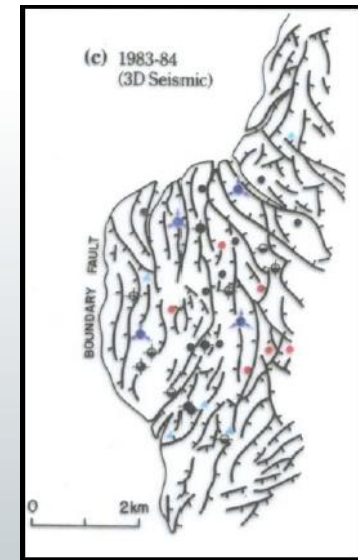
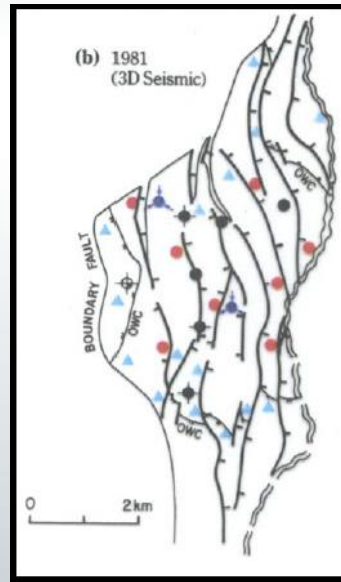
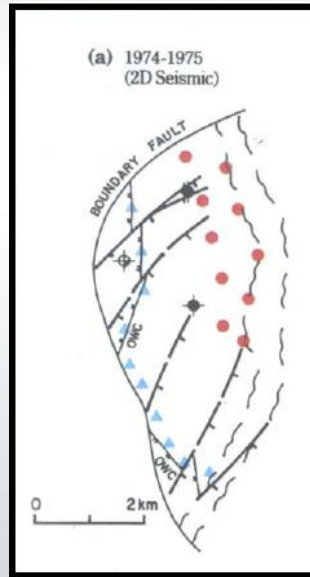


Interpretación Sísmica



Modelo Geológico Derivado

**El proceso de interpretación no es completo.
Evoluciona en función de la cantidad y calidad del dato disponible**



El proceso de interpretación consiste en extraer del dato sísmico el **máximo de información geológica**

- ✓ **Análisis de Cuenca**
- ✓ **Sedimentología**
- ✓ **Estratigrafía**
- ✓ **Análisis Estructural**
- ✓ **Interpretación del Reservorio**

Un proceso de Interpretación exitoso comienza mucho antes de que los datos sean volcados en papel o cargados en las estaciones de trabajo.

El siguiente es un listado no exhaustivo de todo lo que deberíamos haber reunido para encarar seriamente un trabajo de interpretación sísmica:

- Información sobre la **Estructura**
- Información sobre **Litologías**
- Información sobre la **Estratigrafía**
- **Pozos** de control
- Información sobre **Velocidades Sísmicas**
- Información de **Producción** de pozos y yacimientos
- **Antecedentes** petroleros
- **Otros** datos

Estructura

- ✓ Comprender el marco tectónico regional del área. Buscar análogos estructurales en otras cuencas (Atlas Bally de Estilos Estructurales - AAPG)
- ✓ Conocer el estilo estructural. ¿Estamos esperando fallas normales, inversas, tectónica salina? Si se esperan estructuras complejas, la migración elegida durante el procesamiento de los datos sísmicos fue la adecuada?
- ✓ Cuales son los máximos buzamientos esperados? Se tuvieron en cuenta durante la factibilidad de los parámetros de adquisición?
- ✓ Complejidad del fallamiento. Un fallamiento intensivo complica la obtención de buenos resultados en un estudio estratigráfico

Litología

- ✓ ¿Se trata de un ambiente Clástico, Carbonatico o Mixto? ¿Que espesores mínimos podrían ser detectados?
- ✓ ¿Hay fuertes contrastes litológicos? ¿Es esperable tener paquetes con alta reflectividad o no?.
- ✓ Investigar la presencia de sal, anhidrita, calizas, dolomitas o basaltos en las porciones superficiales que puedan absorber gran parte de la energía o generar reflexiones múltiples que pueden complicar o atenuar la información sísmica más profunda. ¿Se tuvo en cuenta esto en el procesamiento?.
- ✓ En el caso de sísmica marina: ¿como es el fondo del mar? ¿Duro o Blando? Un fondo duro es un reflector de la energía muy eficiente, devolviéndola a la columna de agua. En estos casos se generan rubricas del fondo marino a distintos intervalos de tiempo en la sección, conocidas como **múltiples**.
- ✓ En los registros sísmicos terrestres es muy importante conocer la litología de los primeros metros del subsuelo, conocida como **zona meteorizada o weathering**, de muy baja velocidad sísmica.

Estratigrafía

- ✓ Entender la estratigrafía regional del área en estudio. Buscar análogos en otras cuencas (Atlas Bally de Sismoestratigrafía - AAPG)
- ✓ Es importante conocer y entender las edades y ambientes deposicionales de los principales topes formacionales y límites de secuencia.
- ✓ Conocer la relación entre tiempo y espacio y entre estructura y estratigrafía en el área.
- ✓ Tener en cuenta rasgos estratigráficos sutiles que pueden ser de interés: pequeños reefs, canales meandriformes, etc.

Pozos de Control

- ✓ ¿Cuántos pozos hay en el área? Tenemos disponible la información de cada uno de ellos?
- ✓ Conocer el concepto exploratorio con el que se perforaron esos pozos y su evolución
- ✓ Cronología de perforación en el área
- ✓ Análisis de perfiles de pozo, VSP, ensayos, problemas de perforación y/o producción, etc
- ✓ La base de datos corporativa de información de pozos de YPF se llama **logDB**

Velocidades Sísmicas

- ✓ ¿Tenemos perfiles sísmicos, checkshots o VSP como fuente de información de las velocidades del subsuelo del área de estudio?
- ✓ ¿Existen otras fuentes de control de velocidades en el área, como velocidades de procesamiento de datos sísmicos previos?
- ✓ El tipo de migración utilizada en los datos, ¿es apropiada para la variación de velocidades existente en la zona?
- ✓ ¿Hay pozos con sísmicos dipolares que miden las velocidades de las ondas P (DTCO) y ondas S (DTS) en función de la profundidad?

Datos de Producción

- ✓ Datos de ensayos, producción por pozo, producción del yacimiento (diaria, mensual, anual, acumulada), tipo de fluidos producidos (Gas, Petróleo, Gas y Condensado, Agua, CO₂)
- ✓ Base de datos Corporativa (TOW)

Datos de Producción

- ✓ Datos de ensayos, producción por pozo, producción del yacimiento (diaria, mensual, anual, acumulada), tipo de fluidos producidos (**Gas**, **Petróleo**, Gas y Condensado, **Agua**, CO₂)
- ✓ Base de datos Corporativa (TOW)

Antecedentes

- ✓ Recopilar y consultar todos los antecedentes geológicos y geofísicos disponibles del área. Consultar análogos. Leer artículos e informes relacionados (misma zona, zonas cercanas, análogos de la misma u otra cuenca).

Otros datos

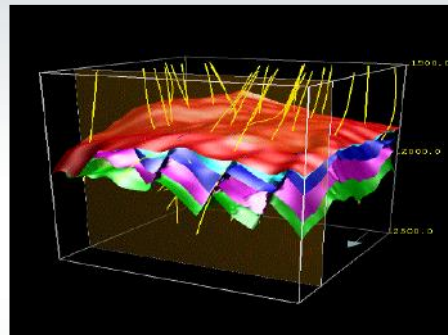
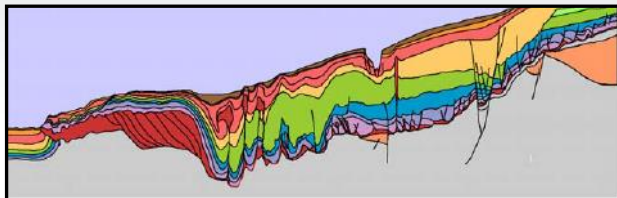
- ✓ Mapas Gravimétricos (rasgos de basamento)
- ✓ Mapas Magnetométricos (rasgos de basamento, salinos)
- ✓ Sísmica Previa (2D y 3D). Comparar los parámetros de adquisición de las diversas sísmicas que pueda haber en un área.
- ✓ Datos de geología de superficie (Mapas Geológicos, Imágenes Satelitales, Fotografías aéreas, etc.) como indicadores de potenciales estructuras de subsuelo.

Antes de comenzar a interpretar, leer o tener a mano:

- ✓ Informe de Adquisición de los datos Sísmicos (para entender limitaciones y potenciales problemas en el dato sísmico)
- ✓ Informe de Procesamiento (para entender limitaciones y potenciales problemas en la imagen sísmica)

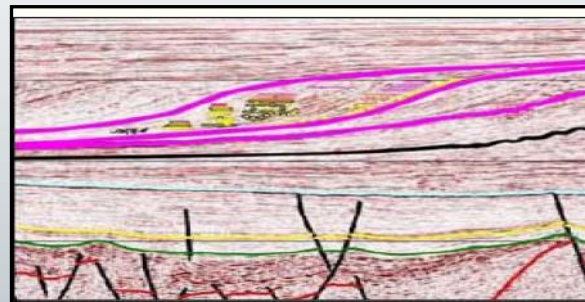
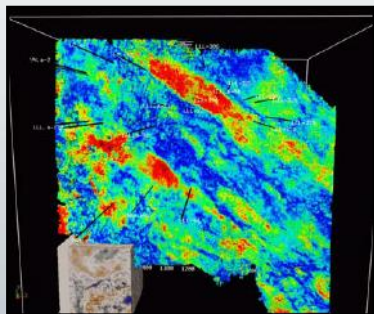
Interpretación Estructural : Análisis de la disposición y geometría de las reflexiones

“MARCO”



Interpretación Estratigráfica: Análisis de las formas y contenido espectral de las reflexiones

“CONTENIDO”



Secuencia de Trabajo

DATOS



ANÁLISIS



DECISIONES

- ✓ Sísmica 2D/3D
- ✓ Perfiles de Pozo
- ✓ Coronas
- ✓ Ensayos
- ✓ Propiedades Físicas
- ✓ Imágenes
- ✓ Afloramientos

- ✓ Estructural
- ✓ Estratigráfico
- ✓ Propiedades Fluidos/Litologías

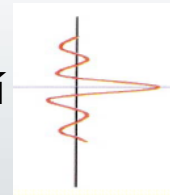
- ✓ Volumen de Reservas
- ✓ Ubicación de Pozos
- ✓ Estrategias de Estudio

Polaridad del Dato Sísmico:

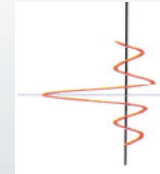
Los coeficientes de reflexión pueden ser positivos o negativos de acuerdo a la ecuación:

$$\pm C_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i}$$

Un contraste de impedancias positivo (+) se representa así



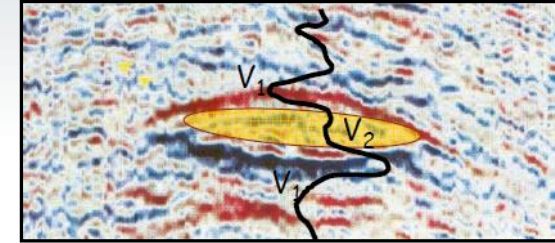
? O así



?

Polaridad Americana

- ✓ Un incremento en la impedancia genera un valor de amplitud positivo (pico) que se representa normalmente en azul en intensidad variable o en negro en área variable.
- ✓ Una disminución en la impedancia genera un valor de amplitud negativo (valle) que se representa normalmente en rojo en intensidad variable o en blanco en área variable.

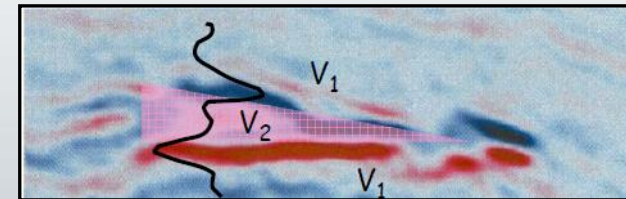


$$V_2 < V_1$$

$$\pm C_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{V_{i+1} + V_i}$$

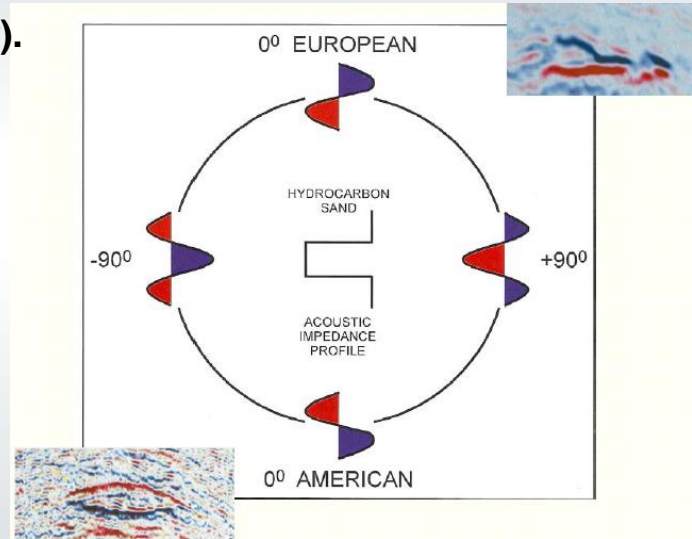
Polaridad Europea / Australiana

- ✓ Un incremento en la impedancia genera un valor de amplitud negativo (valle) que se representa normalmente en rojo en intensidad variable
- ✓ Una disminución en la impedancia genera un valor de amplitud positivo (pico) que se representa normalmente en azul en intensidad variable.

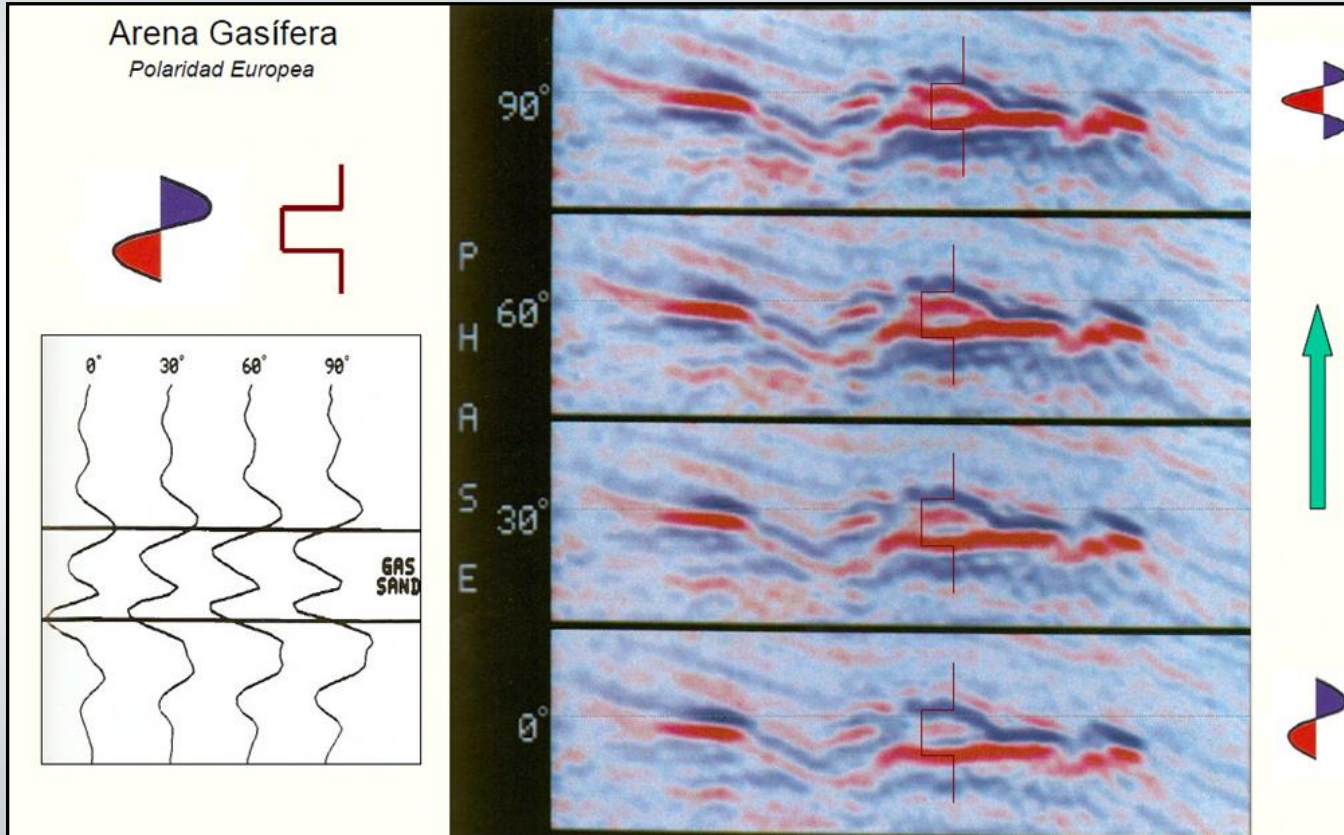


$$V_2 < V_1$$

Estas convenciones están definidas para **Fase Cero**. Eso se intenta en el procesamiento, lograr un dato fase cero. Pero no siempre es fácil de lograr. Las rotaciones de fase complican mucho la interpretación (en especial la de 90°).

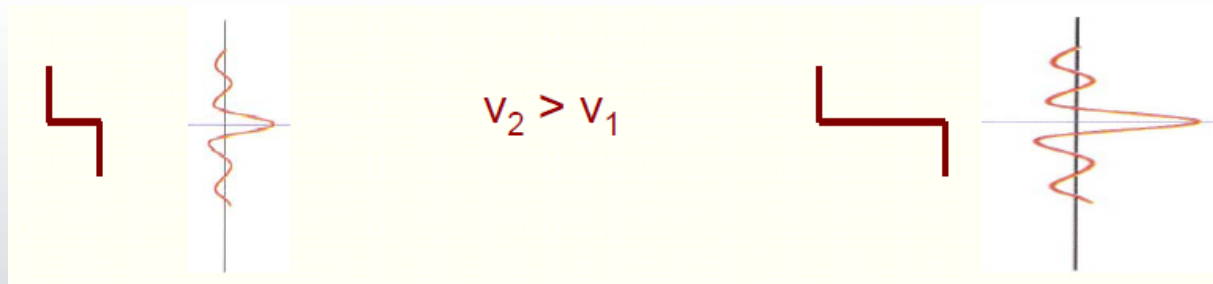


Lo ideal, una vez que tenemos el dato sísmico procesado, es utilizar todos los pozos del área y ajustarlos con la sísmica. De la correlación del sismograma sintético con la sísmica real, los programas sugieren una rotación de fase para obtener el mejor ajuste. Si esa rotación de fase sugerida es consistente en todo el dato sísmico, puede aplicarse una **corrección de fase** para lograr un dato fase cero.



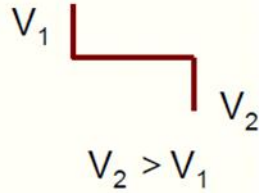
La clave para una correcta determinación de la fase y la polaridad del dato interpretado, se basa en la identificación de reflexiones de “alta amplitud” y en relacionarlas con la configuración geológica que le dio origen.

Los eventos de reflexión son generados por contrastes de impedancias acústicas. Cuanto mayor es el contraste, mayor será la amplitud de la reflexión.

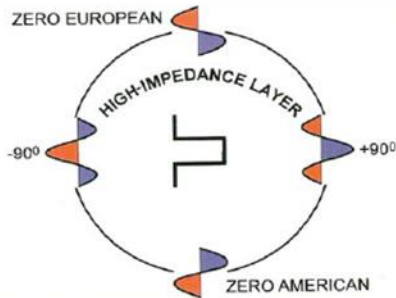
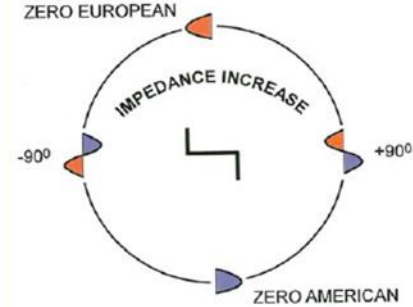


Es importante entender si la reflexión considerada proviene de una **interfaz simple** o de la respuesta del tope y de la base de un **intervalo o capa**.

Interfaz de Impedancia

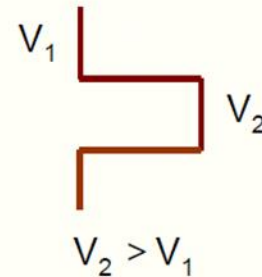


- Contacto de Fluidos
- Techo de secuencia carbonatica masiva
- Tope de basamento
- Base de cuerpo de agua (mar, lago)
- Tope de evento salino (domo)



Capa de Alta Impedancia

- Intrusivo ígneo
- Evento carbonatico de poco espesor

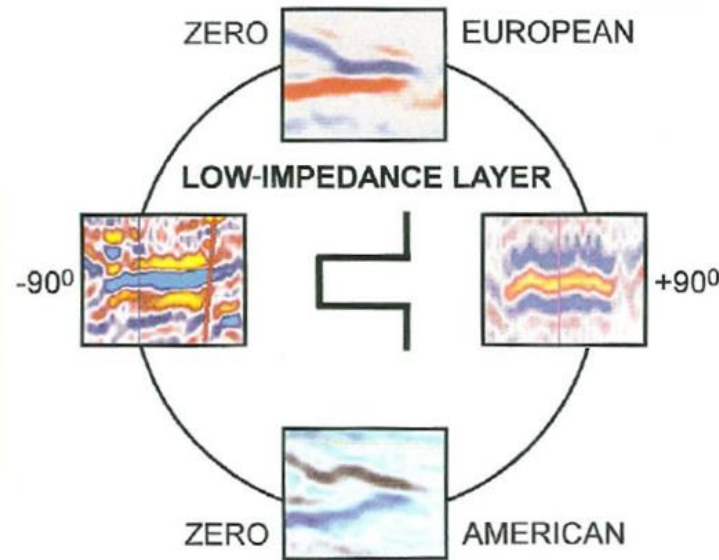
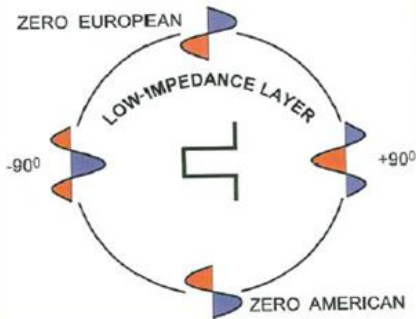


Capa de Baja Impedancia

Arena con HC

Arena con gas somera

Arena limpia con alta porosidad

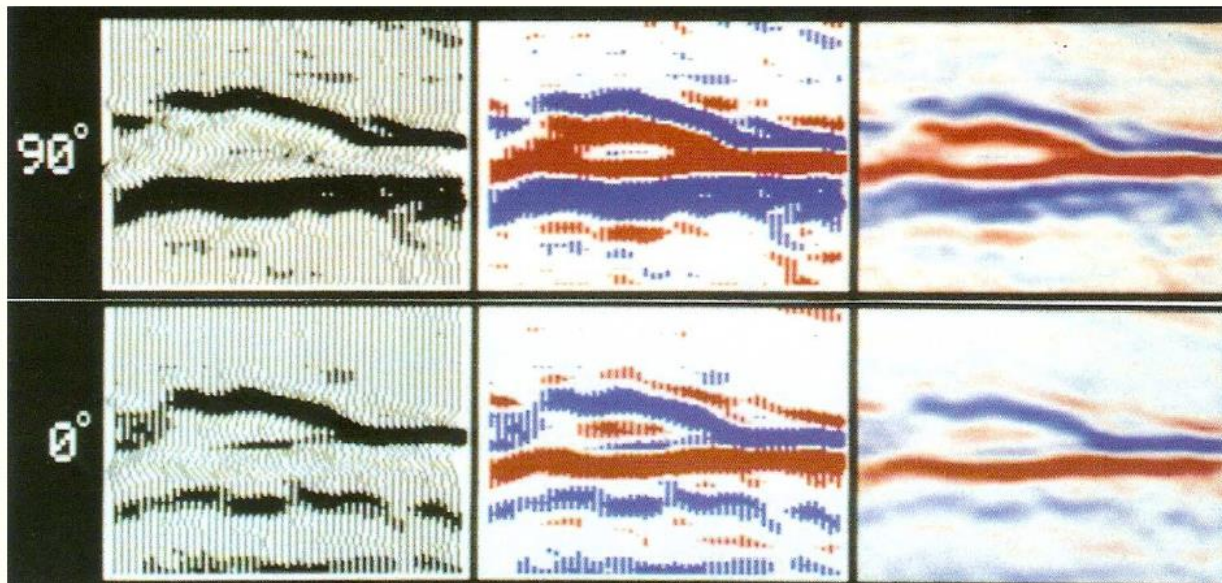


La habilidad del intérprete por reconocer fase y polaridad depende críticamente del display utilizado

Wiggle Area Variable

Polaridad Dual Area Variable

Escala Gradacional



Desbalance visual entre la representación de picos y valles hace casi imposible la correcta definición de las amplitudes relativas

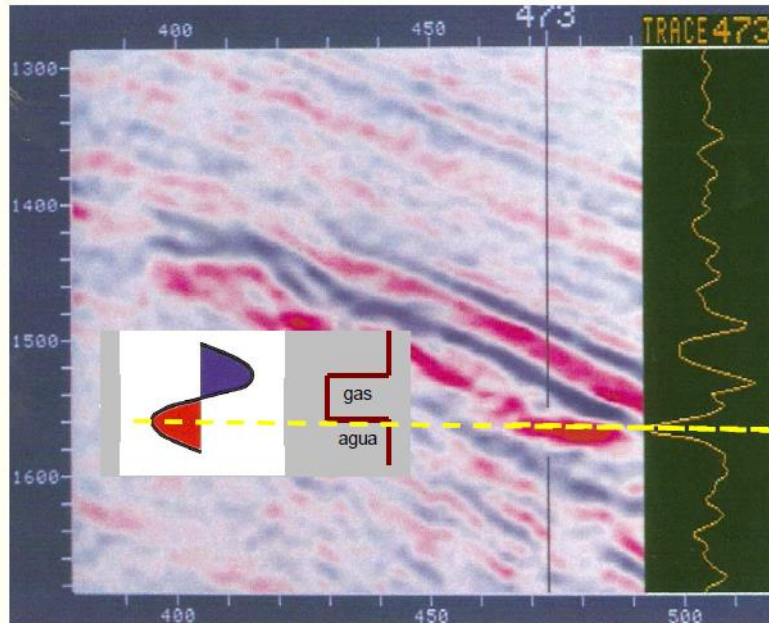
Corrige en parte el desbalance visual pero pone en evidencia el rango dinámico limitado de esta escala

Buen balance visual y buen rango dinámico

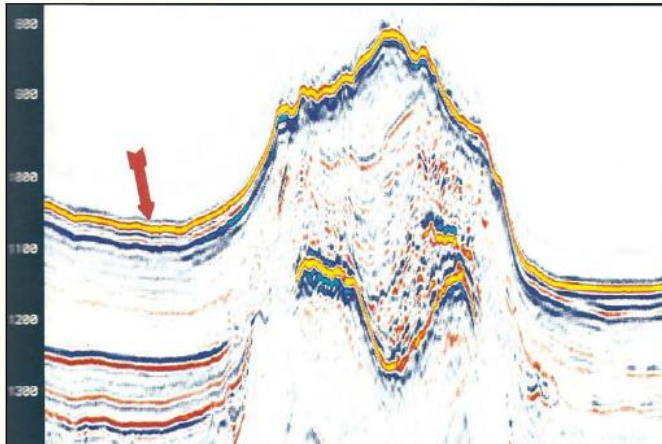
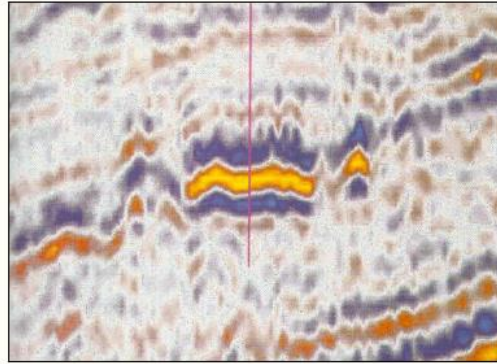
Cualquier reflexión de alta amplitud que pueda tomarse como originada por una “interface simple” se puede utilizar para establecer la distorsión de fase en un display en colores. La reflexión de un contacto de fluidos, o **Flat Spot**, es normalmente un excelente candidato para la estimación de la fase. Si tenemos una suave pendiente y el reservorio es suficientemente espeso, el Flat Spot será muy bien resuelto y se verá como estructuralmente discordante.

El Flat Spot de la fig muestra claramente un valle rojo simétrico de alta amplitud que confirma la fase cero del dato.

Un contacto de fluidos genera siempre un aumento de impedancia, con lo cual si el flat spot es rojo nos está indicando que el dato tiene polaridad europea.



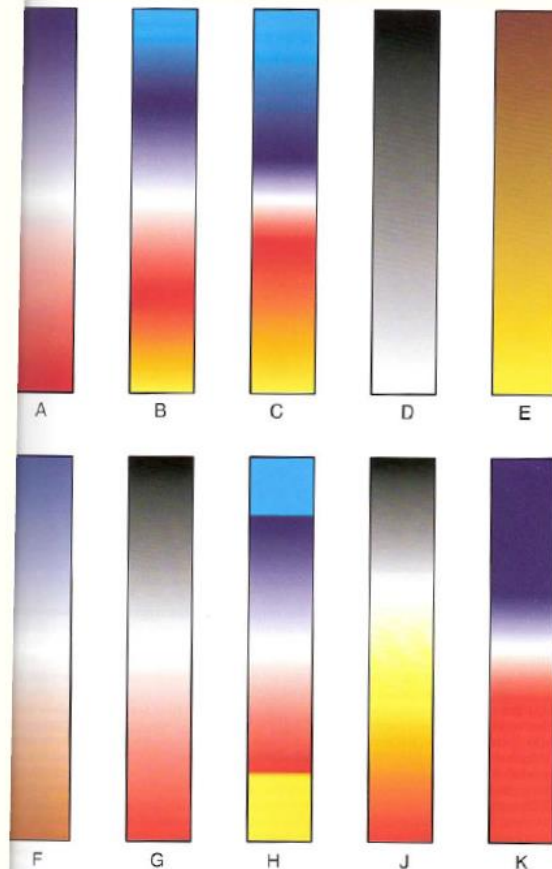
Reflexión proveniente de un reservorio con gas. Siendo el reservorio delgado las reflexiones de tope y base se interfieren, dando como resultado un refuerzo en la amplitud que queda puesta en evidencia con el display utilizado (rojo/amarillo en el centro). Esto nuevamente es un indicador de distorsión de fase de 90° . Un fenómeno muy común.

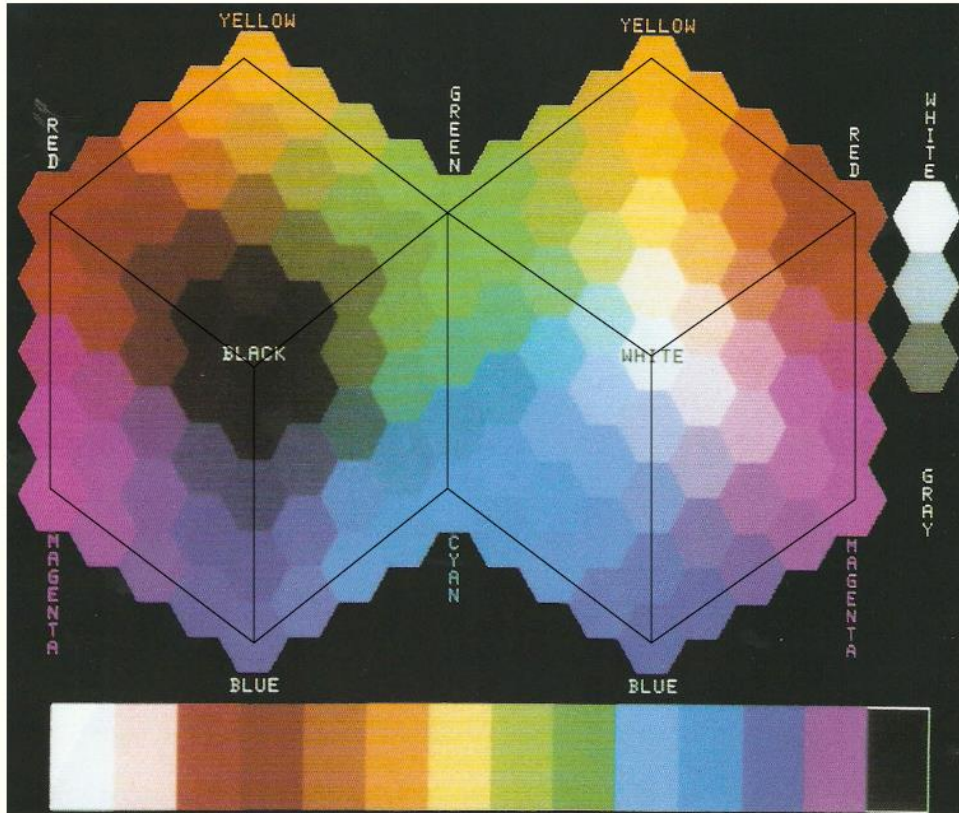


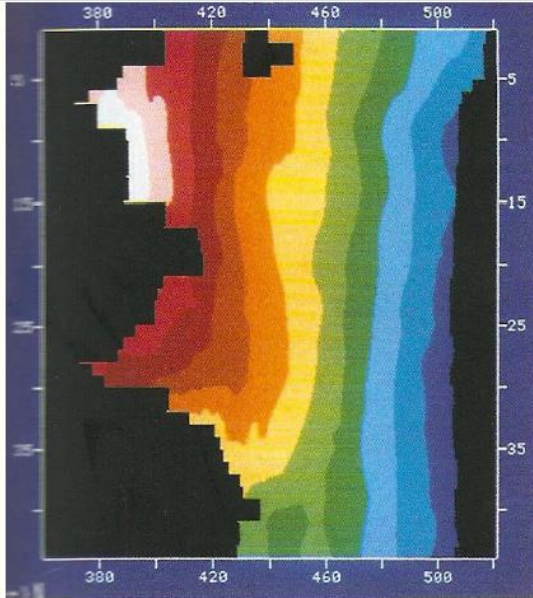
Fuerte reflexión positiva y simétrica del fondo marino (aguas profundas) que nos estaría indicando una situación muy próxima a fase cero.

En la zona del montículo, la fase es ambigua, pero donde indica la flecha no hay duda de la fase cero.

El uso del color tiene un valor interpretativo muy grande ya que, bien utilizado, colabora en el display poniendo en evidencia rasgos sutiles.





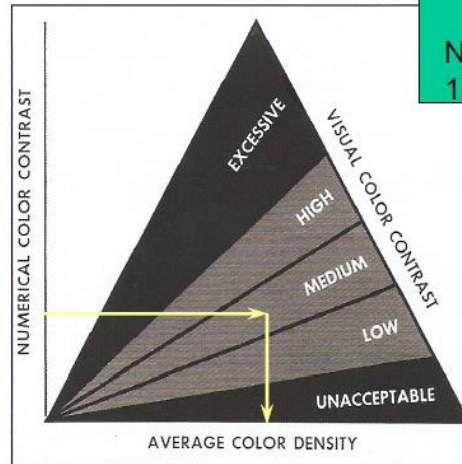


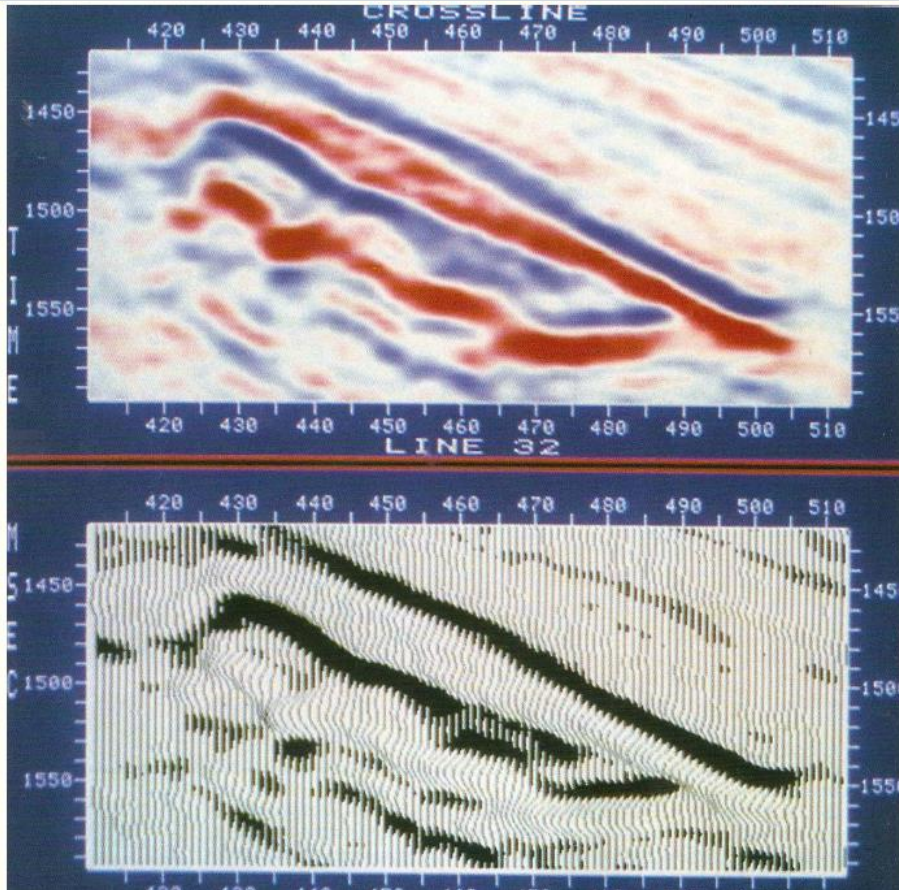
Escala:

- Contener Información útil
- Ser Esteticamente agradable

Será tanto mas efectiva cuanto mas ajustado sea:

- Rango de Valores
- Número de Colores
- Secuencia
- Escala del display





(+)



- Igual peso visual de picos y valles

- Proporcionalidad entre el rango de colores y las variaciones de amplitud.

(-)



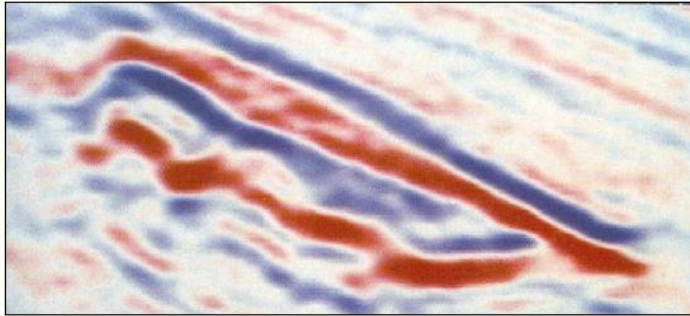
- Pesos muy diferentes

- Picos saturados / recortados

- Valles importantes, no son visibles por debajo de la estación a la cual pertenecen

(-)

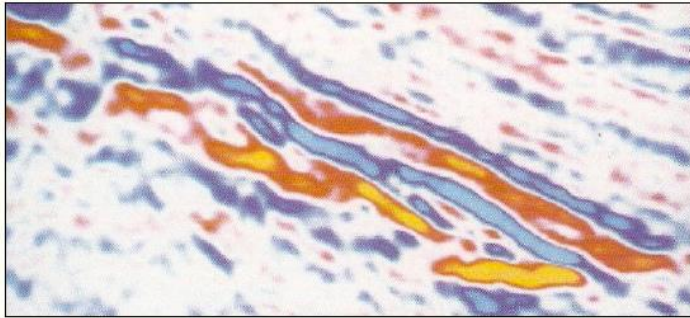




- Esquema gradacional *doble*
(azul y rojo)
- Simetría del azul y rojo, importante para la detección de variaciones relativas de amplitud

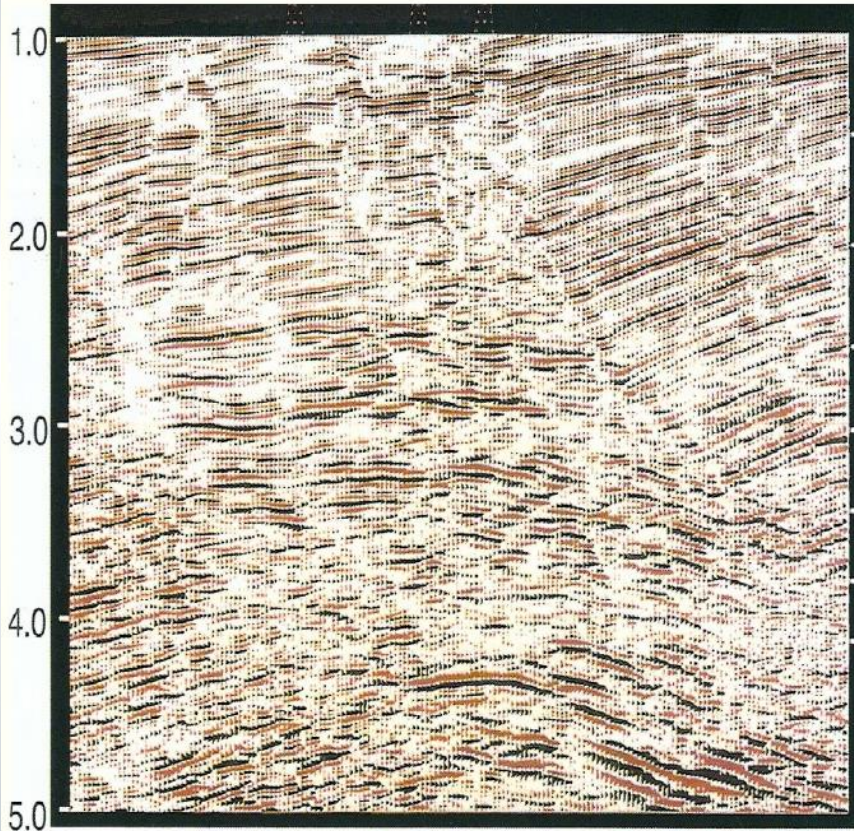
(-)

(+)



- Esquema gradacional *múltiple*
(cyan, azul, rojo y amarillo)
- Se incrementa el *rango dinámico*
- Muy útil para estudios de DHI

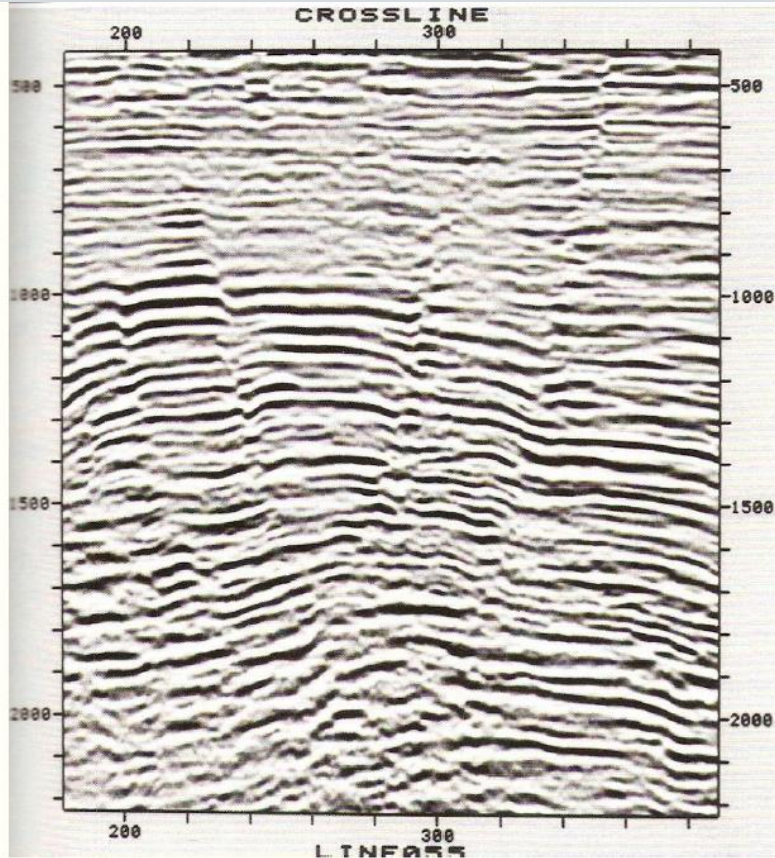
(-)



- Corrige algunos errores del WAV

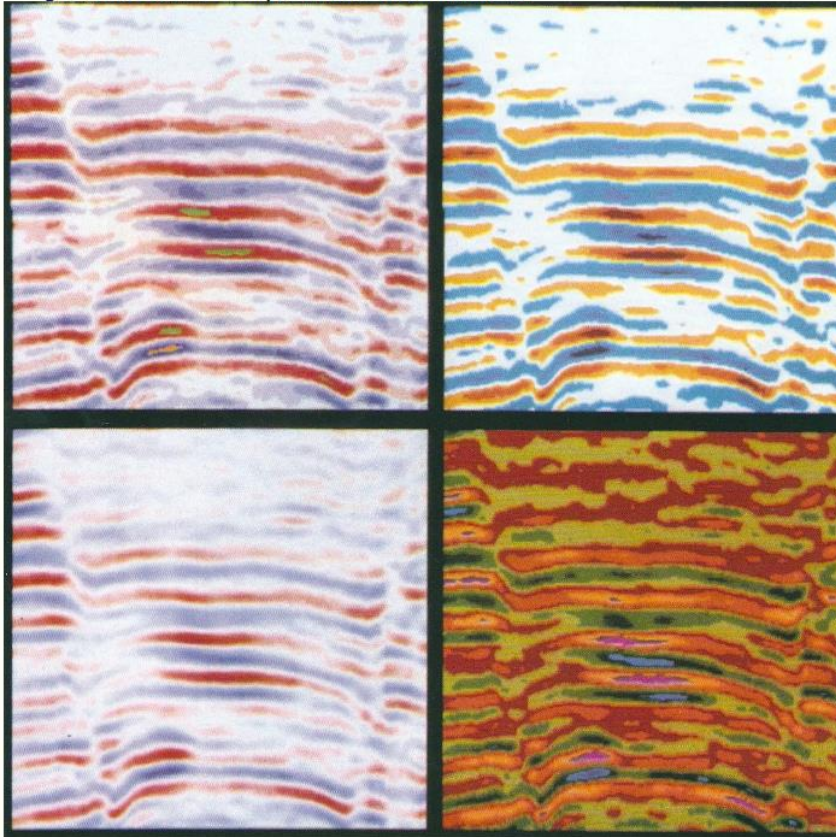
- Menor rango dinámico que el gradacional en colores

- Muestra el doble de terminaciones contra fallas, lo cual beneficia el reconocimiento y la definición en el trazado de las mismas.



- Realza la visibilidad de las bajas amplitudes lo cual incrementa el número de terminaciones visibles en la zona de falla

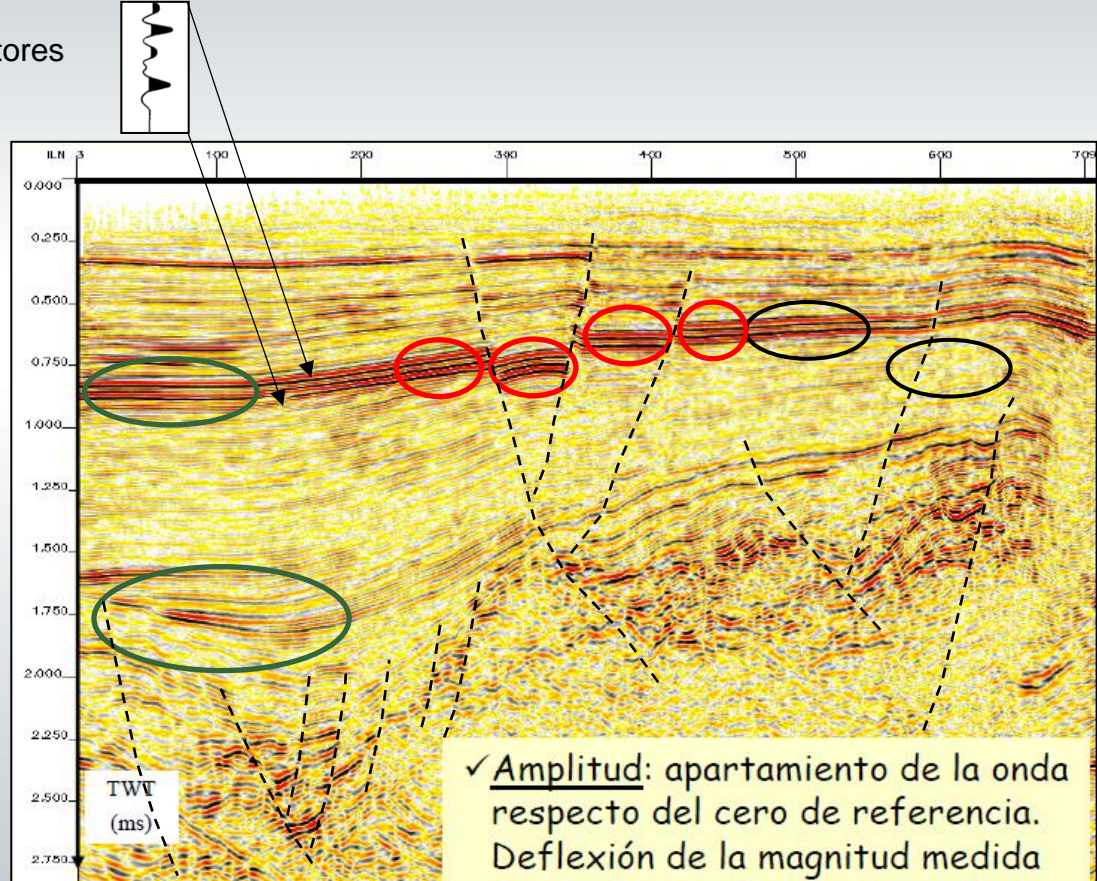
Diferentes esquemas de colores



- Para trabajos estándar de interpretación, es importante tener un esquema de color no tendencioso de manera que el intérprete pueda hacer su propia interpretación del fenómeno.

-Lo importante es adaptar el display de forma tal que se ajuste al tipo de objetivo / rasgo geológico a interpretar.

- **Tiempo de Arribo.** Posición relativa de los reflectores respecto al Datum de referencia
- **Amplitud.** Valores de la deflexión de la onda respecto al cero de referencia
- **Carácter.** Aspecto reconocible de uno o varios eventos sísmicos. Forma de onda que lo distingue de otros eventos
- **Arreglo de reflectores.** Geometría específica o distintiva. Asociado a los procesos de depositación.
- **Marco Estructural.** Deformaciones y Rupturas de las capas asociados a esfuerzos tectónicos/gravitacionales





Muchas gracias