

SOLUCIONES ACTUALES Y DESAFÍOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES SÍSMICAS EN PROFUNDIDAD EN ÁREAS GEOLÓGICAMENTE COMPLEJAS

Rubén D. Martínez¹

1: ruben.martinez@pgs.com

Palabras clave: migración, profundidad, anisotropía, velocidades, pozos, imagen, sísmica

ABSTRACT

Current solutions and challenges in depth imaging for complex geology areas

Today, depth imaging is almost a routine in the E&P industry. An exploration or a development well is not typically approved if it is not supported by seismic data migrated in depth and properly calibrated with wells – if they exist in the study area. In this paper, I describe workflows currently in use for anisotropic depth imaging. I will explain the current available solutions and limitations of the methods used in the industry. The challenges in this important topic will be discussed along with a brief overview of the depth imaging emergent technologies. These topics will be illustrated with model and real data set.

INTRODUCCIÓN

El éxito en el modelado de velocidades y la construcción de imágenes sísmicas en profundidad depende en gran parte de la selección atinada de las tecnologías para la adquisición, procesamiento y construcción de imágenes sísmicas manteniendo siempre en mente el problema geológico que se piensa resolver. Esta selección de tecnologías no es trivial para áreas geológicamente muy complejas. De las tecnologías de adquisición, las más aplicables a problemas de geología compleja son las que contienen la componente del acimut en su diseño. Estos son los diseños *WATS* (acimut amplio) y *FAZ* (acimut completo) (Long, 2006).

La construcción de imágenes sísmicas en profundidad ha evolucionado rápidamente a lo largo de los últimos años. El modelado de velocidades empleando la tomografía con el acimut verdadero, no nada más resulta en velocidades más precisas para la migración pero también toma en cuenta la anisotropía en las velocidades, en este caso, la del tipo *TTI* (isotropía transversa inclinada) o también ortorrómbica. La estimación de los parámetros de anisotropía constituye hoy en día un desafío importante y es un tema de investigación continua.

Para manejar volúmenes grandes de datos durante la construcción del modelo de velocidades, es necesario contar con algoritmos de migración rápidos para iterar con tomografía en una forma eficiente y precisa. Un algoritmo que tiene buenas características de rapidez y precisión para la construcción de modelos de velocidades es el de la *Beam PSDM (PreStack Depth Migration)* (Sherwood *et al.*, 2008). Pero cuando la precisión tiene que ser incrementada en función de la complejidad geológica, las migraciones *PSDM WEM (Wavefield Extrapolation Migration)* y la *RTM (Reverse Time Migration)* (Crawley, 2010) pueden también ser usadas para la construcción de modelos de velocidades. Cuando estas tecnologías se implementan apropiadamente en un sistema de cómputo diseñado para este propósito, los modelos de velocidad anisótropos pueden ser entregados en un corto tiempo. Esto es ventajoso dado que permite al intérprete tener más tiempo para hacer decisiones acerca del modelo geológico. Después de varias iteraciones, la imagen sísmica final se genera con algoritmos de *PSDM* precisos como la *WEM* y/o *RTM*.

En este trabajo, presentaré e ilustraré las soluciones y desafíos que se tienen en la construcción de imágenes sísmicas en profundidad empleando datos reales provenientes de áreas caracterizadas por geología compleja tales como aquellas afectadas por tectónica salina, basaltos, carbonatos y/o arcillas.

SOLUCIONES Y DESAFÍOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES SÍSMICAS EN PROFUNDIDAD

Una vez que el pre-procesamiento en tiempo es realizado otro conjunto de desafíos se tienen que enfrentar y resolverse. El primer desafío es el de estimar los parámetros que definen los medios anisótropos como el *TTI*. Un modelo *TTI* es descrito por cinco parámetros que varían en 3D. La estimación de estos parámetros es todo un desafío y se debe de enfrentar empleando la tomografía tridimensional efectuada en el acimut verdadero tomando en cuenta las geometrías *WAZ (Wide Azimuth)* y/o *FAZ (Full Azimuth)* (ver la Figura 1). La Figura 2 muestra los pasos principales de una tomografía 3D para medios *TTI*. Cuando existe mucha complejidad en el modelo de velocidades, es común emplear procedimientos más pragmáticos y fijar los parámetros de anisotropía y perturbar únicamente la velocidad vertical de intervalo (V_o).

El primer paso en el flujo de trabajo para la construcción de imágenes sísmicas en profundidad normalmente comienza con la *PSDM* isotrópica empleando un modelo inicial. Luego se emplea tomografía 3D para medios isotrópicos para perturbar el modelo de velocidad inicial y así estimar la velocidad de intervalo isotrópica (V_{nmo}) más precisa posible.

Varias iteraciones son requeridas para incorporar la información de los detalles estructurales en el modelo y así obtener el campo de velocidades V_{nmo} con sentido geológico. Otros pasos que le siguen a la estimación de la V_{nmo} , incluyen iteraciones de tomografía para estimar y optimizar los parámetros de anisotropía ϵ y δ , los cuales son conocidos como los parámetros de Thomsen

(Thomsen, 1986). Alternativamente, algunas aproximaciones para ϵ y δ son asumidas para resolver únicamente para el campo de velocidades verticales V_o . Con los parámetros V_o , ϵ y δ se define un medio del tipo *VTI*. Pero para describir un medio *TTI*, dos parámetros adicionales son requeridos y son definidos empleando información *a priori* acerca del acimut (ϕ) y buzamiento (α) de las superficies interpretadas las cuales describen el marco estructural.

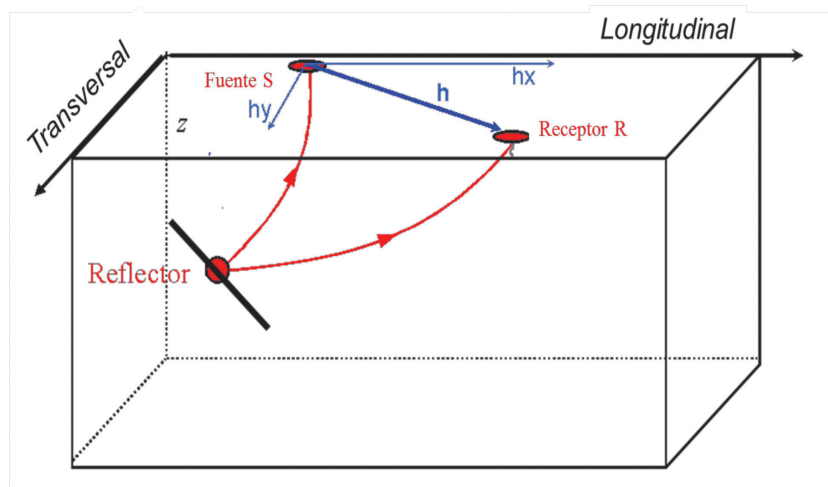


Figura 1. Implementación de la tomografía 3D con el acimut verdadero.

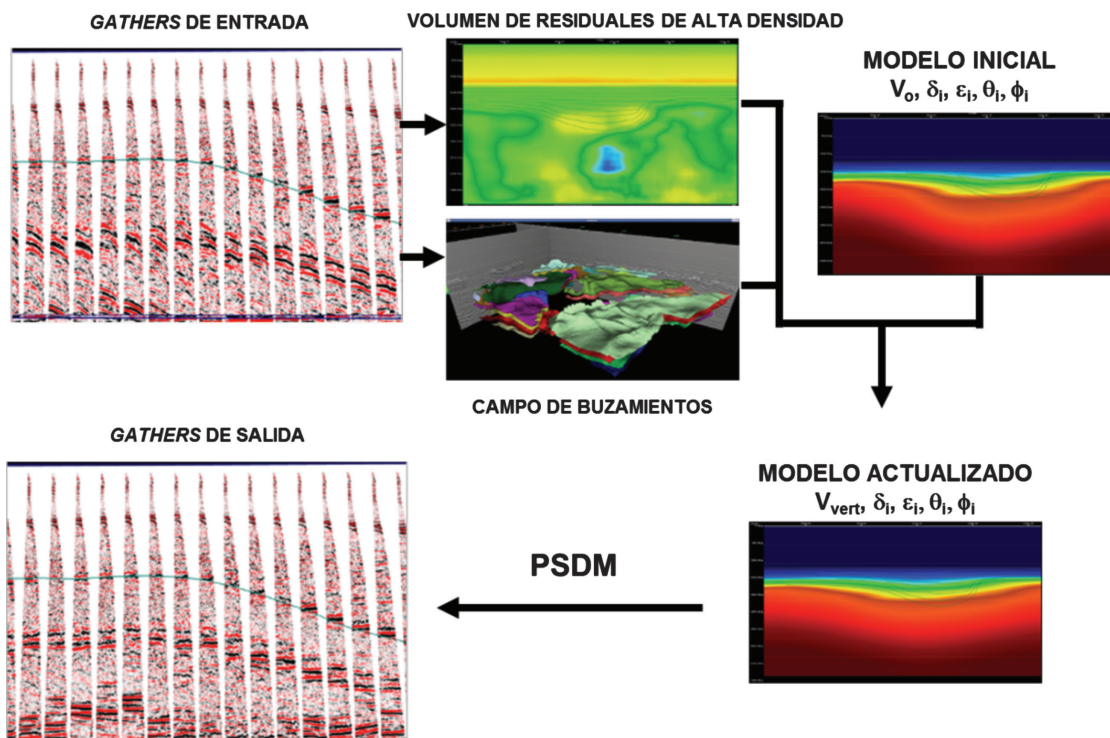


Figura 2. Representación esquemática de los pasos principales de la tomografía 3D para medios TTI.

En presencia de reflexiones débiles como en los casos sub-sal, sub-basaltos o sub-carbonatos, otros métodos para estimar las velocidades son empleados. Estos métodos son usualmente basados en el escaneo de velocidades de intervalo usando algoritmos *PSDM* tales como el de *WEM* o *RTM* (Jiao *et al.*, 2008). Hasta la fecha esto representa un desafío importante en la industria.

En cada iteración, un paso de migración pre-apilamiento en profundidad (*PSDM*) es ejecutado. Es esencial tener disponible un algoritmo de migración *PSDM* eficiente y preciso para este propósito puesto que los resultados de cada iteración deben de generarse para la actualización del modelo de velocidades anisótropo.

Después de que el modelo *TTI* ha sido estimado usando tomografía, las imágenes sísmicas finales son generadas empleando una *PSDM* Beam o *WEM* o *RTM* de alta fidelidad según sean los requerimientos exploratorios. Un ejemplo del uso de estas migraciones *PSDM* se presenta en la Figura 3.

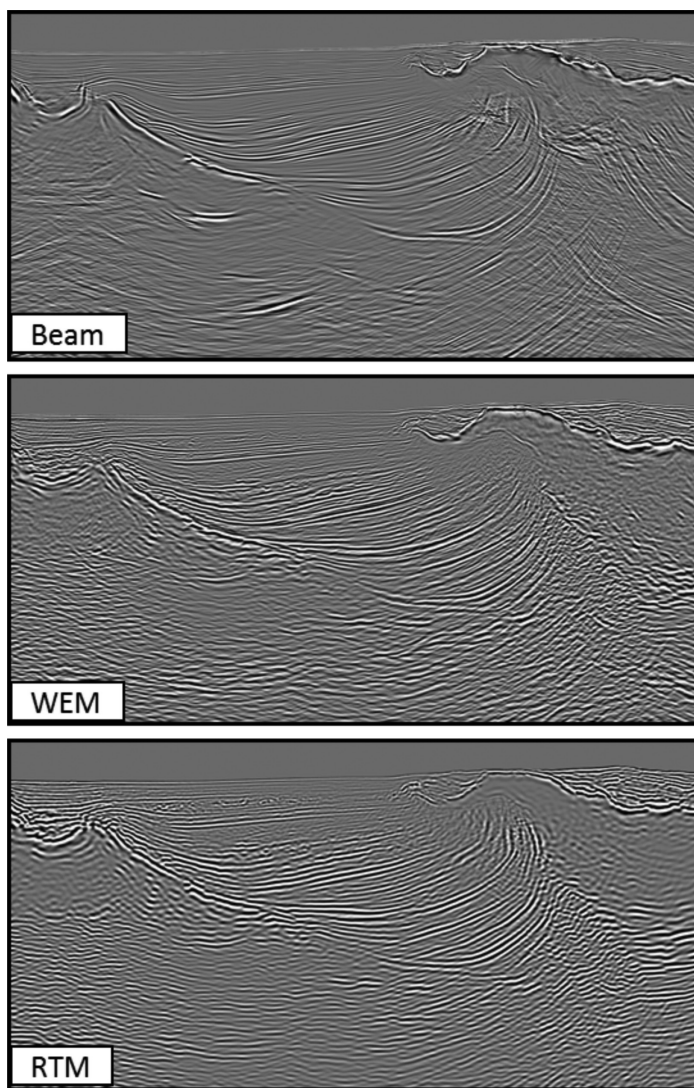


Figura 3. Comparación de imágenes sísmicas en profundidad obtenidas con tres diferentes métodos de migración *PSDM*.

TECNOLOGÍA EMERGENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE VELOCIDADES E IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN

Al mismo tiempo en que los recursos computacionales de alto rendimiento avanzan, los métodos tales como los de inversión de onda completa (*FWI: 3D Full Waveform Inversion*) se vuelven más accesibles para producir modelos de velocidades de alta resolución. La *FWI 3D* isótropa está disponible comercialmente aunque ya es una realidad también la *FWI 3D* anisótropa.

Para lograr resultados exitosos con la *FWI 3D*, los datos deben de ser acondicionados. Un requerimiento clásico es el de grabar los datos con *offsets* largos.

Es bien sabido que la alta resolución sísmica implica un ancho de banda de frecuencias temporales y espaciales amplio. Sin embargo, un parámetro importante, aparte de los *offsets* largos, para la *FWI 3D* son las bajas frecuencias temporales presentes en el espectro de frecuencias. Las bajas frecuencias van a constreñir mejor el campo de velocidades obtenido con la *FWI 3D*. Para satisfacer este requerimiento, la tecnología de adquisición basada en sensores duales ha probado ser exitosa (Fromyr *et al.*, 2011 y Kelly *et al.*, 2010).

La Figura 4 ilustra la aplicación de la *FWI 3D* empleando datos adquiridos en el Golfo de México con sensores duales. Son de notarse los detalles introducidos en el modelo de velocidades obtenido después de algunas iteraciones de la *FWI 3D*. Gran parte de la resolución en el modelo de velocidades viene de las bajas frecuencias presentes en el espectro de frecuencias de la onda *Pup* la cual resulta de la separación del campo de ondas empleando las mediciones hechas por los sensores duales.

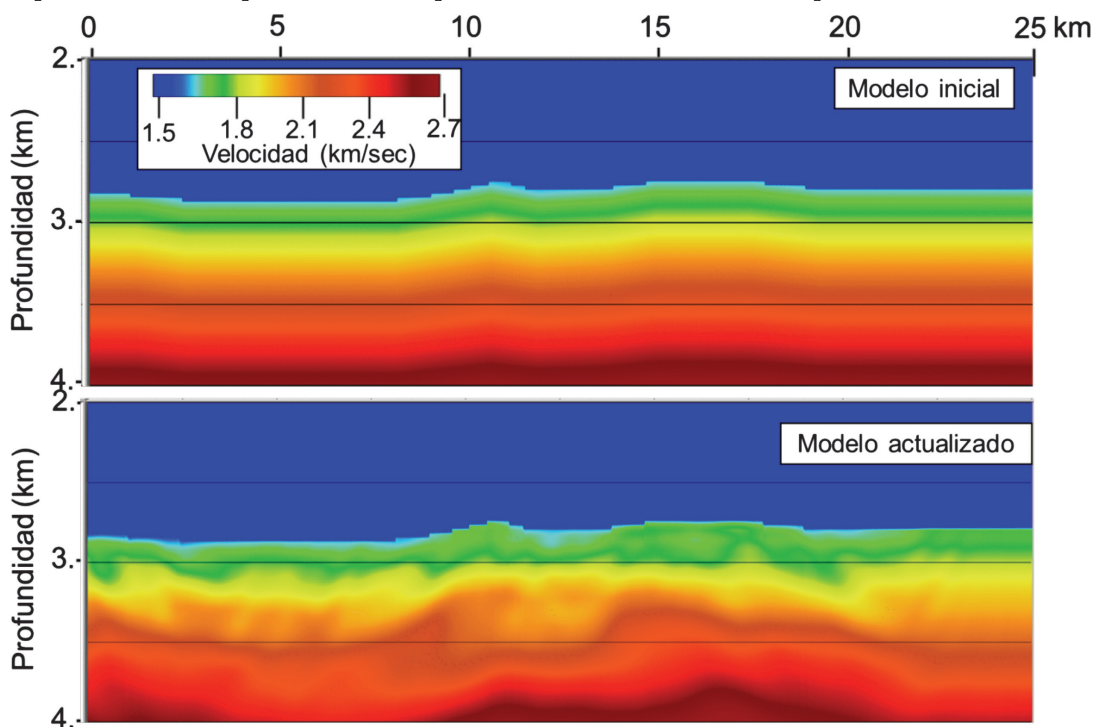


Figura 4. Resultado de la *FWI 3D* empleando datos reales adquiridos con sensores duales en el Golfo de México (Kelly *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

La combinación de geometrías de adquisición avanzadas tales como las de acimut amplio (*WAZ*) o completo (*FAZ*) con métodos avanzados de modelado de velocidades y migración pre-apilamiento en profundidad son las claves para obtener imágenes sísmicas de alta fidelidad en áreas geológicamente complejas.

Aunque existen soluciones avanzadas y efectivas para la construcción de modelos de velocidades e imágenes sísmicas en profundidad, todavía existen muchos desafíos en el área de estimación de los parámetros que describen las velocidades anisótropas. Métodos de migración *PSDM* tales como la *RTM* para medios *TTI* producirán resultados óptimos dependiendo en gran escala de la precisión del modelo de velocidades anisótropo.

La *FWI 3D* es una realidad comercializada y esto constituye el cambio esperado por mucho tiempo en la industria para producir modelos de velocidades anisótropas de alta resolución. El futuro estará sin duda relacionado a estos avances en la inversión de onda completa (*FWI*).

AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias a mis colegas de PGS quienes ya sea en forma directa o indirecta contribuyeron con creatividad para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|--|
| Crawley, S., 2010, 3D TTI RTM using the pseudo-analytic method: SEG Expanded Abstracts 29, 3216-3220 (2010). | for two full-waveform methods that utilize the lowest frequencies in dual-sensor recordings: SEG Expanded Abstracts 29, 940-944 (2010). |
| Fromyr, E. and Reiser, C., 2011, Improved Imaging and Reservoir Characterization with Dual Sensor Streamer: Presented at the Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society. | Long, A., 2006, How multi-azimuth and wide-azimuth seismic compare: first break volume 24, December 2006. |
| Jiao, J., Lowrey, D.R., Willis, J.F. and Martínez, R.D., 2008, Practical approaches for subsalt velocity model building: Geophysics 73, VE183. | Sherwood, J., Sherwood, K., Tieman, H. and Schleicher, K., 2008, 3D beam prestack depth migration with examples from around the world: SEG Expanded Abstracts 27, 438. |
| Kelly, S., Ramos-Martínez, J., Tsimelzon, B. and Crawley, S., 2010, A comparison of inversion results | Thomsen, L., 1986, Weak elastic anisotropy: Geophysics, 51, 1954-1966. |