



## Migración en profundidad de dato sísmico terrestre: modelado de la superficie de referencia equivalente

S. Sosa<sup>1</sup> y M. Volonté<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Seismic Prospect S.R.L. [ssosa@seismicprospect.com](mailto:ssosa@seismicprospect.com)

### Resumen

*El presente trabajo enuncia, fundamenta y demuestra de manera empírica, una metodología de modelado alternativa para resolver el problema de la zona somera del modelo inicial de velocidades interválicas para el flujo de migración en profundidad de dato sísmico terrestre.*

*Para ilustrar la metodología que se propone basta con pensar en un sistema óptico elemental donde intercede una lente entre un objeto y su imagen. Para optimizar o enfocar dicha imagen, podemos optar por cambiar las propiedades físicas de la lente o, posiblemente más simple, sólo manipular la posición relativa de las componentes del sistema.*

*En correspondencia con esa ilustración, la zona somera del modelo de velocidades interválicas, puede considerarse como la lente principal del sistema a los fines de enfocar las imágenes sísmicas en profundidad del subsuelo. Los métodos normalmente empleados o tradicionales para resolver este problema versan en el intento de modelar las propiedades de esta lente.*

*Lo que se propone en la metodología expuesta en este trabajo, como camino alternativo, es redefinir una superficie de referencia equivalente, reubicando adecuadamente fuentes y receptores, al momento de construir el modelo inicial de velocidades. Luego, dicha superficie se emplea como referencia para: primero, el proceso de migración en profundidad; segundo, el flujo de tomografía de reflexión necesario para el refinamiento del modelo; y, por último, para el retorno al dominio del tiempo y, viceversa, siempre que sea necesario a los fines de cualquier procesamiento y/o análisis posterior.*

*La fundamentación del método al que hacemos referencia se realiza en base a modelos de velocidades sintéticos simples. En base a los mismos, se compara el grado de enfoque obtenible entre el método propuesto y una técnica más convencional. Adicionalmente, para demostrar su aplicabilidad, se analizan ejemplos sobre datos sísmicos reales, y significativamente diferentes en cuanto a su calidad y a las características del marco geológico.*



Todos los elementos que finalmente se exponen en este trabajo, permiten concluir la utilidad de este método, sus ventajas, y la contribución que implica a la consistencia y robustez del flujo general de migración en profundidad de dato sísmico terrestre.

**Palabras clave:** Sísmica Terrestre, Migración en Profundidad, Modelo de Velocidad, Zona Somera.

## Introducción

Es bien sabido que uno de los problemas principales para la prospección sísmica terrestre son las distorsiones que genera la zona próxima a la superficie.

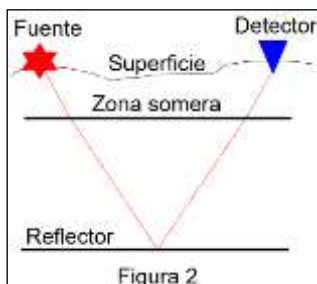
Existen diversas técnicas de “redatuming” para reducir los efectos asociados a este problema en las primeras etapas de una secuencia de procesamiento (Sun y otros, 2014). Independientemente de la estrategia elegida es importante guardar consistencia cuando se construye el modelo inicial de velocidades interválicas y se prepara el dato sísmico de entrada, para una secuencia de migración en profundidad pre-stack.

Los métodos tradicionales integran información de las velocidades, resultante de la técnica de “redatuming” elegida, al modelo de la zona más profunda (Fei y otros, 2016). Otras técnicas integran otras mediciones geofísicas, intentando mejorar la exactitud del modelo somero (Colombo y otros, 2008).

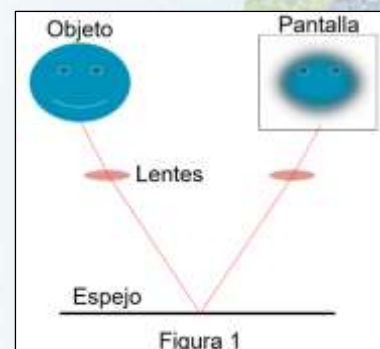
En este trabajo se propone una estrategia alternativa y equivalente, que reposiciona fuentes y detectores preservando la consistencia con la técnica de “redatuming”, redefiniendo la superficie de referencia para el flujo de migración en profundidad.

## Materiales y métodos

Supongamos un sistema óptico simple (figura 1). El mismo es comparable con el experimento sísmico de reflexión terrestre (figura 2). Existen dos posibilidades para conseguir enfocar la imagen en la pantalla. Una posible solución es modelar las propiedades de las lentes o de la zona somera. Otra es modificar la posición relativa de objeto y pantalla, o de fuente y receptor.



El método propuesto en este trabajo se basa en la segunda opción. Propone emplear como superficie de referencia para el flujo de migración en profundidad, el plano flotante que surge de la





solución de “redatuming” empleada. Esta superficie debe ser transformada a profundidades debajo del datum. El procedimiento para transformar la superficie se basa en:

$$V_i = \frac{Elev_{Datum} [m] - Elev_i [m]}{Est_i [seg]/2}, \text{ donde } \begin{array}{l} V_i: \text{Velocidad en el CMP } i \\ Elev_i: \text{Elevación SNM del CMP } i \\ Est_i: \text{Estática de largo período en TWT del CMP } i \end{array}$$

Este cálculo se realiza en todo CMP del proyecto, se trate de una adquisición 2D o 3D. Debe asegurarse que el datum haya sido elegido para garantizar que todas las correcciones estáticas de largo período sean positivas. La elevación de CMP surge de interpolar y suavizar las elevaciones medidas para fuentes y detectores. De la distribución de velocidades así calculadas, se obtiene la media aritmética que se emplea para calcular en todo CMP la posición de la superficie de referencia debajo del datum en unidades de longitud, según la fórmula:

$$Prof_i = V_{avg} \times \frac{Est_i [seg]}{2}, \text{ donde } \begin{array}{l} Prof_i: \text{Profundidad debajo del datum en el CMP } i \\ V_{avg}: \text{Velocidad media de las } V_i \\ Est_i: \text{Estática de largo período en TWT del CMP } i \end{array}$$

La velocidad promedio se emplea, además, para completar la zona del modelo que se ubica por encima de la superficie de referencia equivalente. Esa zona interviene solamente en el traspaso de los productos sísmicos del dominio de la profundidad al tiempo doble, o viceversa.

En cuanto a la preparación del dato sísmico, se reposicionan fuentes y detectores en la nueva superficie, mediante estáticas residuales según:

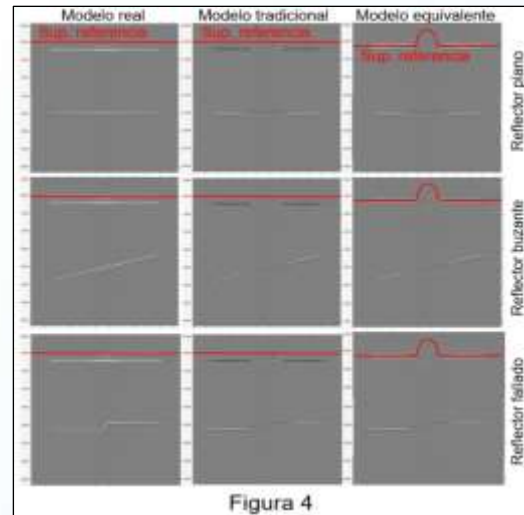
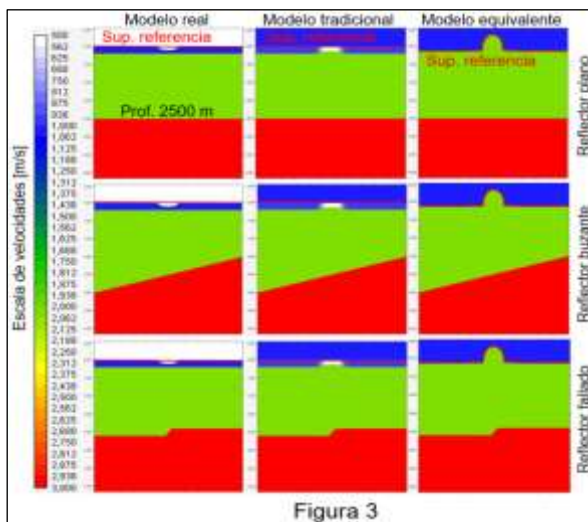
$$Est_{res_t} = Est_i [seg] - Est_F [seg] - Est_D [seg], \text{ donde } \begin{array}{l} Est_{res_t}: \text{Estática residual para traza } t \\ Est_F: \text{Estática de largo período en OWT en fuente} \\ Est_D: \text{Estática de largo período en OWT en detector} \end{array}$$

La demostración de la equivalencia del método propuesto con técnicas más tradicionales se realizó en base a modelos sintéticos 2D simples (figura 3), empleando el algoritmo Reverse Time Migration (RTM). Como técnica tradicional, en este caso, se modelaron estáticas de refracción por tomografía y se usaron las velocidades resultantes como estimación de la zona somera del modelo.



### Resultados y discusión

La figura 4 resume los resultados de los modelos sintéticos, demostrando la equivalencia práctica desde el punto de vista de la calidad de la imagen del reflector para ambas estrategias. Y confirman, además, que ambas son soluciones satisfactorias del modelo real



En la estrategia propuesta, desde la base de la capa meteorizada hasta la nueva superficie de referencia, la velocidad empleada es la velocidad de reemplazo de la solución de estáticas. En la práctica, con dato real, suele ser adecuada una estimación de las velocidades interválicas desde las velocidades RMS en tiempo o desde información de pozo.

En dato real, se ha comprobado la eficiencia y robustez del método en diferentes proyectos 2D y 3D de Argentina, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Guatemala y Méjico. En todo caso el método se ha preservado y los resultados han mejorado sistemáticamente la calidad de las migraciones pre-stack en tiempo (PSTM) respectivas. La

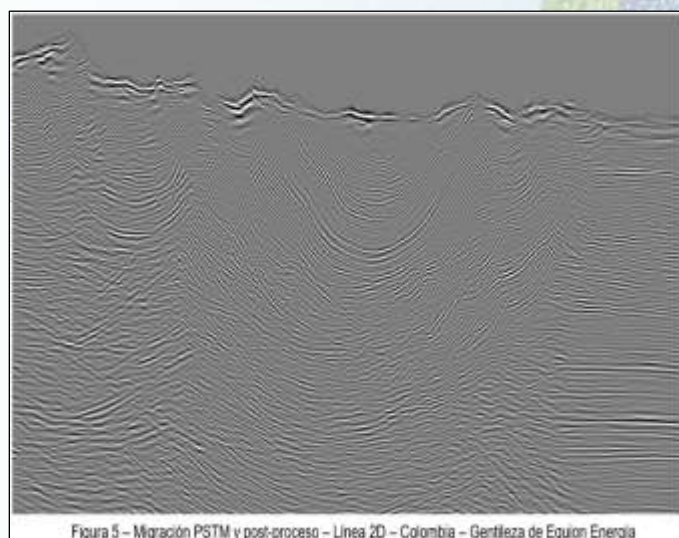




figura 5 es una migración PSTM en un área de alta complejidad geológica en Colombia. La figura 6 es el resultado de la migración PSDM pasada a tiempo. Primero obsérvese que el tiempo de los mismos rasgos sísmicos coinciden exactamente, excepto por los desplazamientos laterales que se introducen por las diferentes técnicas de migración. Segundo, obsérvese en las elipses rojas, la evidente mejora del colapso de estructuras en la versión PSDM.

### Conclusiones

Lo expuesto demuestra la efectividad del método de trabajo sugerido como solución general para una adecuada preparación del modelo de velocidades inicial y del dato sísmico, a los fines de un flujo de migración en profundidad pre-stack de sísmica terrestre.

La simplicidad del método parece contraponerse a la complejidad del problema. Sin embargo, debe

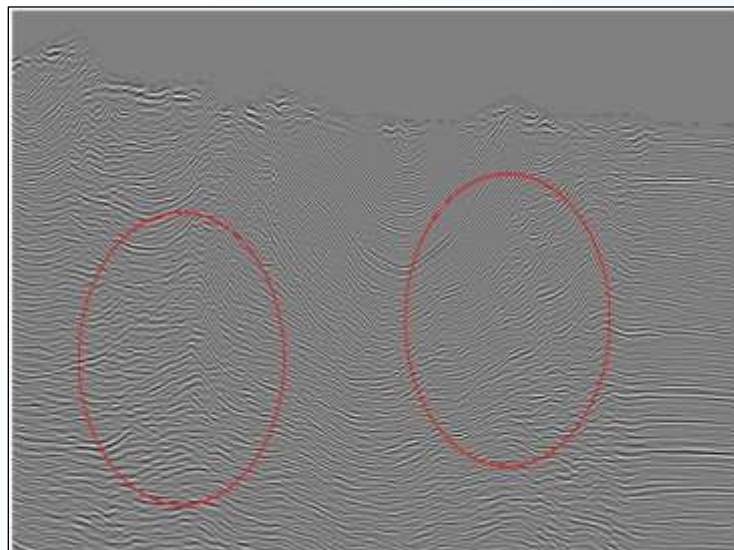


Figura 6 – Migración PSDM y post-proceso escalada a tiempo – Línea 2D – Colombia – Gentileza de Equion Energía

recordarse que el mismo surge de intentar, primero ser consistente con la técnica de “redatuning” que se haya empleado, con sus virtudes y errores, y segundo generar un modelo que permita el traspaso directo entre los dominios tiempo y profundidad. No puede ser confiable un modelo para migración en profundidad, inicial o refinado, que no permita un traspaso directo entre el dominio real de adquisición y el dominio que se intenta modelar.

A iguales condiciones de aciertos y errores, dejando de lado la posibilidad de errores groseros, una PSDM terrestre debe ser mejor que su versión en tiempo. La clave está en encontrar una estrategia robusta que no dependa de las características geológicas o de la calidad del dato sísmico, sino que guarde consistencia con el experimento y las hipótesis ya asumidas durante el acondicionamiento. Por nuestra experiencia, este método cumple con tal premisa. Resta una demostración teórica que nos permita dar riguroso sustento a la afirmación precedente.



## Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Equion Energía por permitirnos mostrar las imágenes sobre dato real. Adicionalmente, a nuestros colegas y compañeros de la empresa Seismic Prospect S.R.L., por su apoyo a esta publicación.

## Referencias

- Colombo, D., M. Cogan, S. Hallinan, M. Mantovani, M. Virgilio y W. Soyer, 2008. Near-surface P-velocity modeling by integrated seismic, EM, and gravity data: examples from the Middle East. *First Break*, 26, 91–102.
- Fei, J., Z. Yang, W. Yang, F. Li, Y. Yan, S. Chen, G. Zhou, Q. Zhang y C. Li, 2016. The solution of complex near-surface problem using integrated velocity model building in Southern Tianshan Foothills. *SEG International Exposition and 86th Annual Meeting*, 2408-2412.
- Sun, Y., E. Verschuur y J. W. Vrolijk, 2014. Solving the complex near-surface problem using 3D data-driven near-surface layer replacement. *Geophysical Prospecting*, 2014, 62, 491–506.