

LA VISUALIZACIÓN MÚLTIPLE DE ATRIBUTOS SÍSMICOS Y EL IMPACTO DE CUERPOS INTRUSIVOS EN EL DATO SÍSMICO. ANÁLISIS DE LA CONTINUIDAD GEOMÉTRICA DE RESERVORIOS DE LA FM. COMODORO RIVADAVIA EN EL FLANCO NORTE DE LA CUENCA GOLFO SAN JORGE

Ignacio Rovira¹, Eduardo Trincheró¹, Luis Vernengo¹

1: Pan American Energy LLC, irovira@pan-energy.com, etrincheró@pan-energy.com, lvernengo@pan-energy.com

Palabras clave: Covisualización, Atributos sísmicos, Atributos múltiples compuestos, Cuerpos intrusivos, Fm Comodoro Rivadavia

ABSTRACT

The multiple visualization of seismic attributes and the impact of intrusive bodies in the seismic data. Analysis of the geometric continuity of reservoirs of Comodoro Rivadavia Fm, in the North Flank of the Golfo San Jorge Basin

The evolution of interpretation and visualization technologies along with the development of new seismic attributes can result in the generation of multiple co-visualizations of both geometric and instantaneous attributes. This improvement allows the interpreter to expand their capability in analysis and evaluation. In each particular case, the choice of these attributes must be carefully constructed and focused on the problem to be solved.

In the Golfo San Jorge Basin, the generation of simultaneously visualized, multiple attributes increases the qualitative seismic resolution, improving the overall interpretation workflow, optimizing the interpretation of lateral and vertical assembly of productive reservoirs. This can be very important during the first steps of interpretation, as well as resolving the interaction between other structural elements such as faults and intrusive bodies.

The presence of the previously mentioned, negatively impacts in the quality of seismic data, reason why, the use of this new tools is key in order to understand their stratigraphic relations and the emplacement mechanisms.

The examples shown here picture a varied configuration of geological situations, documented by wells, that impact on the primary production, secondary recovery and the future design of enhanced recovery projects.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de mayores capacidades de procesamiento y el desarrollo de nuevos atributos, han permitido conjugar metodologías de trabajo dentro del flujo de la interpretación sísmica que enriquecen sustancialmente la comprensión de las geoformas que pueden reconocerse en el dato sísmico.

La combinación racional de distintos algoritmos como soporte a la interpretación sísmica,

queda comprendida también en el concepto de meta-atributo. De esta manera se definen a los resultados de relaciones matemáticas aplicadas sobre el dato sísmico, cuyos resultados también son llamados atributo de atributos. Estos deben ser sensibles a distintos aspectos del dato que se ha de combinar, a los efectos de no ser matemáticamente redundantes y deben tener la consistencia de no pertenecer a una misma familia o tener un fuerte enlace con miembros de ella, Barnes (2006).

Los atributos y covisualizaciones múltiples propuestos en este trabajo, han mostrado ser una apropiada herramienta en el reconocimiento de patrones sísmicos, muchas veces asociados con la optimización en la continuidad y el carácter de los reflectores. Estas características se ven reflejadas por ejemplo, en la apariencia visual de los bordes de los geocuerpos, en la identificación de las zonas de fallas y de fallas de orden menor, como así también en la observación de los límites y terminaciones estratigráficas, las variaciones laterales y su asociación con las distintas sismofacies.

Las herramientas y metodologías mostradas en este trabajo proporcionarán un mejor soporte a la caracterización sísmica a través de mejorar el modelo estático previa a la simulación. Además se amplía el espectro de análisis para llevar a cabo estudios dentro del alcance de la interpretación sísmica multidimensional.

En este aspecto, se han tomado como ejemplos de análisis, algunos cuerpos intrusivos que se emplazan en la columna geológica del flanco norte de la Cuenca Golfo San Jorge y que son brevemente descritos en el apartado siguiente. El análisis de estos cuerpos bajo la visión de nuevos atributos y ensambles de algunos de ellos, mejora la definición de su geometría y hacen evidentes elementos importantes asociados al mecanismo de su emplazamiento.

Esta metodología de análisis puede hacerse extensiva al estudio de otras geoformas y patrones sísmicos en la certeza que será enriquecida su comprensión y comportamiento dentro del contexto geológico en que se encuentren. Se debe destacar que la covisualización de atributos y meta-atributos de diferentes características y orígenes enriquece el flujo de trabajo del intérprete sísmico y amplía los diferentes enfoques para la comprensión de la arquitectura de los eventos del subsuelo.

En este trabajo, la utilización de un nuevo algoritmo y sus variantes, basado en las amplitudes sísmicas, ha mostrado ser de gran utilidad a los intérpretes sísmicos, generando un salto de calidad en la comprensión de la geología del subsuelo del área de trabajo. Se ha demostrado que actualmente los desafíos que enfrentan los geocientíficos cuando se trabaja en la caracterización sísmica de reservorios complejos, en los que a menudo es muy difícil identificar las facies sísmicas y, sobre todo, cuando los atributos sísmicos convencionales claramente no resuelven el problema en su totalidad, es necesario recurrir a opciones más creativas.

Nuevos atributos sísmicos tales como AVThf (Técnica de Volumen de Amplitud de Alta Frecuencia) o la Covisualización Múltiple de Atributos Geométricos e Instantáneos proporcionan una perspectiva innovadora de análisis sísmico cualitativo-cuantitativo. Ejemplos de estas nuevas herramientas de análisis se describen en los distintos apartados de este trabajo.

El uso de herramientas de interpretación que ayudan a los geocientíficos a definir un modelo más preciso del área bajo estudio, es una búsqueda que requiere no solo el conocimiento adquirido del área estudiada y su contexto, sino también de buen criterio al seleccionar los atributos y procesos a aplicar y combinarlos durante la etapa de análisis. Las rutinas de interpretación, cálculo, repetición y analogía pueden repetirse muchas veces en un ciclo, Boutte (2007).

El carácter sísmico de las discontinuidades estructurales y estratigráficas casi siempre implica variaciones laterales en la forma de onda y en las amplitudes. La persistencia de estos patrones, detectada por los atributos apropiadamente seleccionados, requiere el desarrollo de una metodología para el trabajo sistemático y ordenado que necesariamente conducirá a reconocer los eventos asociados con morfologías sísmicas que no son a menudo tan evidentes en el análisis clásico de las amplitudes, Vernengo *et al.* (2017a).

CONTEXTO GEOLÓGICO

Los eventos sobre los cuales se han de enfocar los diversos procesos y visualizaciones en este trabajo, corresponden a un conjunto de unidades ígneas intrusivas y extrusivas de edad terciaria, localizadas en el Flanco Norte de la Cuenca Golfo San Jorge (Figura 1).

La misma se encuentra localizada en el sector central de la Patagonia extraandina y fue interpretada como una cuenca extensional, intracratónica; cuyo basamento ecónómico está conformado por rocas volcánicas y volcanoclásticas jurásicas (Gr. Lonco Trapial). El relleno sedimentario está constituido por una espesa secuencia continental cretácica de origen fluvial, fluviodeltáico y lacustre con variable participación de material volcanoclásticos. En este intervalo sedimentario se localizan los principales reservorios de hidrocarburos de la cuenca.

El volcanismo básico Terciario ha sido descripto, por varios autores, principalmente en afloramientos, Bitschene *et al.* (1991) y Vietto *et al.* (2000), y atribuido a distintos eventos magmáticos, Ferello (1969). Estudios anteriores de estos cuerpos ígneos, Chelotti *et al.* (1996) han identificado intrusivos asociados a fallas normales y diques verticales. La columna continúa con los depósitos marinos de la Fm Salamanca, suprayacidos por sedimentos continentales de los Grs Río Chico y Sarmiento. Por último completan la secuencia terciaria, las sedimentitas epiclásticas de las Fms Patagonia y Santa Cruz.

Estas sedimentitas cretácico-terciarias conforman la roca de caja de las unidades magmáticas que se fueron sucediendo durante este período. La zona de estudio está caracterizada por fallas normales de alto ángulo, con rumbo principalmente, O-E y ONO-ESE. Gran parte de estos rasgos están asociados a los depocentros neocomianos, mostrando actividad durante parte de la depositación de la Fm Mina El Carmen y durante el Paleoceno-Eoceno, Paredes *et al.* (2013). En mucho de los casos auspiciaron como conductos de salida de los magmas conformando los cuerpos intrusivos y coladas, Plazibat *et al.* (2014).

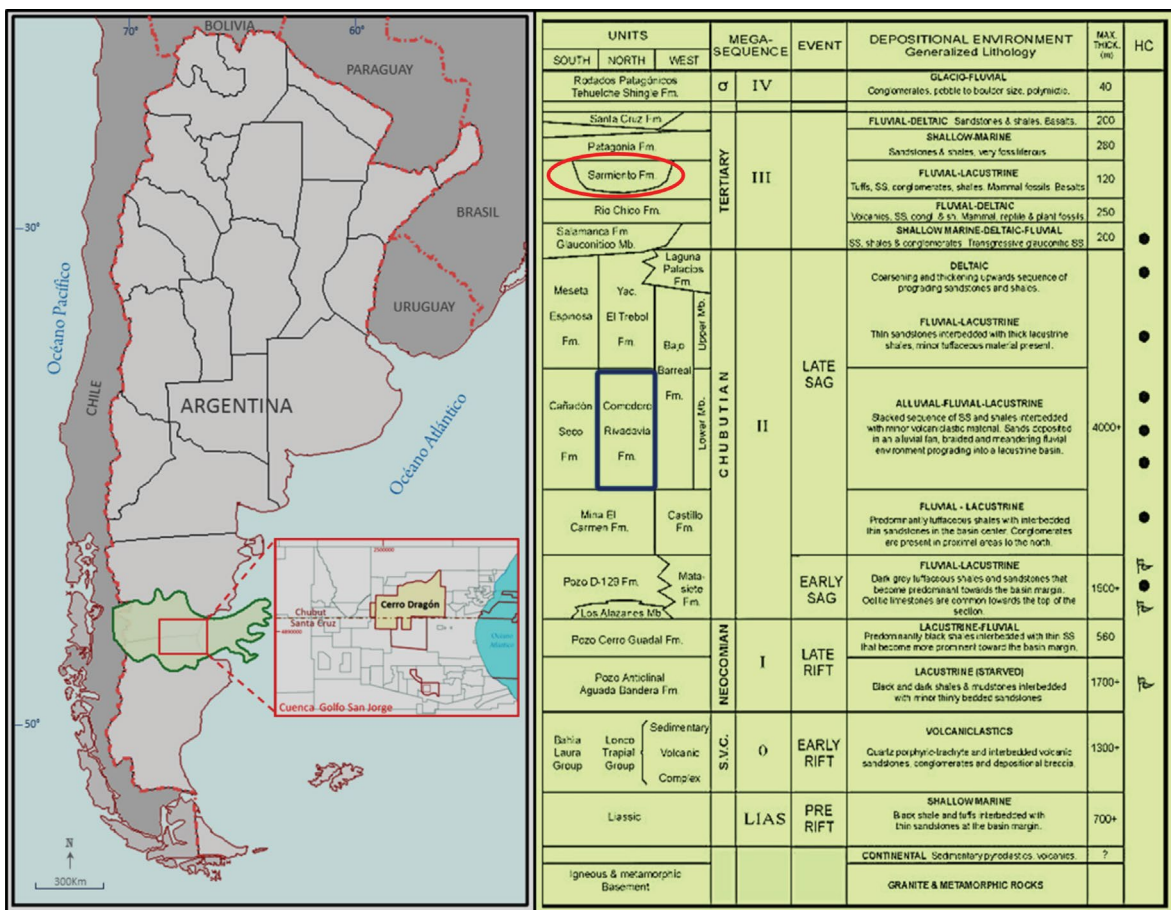


Figura 1. Cuenca Golfo San Jorge, ubicación y columna estratigráfica. Las megasecuencias fueron tomadas de Figari *et al.* (1999), los eventos, de Fitzgerald *et al.* (1990). Los círculos negros corresponden a indicadores de reservorios productivos, de acuerdo a Sylwan (2001). Se resalta con un marco color azul la principal Fm del contexto geológico de los Casos históricos presentados. El círculo rojo corresponde al contexto del último ejemplo de este trabajo.

METODOLOGÍA

Reconocimiento de eventos sísmicos

Como se mencionó anteriormente, es el carácter sísmico de las discontinuidades estructurales y estratigráficas la cual vincula al método sísmico con la “realidad geológica”. De este modo, son las variaciones laterales de amplitudes las que gobiernan las interpretaciones de los rasgos geológicos incluidos dentro de la confección de un modelo estático (horizontes y/o fallas).

En el caso de la interpretación sísmica de eventos geológicos muy particulares, como pueden ser los cuerpos ígneos emplazados en profundidad, resulta de gran aporte apoyar la interpretación geológica con el cálculo, generación sistemática y visualización de atributos sísmicos cuidadosamente seleccionados.

Lo recién expresado queda ejemplificado en la Figura 2 a). Puede observarse en la misma, la presencia de un cuerpo de alta amplitud, inicialmente extendido entre las dos flechas de color

amarillo. Se destaca en la sección, una pobre definición en los extremos, tanto laterales como verticales del mismo. Se puede destacar que dicho cuerpo fue atravesado por cuatro pozos, los cuales cuentan con información de perfiles de resistividad (curva verde) y potencial espontáneo (curva roja), los cuales documentan claramente la presencia del cuerpo mencionado.

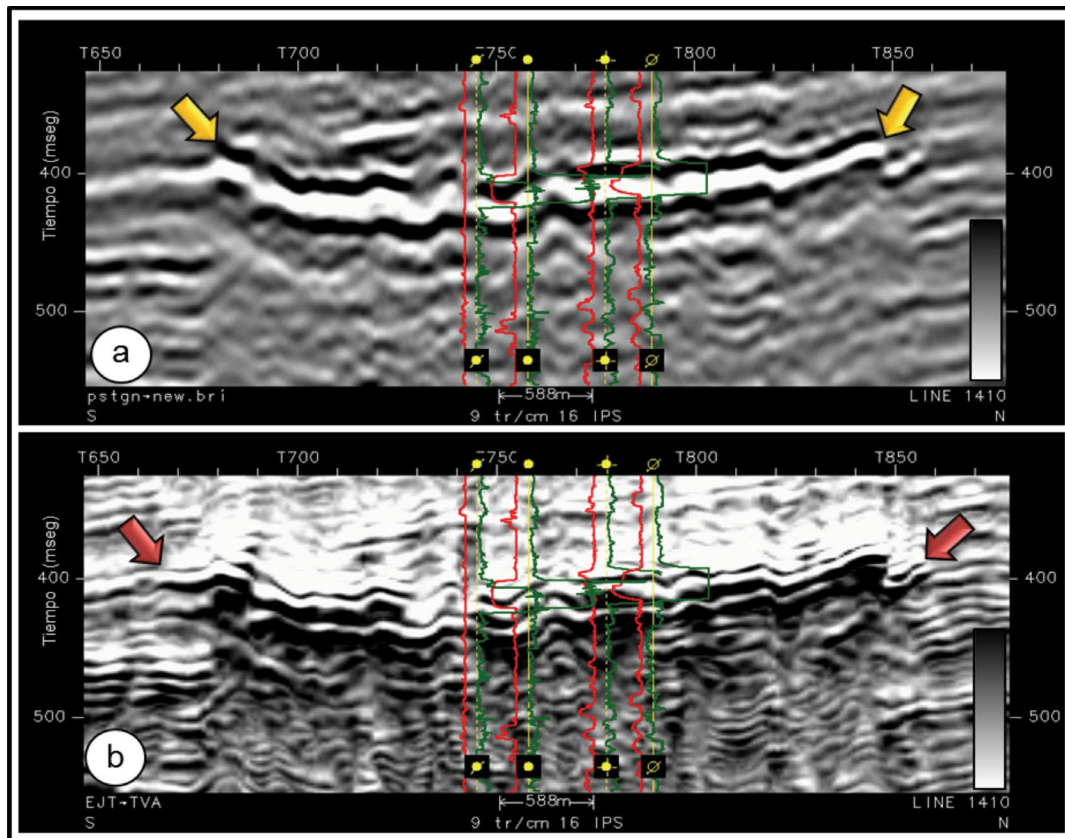


Figura 2. a) Visualización de sísmica de amplitudes con cuatro pozos. Puede observarse un cuerpo discordante, de gran amplitud, capturado también con los perfiles registrados a en los mismos (Rojo, Potencial Espontáneo. Verde, Resistividad). Las flechas de color violeta indican los límites del cuerpo emplazado. b) Visualización de AVThf con los mismos cuatro pozos, puede observarse que el atributo presenta más definición tanto en los extremos laterales del cuerpo (flechas rojas), como en tope y base (ajustado por la información de pozos) y en su estructura de reflectores internos.

En la Figura 2 b) puede observarse que el atributo AVThf ofrece una gran ventaja al momento de la visualización e interpretación de cuerpos de pobre definición geométrica en las secciones de amplitud, fundamentalmente en cuanto a la identificación de los bordes y mecanismo de emplazamiento. Entre las flechas de color rojo puede marcarse un aumento en la extensión del cuerpo, interpretados a partir de una mejora en la definición, tanto de las amplitudes como de la frecuencia de los reflectores que conforman el cuerpo. La Figura 3a muestra un Horizon Slice del atributo AVThf de un evento intrusivo presuntamente canalizado, con su correspondiente arreglo de facies sísmicas internas, observado a partir de los cambios de polaridad. La Figura 3b corresponde a la sección sísmica arbitraria desplegada a lo largo del eje del cuerpo intrusivo, representada sobre el mismo atributo. En ella puede observarse el impacto visual logrado por el

mencionado atributo en el cuerpo analizado.

Además, puede destacarse que el ajuste de los reflectores respecto de los perfiles de pozos es notablemente mayor en la definición del tope y la base del cuerpo. Esta relación entre la información indirecta de la sísmica y los datos documentados en los pozos permiten avanzar con suficiente confianza en el estudio de estos cuerpos y en la identificación de sus geometría y mecanismos de emplazamiento. Las covisualizaciones que se detallarán en este trabajo mostrarán innovadoras perspectivas de análisis de estas situaciones.

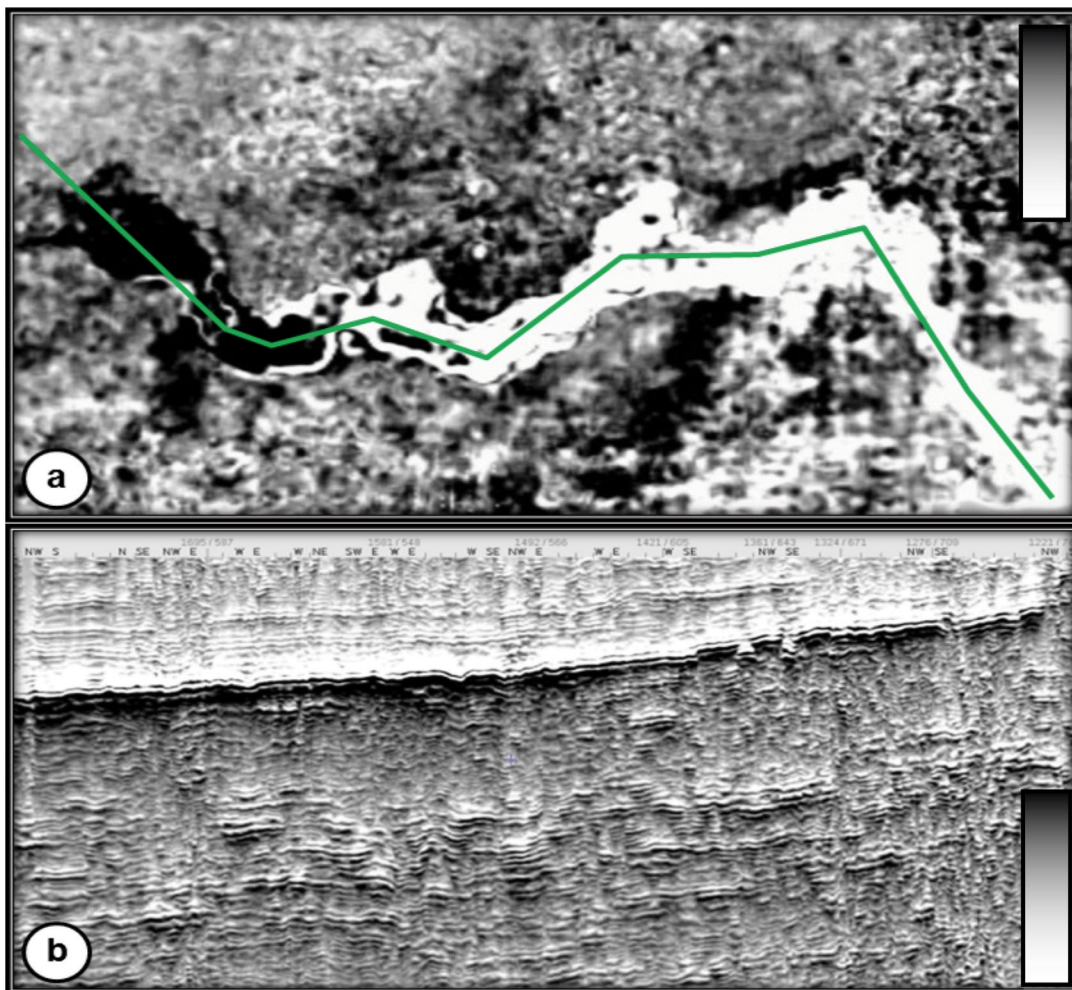


Figura 3. a) Time Slice del atributo AVThf. Puede observarse la morfología canalizada del cuerpo ígneo de la Figura 1. La línea de color verde representa la posición de las secciones sísmicas de la Figura b). b) Sección de atributo AVThf, se observa una sección a lo largo del cuerpo ígneo.

ELECCIÓN Y COVISUALIZACIÓN DE ATRIBUTOS

La selección y combinación de nuevas herramientas potencian el análisis del intérprete sísmico y los resultados adquieren consistencia luego de aplicar un flujo de trabajo sólido y eficaz.

Una mejor y más sustentable aproximación al reconocimiento y descripción de los elementos arquitecturales sísmicos, es posible lograrla a través de las covisualizaciones, las que permiten un salto cuantitativo en la comprensión del engranaje lateral de los geocuerpos y la evolución tectónica de cada situación a interpretar, muchas veces contribuyendo eficientemente a una mejor y más ajustada definición en la construcción del modelo estático y su aporte a la caracterización y simulación de reservorios.

Las herramientas que conforman el flujo de trabajo de los intérpretes sísmicos deben confluir en el logro de una definición más ajustada del modelo y deben ser parte de la búsqueda permanente de la excelencia técnica. Por lo tanto requieren no solo del conocimiento general adquirido de la zona de estudio y su contexto, sino también de criterio en la elección de los atributos que se han de aplicar y combinar durante las distintas etapas de análisis. Muchos atributos sísmicos son redundantes o de escasa relevancia y a veces confunden los resultados de la interpretación sísmica más de lo que contribuyen a ella. Una criteriosa y consistente selección permitirá trabajar con aquellos que sean contundentes y relevantes para el proyecto, Barnes (2007).

Desde el punto de vista visual, el resultado de la covisualización de los atributos seleccionados criteriosamente permite disponer de secciones sísmicas con un aspecto distinto sin perder carácter sísmico y capacidad interpretable, poniendo en evidencia un pseudo-relieve entre las litologías más resistentes y aquellas menos resistentes. Esta sensación visual fortalece el análisis y la comprensión de las relaciones geométricas laterales y verticales, entre los distintos eventos que conforman la columna geológica del subsuelo.

LA COVISUALIZACIÓN MÚLTIPLE Y SU INTERPRETACIÓN. CASOS HISTÓRICOS

En general, dado que los atributos individuales pueden ser representativos de varias condiciones del subsuelo, esta incertidumbre o unicidad se puede minimizar combinando varios atributos de una manera lógica y juiciosa, Chopra *et al.* (2004). De esta manera entonces es factible y constructivo combinar atributos criteriosamente, generando visualizaciones de múltiples atributos para lograr un impacto visual que, muchas veces, esclarece y define ciertos elementos de las geoformas favoreciendo su descripción y contexto.

Una visualización múltiple de atributos seleccionados adecuadamente produce un efecto visual y una relación sísmico-geológica que puede definir muchas veces el ensamblaje de las geometrías asociadas en el subsuelo de área de estudio. El diseño del tipo de agrupación de atributos que han de intervenir en cada combinación debe tener una relación directa con el problema a resolver y en este caso son de fundamental importancia aquellos atributos que pueden proporcionar información de las variaciones laterales de los datos sísmicos y de la situación geométrica de los límites del evento analizado.

Se presentarán a continuación tres Casos históricos que debido a su complejidad y respuesta

en el dato sísmico son ejemplos apropiados para poner de manifiesto los conceptos enunciados previamente.

Caso Histórico 1

Debido a la importante actividad de perforación que se realiza en el área de estudio, las tareas de la interpretación sísmica se ven orientadas a otorgar cada vez mayor precisión en la ubicación de nuevas locaciones para optimizar, lo mejor posible, el desarrollo de los yacimientos. En este sentido, la correcta identificación de los rasgos geológicos a investigar, juega un rol clave en la delineación de los modelos estáticos.

En la Figura 4, se puede observar la presencia del cuerpo ígneo de geometría canalizada (ya mencionado en las Figuras 2 y 3). El mismo atraviesa parcialmente, algunas zonas en franco desarrollo de hidrocarburos. Aplicando las Técnicas de Volúmenes de Amplitud y una serie de meta-atributos criteriosamente seleccionados, a partir de las características geométricas y estratigráficas del contexto geológico, fue posible identificar la sismo-forma asociada al mecanismo de emplazamiento en profundidad del cuerpo intrusivo (dique) que podría haber dado origen a dicha colada (Figura 5).

Para optimizar la visualización de la ubicación del mencionado dique se construyeron covisualizaciones de múltiples atributos, incorporando al conjunto un volumen de AVThf aplicado sobre un apilado parcial de Offset lejanos (Far Offset) y los cubos de la Fase Instantánea y Ant Tracking (con filtro estructural orientado Este-Oeste) obtenidos a partir del primero. Estos atributos permitieron visualizar y comprender la geometría del emplazamiento en toda su extensión como así la relación de este cuerpo con los reservorios productivos y las estructuras presentes en el área estudiada. Estas últimas asociadas, en algunos casos, al entrapamiento de los fluidos de interés.

En las Figuras 6 y 7, puede observarse claramente la zona alterada por la presencia del dique, la cual se ha señalado, en la primera, con líneas punteadas amarillas. Las flechas de color celeste estarían indicando la dirección de ascenso del material magmático involucrado y el punto de extrusión del mismo al tiempo de la ocurrencia. En este sentido se puede interpretar que la geometría canalizada podría tener dos posibles orígenes. Una primera aproximación podría dar cuenta de un derrame encauzado en un valle previamente labrado sobre el terreno. Por otro lado, también sería posible que dicho material presente una reología tal que le permita generar, por enfriamiento lateral, sus propios cauces, los cuales podrían estar controlados parcialmente por la paleotopografía regional.

La sección sísmica de multiatributos presentada en la Figura 8 evidencia claramente la situación subsuperficial del emplazamiento del dique en relación a las estructuras presentes. Esta sección está construida a lo largo del eje del dique. Como se observa en la sección, dicho evento se

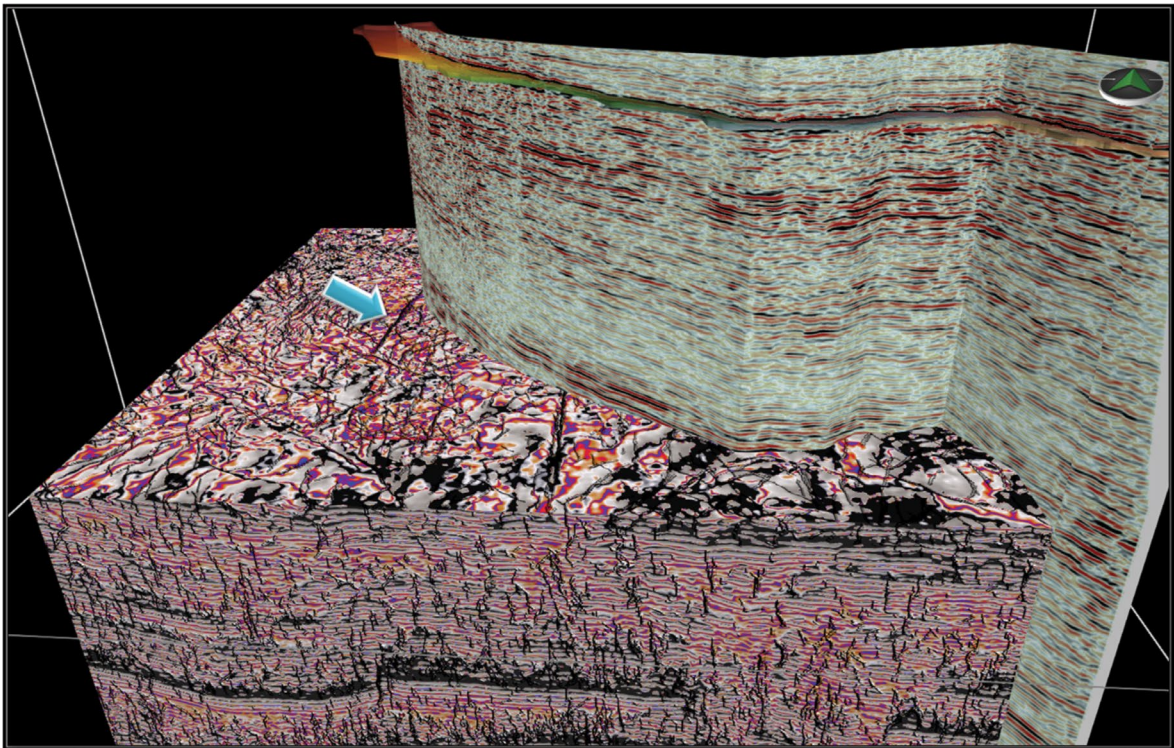


Figura 5. Covisualización 3D de la Fase Instantánea del AVThf Far Offset y del Ant Tracking del AVThf Far Offset (con aplicación de un filtro estructural orientado E-O). Puede observarse, hacia la posición de la flecha color celeste la ubicación del desarrollo areal de la traza que correspondería a la posible zona de alimentación. Se observa además, una sección de sísmica de amplitudes a lo largo de la posición de la colada y un modelo tridimensional de la geometría de la misma en la cual puede apreciarse la variación en la posición estructural dada por la paleta de colores.

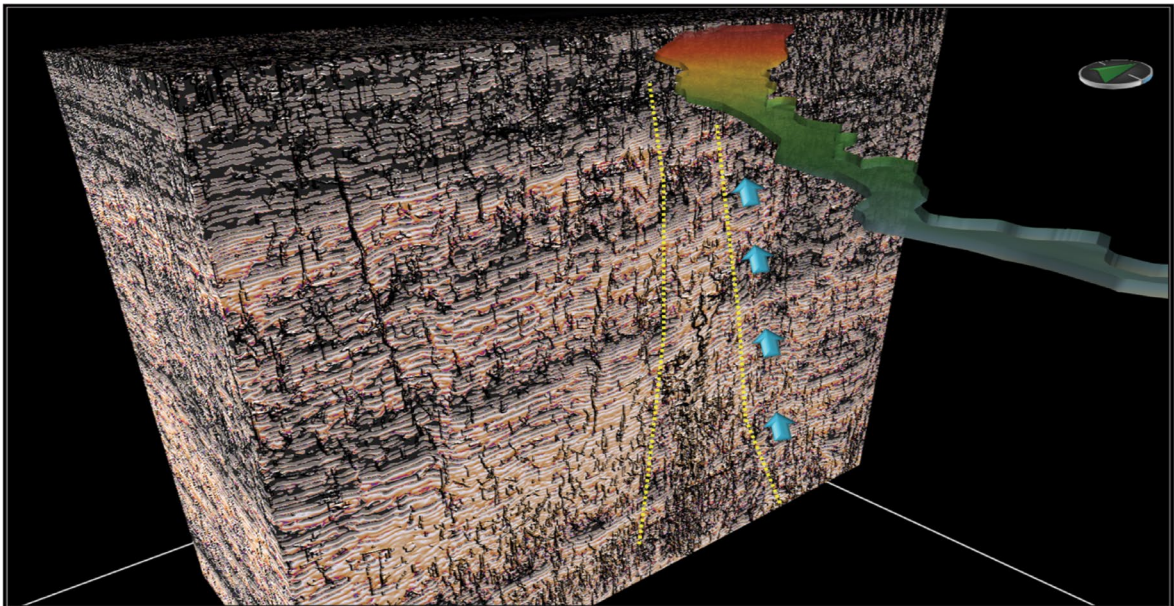


Figura 6. Covisualización 3D multiatributos de la Fase Instantánea y Ant Tracking (con aplicación de un filtro estructural orientado E-O) obtenidos a partir de un volumen de AVThf Far Offset. La riqueza visual proporcionada por esta visualización múltiple permite resaltar notablemente la posible ubicación de la zona de alimentación (indicada en línea punteada amarilla) de la colada modelada geoméricamente (porción superior de la imagen). La dirección de ascenso queda indicada con flechas de color celeste.

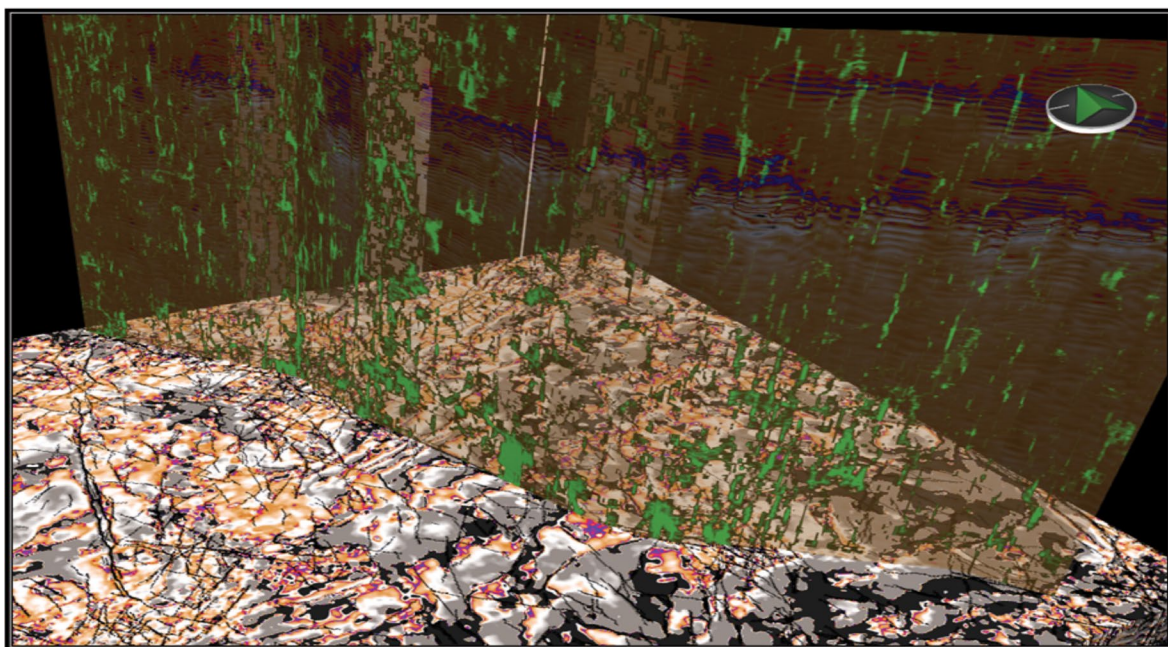


Figura 7. Covisualización multiatributo tridimensional y en sección semitransparente de la Fase Instantánea y Ant Tracking (con aplicación de un filtro estructural orientado E-O) obtenidos a partir de un volumen de AVThf Far Offset. Se puede apreciar las zonas donde mediante la presencia de mayores difracciones, se puede interpretar la mayor presencia de material intruido.

Caso Histórico 2

Uno de los aspectos a tener en cuenta al momento de la delineación de ciertos elementos geológicos de un modelo estático (por ejemplo diques) mediante la interpretación de una covisualización múltiple de atributos sísmicos consiste en la complementación de los mismos con información de producción de pozos. En el caso planteado en la Figura 9 a), puede observarse, sobre un Time Slice de Covisualización de Coherencia de AVThf y Ant Tracking de AVThf Far Offset, un pattern de dos pozos productores vecinos (W1 y W2) de un pozo inyector (I1), separados por un cuerpo intrusivo (dique) interpretado en la figura con una línea punteada de color negro. A priori, en este sector del estudio, el cuerpo ígneo no se presenta con una marcada continuidad. Lo cual indicaría que el mismo no sería un impedimento para la producción de agua inyectada desde I1 hacia W1 y W2.

Como puede interpretarse en el gráfico de la Figura 9 b), existe una falta de respuesta de producción ante la inyección de agua en el sistema. Esto se observa a partir del aumento del caudal de inyección (curva color turquesa) a partir del año 2004, indicado en el gráfico con una flecha de color naranja. A partir de dicho momento, las curvas azul y verde (caudales de producción de líquido total y petróleo, respectivamente), no se observan afectadas por dicho aumento de caudal. Si bien, cabe aclarar que pueden observarse algunas variaciones de estas dos

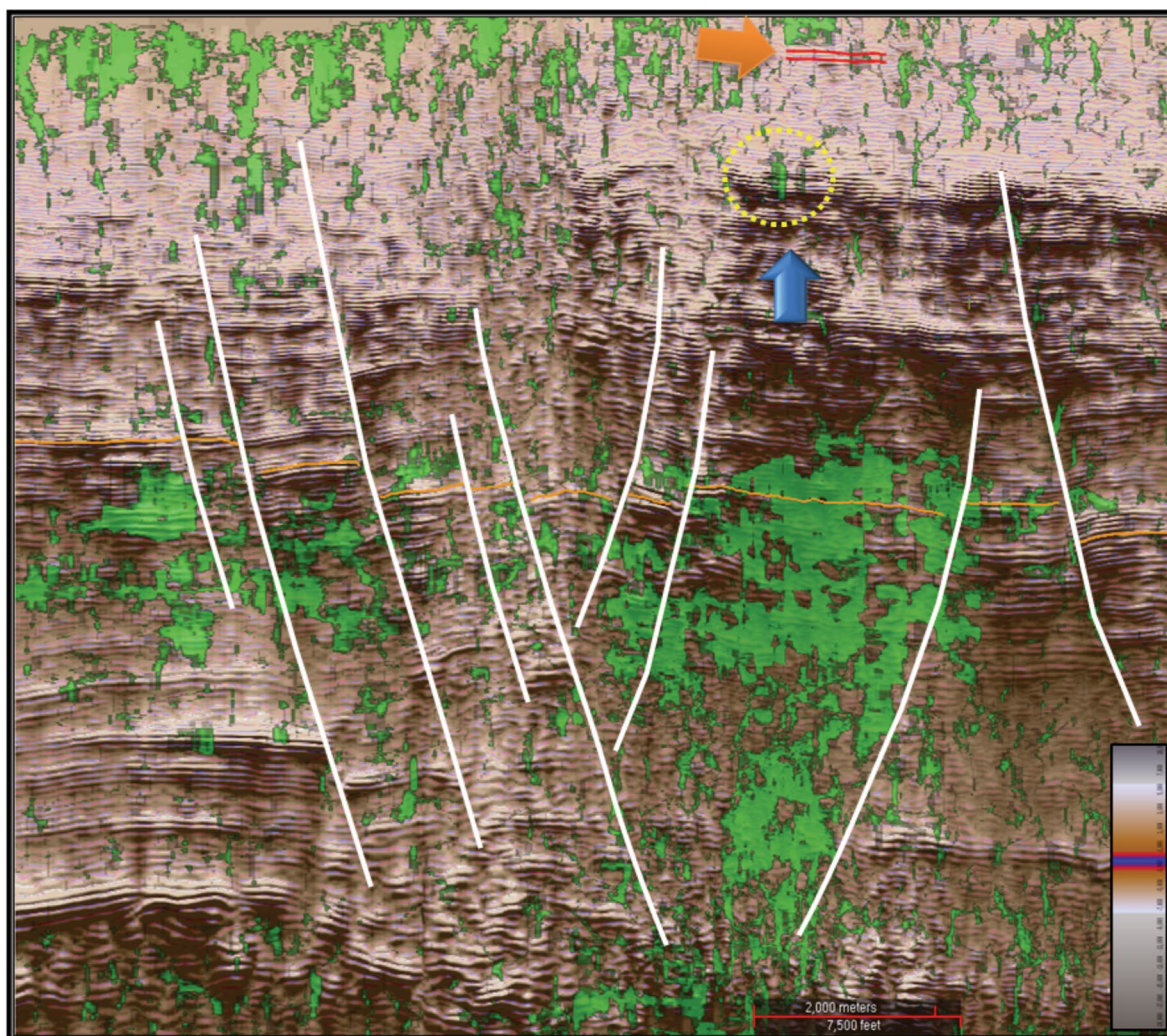


Figura 8. Sección sísmica covisualizada de la Fase Instantánea y Ant Tracking (con aplicación de un filtro estructural orientado E-O) obtenidos a partir de un volumen de AVThf Far Offset. A partir de la misma puede interpretarse el desarrollo vertical del emplazamiento del dique que originó la colada previamente mencionada (horizontes de color rojo, su posición en la vertical está indicada con una flecha naranja). El horizonte de color naranja ubicado en el sector medio de la imagen corresponde a un marker cercano al tope de la Fm. Comodoro Rivadavia. Las líneas de color blanco indican la interpretación de las fallas principales de la zona. La flecha de color azul indica la ubicación y dirección de la zona de ascenso del material ígneo hacia la superficie al momento de extruir. Dentro del círculo punteado de color amarillo puede observarse un rasgo sísmico con geometría sub vertical interpretada como la zona de ascenso final del magma vinculado al cuerpo antes mencionado. Puede interpretarse que, en la zona ubicada hacia la derecha de la imagen existiría una zona de mayor concentración de material intruido, razón por la cual esta sería la zona de generación de la colada paleosuperficial, Vernengo *et al.* (2017b).

últimas, las mismas corresponden a algunos trabajos realizados sobre los pozos (reparaciones y adecuaciones). En el caso de la curva amarilla (WOR) pueden observarse algunas tendencias asociadas a la declinación de producción propia de pozos sin la asistencia de recuperación secundaria.

Por último, en la Figura 9 c) puede observarse como la Covisualización de la Fase Instantánea del AVThf Far Offset (colores rojizos a azulados) y Ant Tracking del AVThf Far Offset con la aplicación de un filtro estructural orientado E-O (colores verdes brillantes),

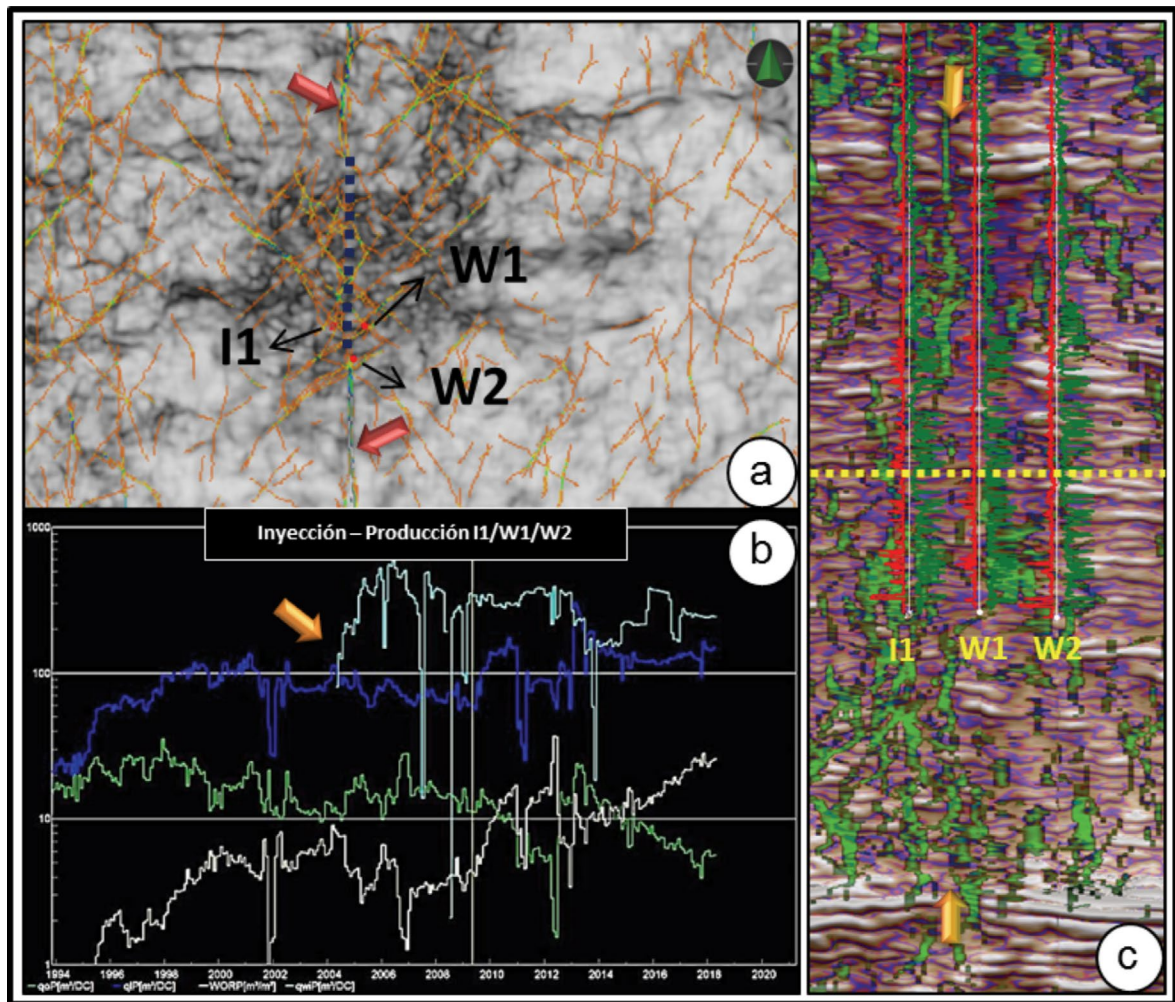


Figura 9. a) Time Slice de Covisualización de Coherencia del AVThf y Ant Tracking del AVThf Far Offset con aplicación de un filtro estructural orientado E-O. Se observa, con puntos de color rojo, la ubicación de un pattern de pozos productores (W1 y W2) e inyector (I1) separados por un cuerpo intrusivo (dique) interpretado en línea punteada negra, en el sector con menor definición. Las flechas rojas indican un sector donde los atributos responden mejor a la presencia del intrusivo. b) Curvas de producción vs. Tiempo del conjunto de tres pozos mencionados. La curva color turquesa representa el caudal de inyección, la flecha naranja indica el inicio de la inyección para I1. La curva color azul representa la producción de líquidos (agua y petróleo sumados). La curva color verde representa la producción de petróleo. La curva amarilla representa la tasa de producción de agua sobre la producción de petróleo (WOR) (Para el análisis de los gráficos, ver texto). c) Sección sísmica de Covisualización de Fase Instantánea del AVThf Far Offset y Ant Tracking del AVThf Far Offset con la aplicación de un filtro estructural orientado E-O, se destaca la posición de I1, W1 y W2 en la vertical. La línea punteada amarilla corresponde a la posición del Time Slice de la Figura 3 a). Entre las flechas de color anaranjado puede observarse el desarrollo vertical del mismo.

permite una clara delineación del rasgo geológico que, de no contar con la misma, se presenta con baja resolución sísmica. Entre las flechas de color anaranjado, se puede observar el desarrollo vertical del mismo, el cual se observa con muy buena definición en la zona superior e inferior. En la zona media, dicho desarrollo no es tan evidente como en las dos secciones recién mencionadas pero es posible continuarse para conectarlas.

UN EJEMPLO EN LA FORMACIÓN SARMIENTO

Si bien la Formación Sarmiento no es una zona actualmente conocida por su producción de hidrocarburos, el siguiente ejemplo es una muestra del poder visual de la metodología presentada en este trabajo. A los fines interpretativos, este ejemplo es de suma utilidad para la aplicación de los métodos de reconocimiento de algunos rasgos geológicos de carácter regional, Ré *et al.* (2010).

Como puede observarse en la Figura 10, en otro sector del Flanco Norte de la Cuenca, puede observarse la presencia de un cuerpo canalizado de rumbo aproximado Norte-Sur. A partir de su interpretación, se puede destacar que el mismo presenta una extensión de más de 50 kilómetros y un ancho de canal de más de 4 kilómetros.

La Figura 11 presenta una visualización tridimensional tanto del modelo geométrico realizado sobre el cuerpo extruido como una sección y un volumen de sísmica de amplitudes. Además se observa el desarrollo de una sección arbitraria construida a lo largo del eje del cuerpo intrusivo canalizado. En esta figura se destaca, en primera medida, el carácter sísmico de alta amplitud del cuerpo, indicado mediante una flecha de color celeste.

Por otra parte, se observa mediante la indicación de flechas de color verde, la relación del cuerpo intrusivo emplazado en profundidad con una estructura regional de gran porte, el Anticlinal Meseta Catorce. Los reflectores positivos y negativos se orientan acompañando la estructura del anticlinal mencionado previamente, sobre la cara superior del cubo sísmico que se ilustra en la figura. Puede interpretarse a partir de la variación de la posición estructural del cuerpo cierta sincronía con el plegamiento (colores más cálidos apuntando hacia el pliegue, indicando un aumento de la posición estructural). A partir de lo mencionado puede interpretarse que, al momento de la formación de la colada canalizada, la estructura podía existir, pero la misma no se presentaba como un obstáculo para el movimiento del material ígneo, es decir, que la estructura puede haber sufrido más de un pulso de elevación.

La visualización presentada en la Figura 12 muestra el modelo del cuerpo ígneo canalizado y su posición espacial relativa respecto del cubo de atributo AVThf. Sobre el mismo se ve un efecto de “sombra” del evento ígneo, que está evidenciando el impacto sobre los datos que genera el mismo. Se destaca en este caso la mejora en cuanto al reconocimiento de los eventos que ofrece el cubo de AVThf respecto del volumen de amplitudes sísmicas.

En la Figura 13 se presenta una covisualización construida en una Sección arbitraria del atributo AVThf conjuntamente con los datos de un volumen de Reflection Strength calculado sobre las amplitudes. Se destaca con una flecha de color rojo la posición en la columna estratigráfica del rasgo sísmico de alta amplitud interpretado como una colada. La sección ha sido extraída y conformada a lo largo del eje del evento ígneo. La riqueza visual de esta presentación compuesta de atributos destaca claramente el emplazamiento y desarrollo del cuerpo acompañando la paleotopografía al momento de la extrusión. En este caso no se han reconocido las zonas de

alimentación o feeders, probablemente porque la extensión de este cuerpo excede los límites de los datos sísmicos disponibles.

La Figura 14 muestra sendas fotografías aéreas de los derrames de lava recientemente producidos en Hawái, EEUU, por el volcán Kilauea. Estas imágenes muestran claramente la forma que va adquiriendo el derrame superficial y pueden verse las fisuras por donde asciende el magma. Obviamente que las formas que va tomando el derrame depende de entre otras cosas, de las características de la superficie topográfica, de los obstáculos, de la reología del magma extruido, de la temperatura de la extrusión y otras variables asociadas a este evento. Se han presentado estas imágenes a los efectos de brindar una visión realista y actual de estos fenómenos y poder así realizar una analogía (aunque pueda ser parcial) de los eventos descritos en este trabajo.

Finalmente se presenta en la Figura 15 una composición de un Time Slice de un volumen de amplitudes y una imagen satelital de la zona de los yacimientos. Se puede interpretar, a partir del rasgo reconocido en el dato sísmico, y el hallazgo de cuerpos ígneos aflorantes (hacia la parte superior de la figura), la posible continuidad (mostrada con líneas de trazos color celeste) más allá de la cobertura de la información sísmica 3D. Esta composición ilustra la impactante dimensión regional que adquiere este evento estudiado.

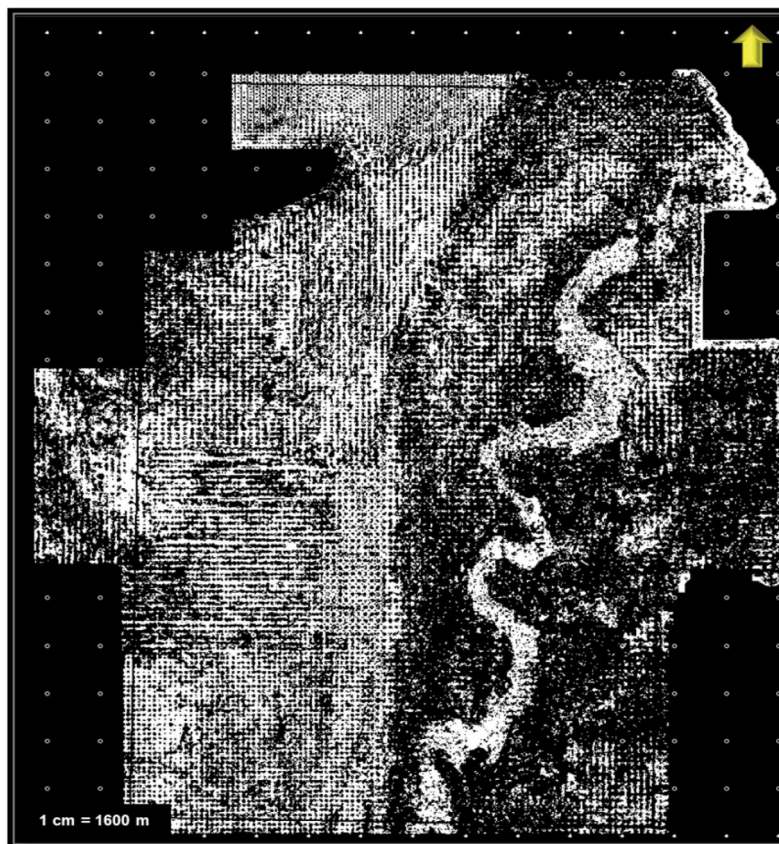


Figura 10. Time Slice de sísmica de amplitud. Se observa a la derecha de la figura la presencia de un cuerpo ígneo emplazado en profundidad con geometría canalizada desarrollado en la dirección Norte-Sur. La extensión longitudinal del mismo es cercana a los 50 kilómetros.

Este ejemplo se ha presentado porque aunque no se encuentra directamente relacionado con zonas de reservorios productivos al momento, su envergadura, geometría e impacto en los datos sísmicos, proveen de una riqueza visual muy importante al momento de analizarlo con los atributos y metodologías propuestas en este trabajo. Estas técnicas de visualización y la selección de atributos apropiados a la problemática geométrica y específica para el reconocimiento e interpretación de geoformas ha mostrado en este ejemplo una potencialidad que enriquece el flujo de trabajo del intérprete sísmico.

Las Covisualizaciones múltiples resultan ser una herramienta valiosa y eficaz al momento de evaluar las alternativas de las acciones a seguir en la estrategia de la toma de decisiones, como así también se refuerza la posibilidad de poner en evidencia rasgos que de otra manera hubieran quedado encubiertos o se hubieran manifestado con mucha menor relevancia a los efectos de su análisis e interpretación.

A partir de la identificación de las ventanas de trabajo apropiadas y sus correspondientes sub-volumenes, como así también los cálculos e interpretación de los atributos debidamente seleccionados, es posible diagramar una secuencia de análisis eficaz y amigable en cada una de las etapas. El reconocimiento de morfologías particulares, se optimiza con una progresión de análisis sistemático, con lo que la obtención de imágenes más completas contribuye al desarrollo de yacimientos y al análisis de zonas exploratorias. Son un soporte de importancia al momento de decidir futuras locaciones de pozos.

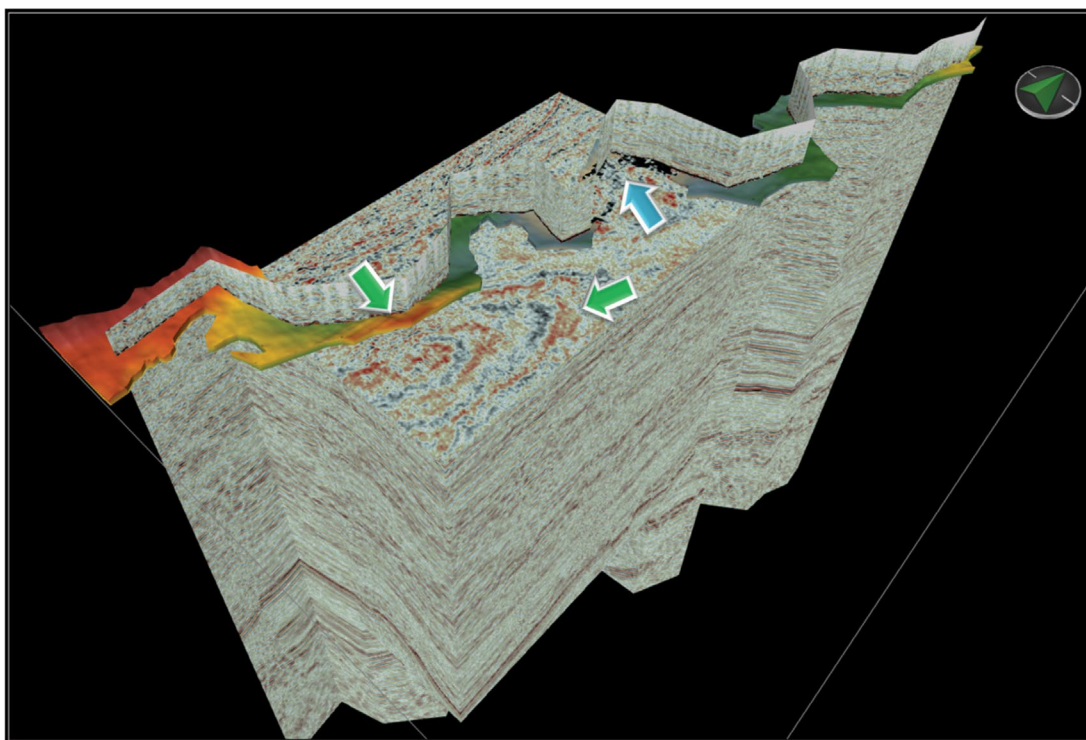


Figura 11. Visualización tridimensional de un volumen y una sección sísmica de amplitudes. Se observa además un modelo de la colada con geometría canalizada. La flecha color celeste indica el carácter sísmico del cuerpo previamente mencionado. Además, las flechas de color verde, indican la relación del cuerpo con la estructura regional, Anticlinal de Meseta Catorce (Los reflectores positivos y negativos se orientan acompañando la estructura del anticlinal mencionado previamente).

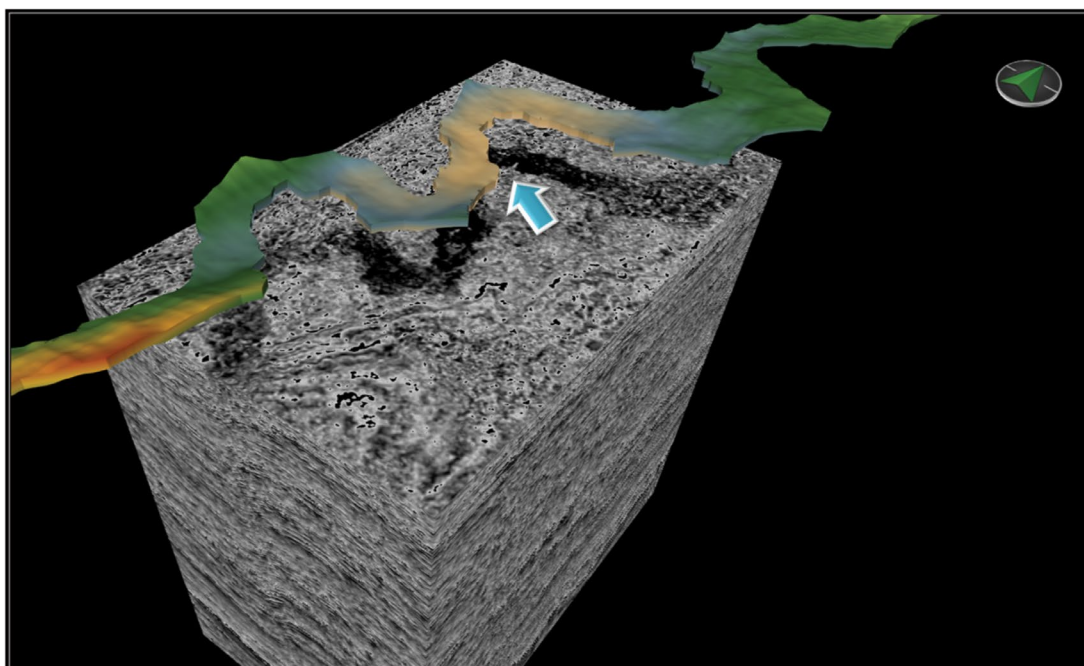


Figura 12. Visualización tridimensional de un volumen de AVThf y un modelo de la colada basáltica. La flecha de color celeste indica el carácter sísmico de la misma. Puede destacarse la mejora que existe entre el volumen de AVThf respecto de la sísmica de amplitudes convencional. El efecto de “sombra” sobre el cubo está asociado a la rúbrica del cuerpo intrusivo sobre los datos.

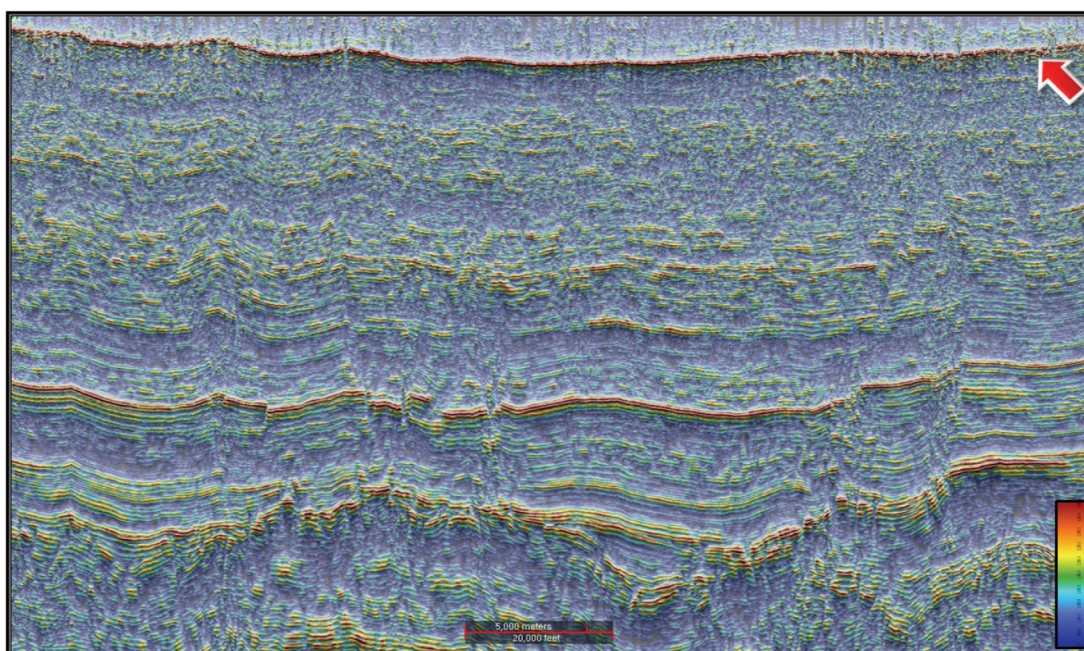


Figura 13. Sección sísmica covisualizada del atributo AVThf y un volumen de Reflection Strength calculado sobre un volumen de amplitudes. Se destaca con una flecha de color rojo la posición en la columna estratigráfica del rasgo sísmico de alta amplitud interpretado como una colada.



Figura 14. Fotografías aéreas de la última colada basáltica del Volcán Kilauea (Hawái, EEUU), Mayo de 2018. a) Puede observarse una vista general con el evento extruyéndose desde una fisura superficial y generando una morfología canalizada. b) Detalle de la fisura previamente mencionada. c) Detalle de la morfología canalizada de las coladas.

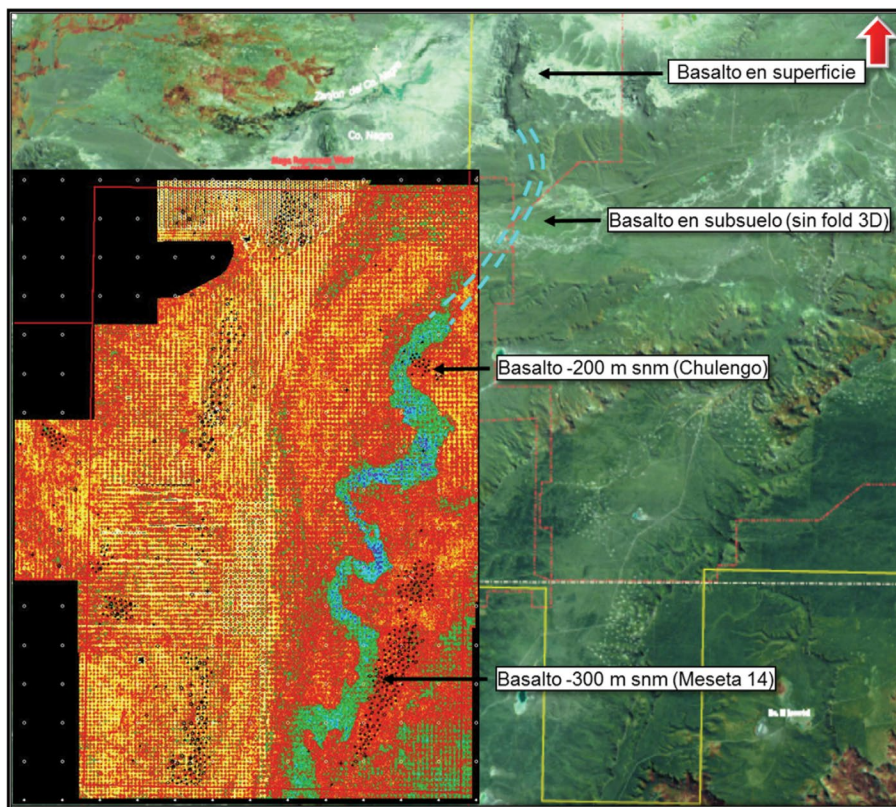


Figura 15. Composición de un Time Slice de un volumen de amplitudes y una imagen satelital de la zona de los yacimientos. Se puede interpretar, a partir del hallazgo de cuerpos ígneos aflorantes, la continuidad hacia el norte de los eventos magmáticos más allá de la cobertura de la información sísmica 3D.

CONCLUSIONES

La combinación estratégica de atributos y procesos especiales, es una poderosa herramienta de análisis que debe incorporarse al flujo de trabajo del intérprete sísmico. La discriminación y el reconocimiento de las geometrías de las unidades estratigráficas que conforman la arquitectura del subsuelo y las variaciones intermedias entre ellas, supera la limitación que para este fin presenta el análisis clásico.

A partir de la identificación de las ventanas de trabajo apropiadas y sus correspondientes sub-volúmenes, como así también los cálculos e interpretación de los atributos debidamente seleccionados, es posible diagramar una secuencia de análisis eficaz y amigable en cada una de las etapas. El reconocimiento de morfologías particulares, se optimiza con una progresión de análisis sistemático, con lo que la obtención de imágenes más completas contribuye al desarrollo de yacimientos y al análisis de zonas exploratorias. Son un soporte de importancia al momento de complementar modelos existentes y decidir futuras locaciones de pozos.

Los ejemplos que se han descrito en este trabajo han puesto en evidencia el potencial visual e interpretativo que puede obtenerse seleccionando una criteriosa combinación de atributos previamente analizados en forma individual. Si bien se han detallado casos vinculados a determinados eventos intrusivos, sus características y mecanismos asociados, la metodología de trabajo presentada es aplicable a cualquier tipo de configuraciones y geoformas que puedan adquirir los datos sísmicos. De esta forma es posible potenciar y enriquecer la comprensión de sus características e integrar estas rutinas de análisis al flujo de interpretación sísmica y su contribución a la construcción del modelo estático del subsuelo.

AGRADECIMIENTOS

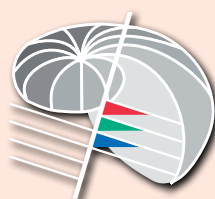
Los Autores agradecen a Pan American Energy LLC por haber autorizado la publicación de los ejemplos mostrados en este trabajo. A Alejandro Milano y Raúl Czeplowodzki por su contribución técnica.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|--|
| Barnes, A., 2006, Too many seismic attributes?, CSEG, Recorder, Canadian Society of Exploration Geophysicists, pp. 41-45, March 2006. | Bitschene, P. R., R. E. Giacosa y M.J. Márquez, 1991, Geologic and mineralogic aspects of the Sarmiento Alkaline Province in Central Eastern Patagonia, Argentina, 7° Congreso Geológico Chileno, Resúmenes expandidos: págs. 238-331. |
| Barnes, A., 2007, Redundant and useless seismic attributes, Geophysics, Vol. 72, N° 3, 10.1190/1.2716717, pp. 33-78, May - June 2007. | |

- Boutte, D., 2007, Through the continuous life cycle of reservoir, geophysics makes its marks. The Leading Edge, SEG, Society of Exploration Geophysicists, pp. 1376-379, Noviembre 2007.
- Chelotti L. A, Vietto M.E., Calegari R.J. y Bitschene P.R., 1996, Emplazamiento de cuerpos subvolcánicos de composición básica alcalina en el área Romberg-Wenceslao, Cuenca Golfo San Jorge, Argentina. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: págs. 581-59, Buenos Aires.
- Chopra S., Singleton, S., Hall, G., Nickerson, R. & Carlson, D., 2004, Integrated Reservoir Characterization - A successful interdisciplinary working model, CSEG National Convention, May 10 to 13, 2004, pp. 1-6.
- Ferello, R., 1969, Intento de sistematización geocronológica de la rocas eruptivas básicas en sectores del Chubut y Santa Cruz Norte. IV Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: págs. 293-310.
- Fígari, E., Strelkov, E.E., Laffitte, G., Cid de la Paz, M., Courtade, S., Celaya, J., Vottero, A., Lafourcade, P., Martínez, R. y Villar, H., 1999, Los sistemas petroleros de la Cuenca del Golfo San Jorge: Síntesis estructural, estratigráfica y geoquímica. 4º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos: págs.197-237, Buenos Aires, 1999.
- Fitzgerald, M.G., Mitchum, R.M., Uliana, M.A. y Biddele, K.T., 1990, Evolution of the San Jorge Basin, Argentina. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists 74: págs. 879-920.
- Linares, E. y González, R., 1990, Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina, 1957-1987, Publicaciones Especiales de la Asociación Geológica Argentina. Serie B, Didáctica y Complementaria, 19: págs. 1-628, Buenos Aires.
- Paredes J., Plazibat S., Crovetto C., Stein J., Cayo E., 2013, Fault kinematics and depocenter evolution of oil-bearing, continental successions of the Mina El Carmen Formation (Albian) in the Golfo San Jorge basin, Argentina. Journal of South American Earth Sciences N° 46: págs. 63-79.
- Plazibat, S. y Coluccia, A., 2014, Relaciones Estratigráficas de los Cuerpos Ígneos terciarios, Área Cerro Dragón, Cuenca Golfo San Jorge, IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Abstracts Extendidos, págs. 111-117.
- Ré, G., Bellosi, E., Heisler, M., Vilas, J.F., Madden, R., Carlini, A., Kay, R. and Guioamar Vucetich, M., 2010, A geochronology for the Sarmiento Formation at Gran Barranca, The Paleontology of Gran Barranca: Evolution and Environmental change through Middle Cenozoic of Patagonia, Cambridge University Press, 4, pp. 46-54, 2010.
- Sylwan, C., Droeven, C., Iñigo, J., Mussel, F. y Padva, D., 2011, Cuenca del Golfo San Jorge. 8º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Cuencas Argentinas: visión actual, Actas electrónicas, 46 p., Buenos Aires.
- Vernengo, L. and Trincherro, E., 2016, Nuevas aplicaciones de las Técnicas de Volumen de Amplitudes (AVT) en la interpretación sísmica estructural y estratigráfica, Revista Geociencias Aplicadas Latinoamericanas, EAGE, European Association of Geoscientists and Engineers, Vol. 3, N° 2, pp. 1-18, Diciembre de 2016.
- Vernengo, L., Trincherro, E., García Torrejón, M. and Rovira, I., 2017a, Amplitude volume technique attributes and multidimensional seismic interpretation, Revista The Leading Edge, SEG, Society of Exploration Geophysicists, pp. 308-313.

- Vernengo, L., Trinchero, E., García Torrejón, M. and
Rovira, I., 2017b, Attributes at your Fingertips,
AAPG, Explorer, Geophysical Corner, American
Association of Petroleum Geologists, págs. 22-
26.
- Vietto, M.E., 2000, Informe petrográfico de muestras
de rocas volcánicas y subvolcánicas del área de
la hoja geológica «Escalante». Universidad Na-
cional de la Patagonia San Juan Bosco. Informe
interno: págs. 1-20, Comodoro Rivadavia.



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018