



# Litología y TOC precisos obtenidos con una herramienta de espectroscopía de rayos gamma inducidos: dos grandes desafíos en reservorios de *shale*

Por **Laurent Mosse, Schlumberger, Luz Mery Rodríguez**, (TOTAL Austral)

**Enrique Chiapello, Laurent Lambert, Jean-Pierre Leduc**, (TOTAL Austral, Total E&P- France)

**Eric Decoster, Jim Grau, Jack Horkowitz**, (Schlumberger)

*Este trabajo ha sido galardonado con el 1º Premio del Simposio de Evaluación de Formaciones del IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mendoza, 2014).*

Entre los desafíos petrofísicos encontrados en Vaca Muerta, la determinación de una litología exacta, y la estimación de un COT (TOC, por su sigla en inglés), carbono orgánico total, son temas importantes. Para abordar estos desafíos, TOTAL Austral decidió probar una herramienta de espectroscopía de rayos gamma inducidos en diferentes bloques de la formación Vaca Muerta, para comparar los resultados de los registros con las mediciones del núcleo.

La herramienta usa una nueva generación de generadores de neutrones pulsados (PNG, por su sigla en inglés), que permite la medición simultánea de espectros inelásticos y

de captura. Este generador trabaja con un nuevo detector, que brinda espectros inelásticos y de captura muy exactos y precisos. La estimación cuantitativa de los elementos, tradicionalmente difícil de cuantificar, tal es el caso del Magnesio, Manganeseo, Potasio y Sodio, se logra fácilmente con esta tecnología. El espectro inelástico contiene un aporte total de carbono, que se convierte a una fracción en peso de carbono orgánico total restando el aporte de carbono inorgánico. Las técnicas de interpretación avanzadas junto con el conocimiento previo de las características de la formación se usan para construir un modelo litológico confiable a partir de las fracciones en peso del elemento, a fin de estimar con exactitud el carbono inorgánico y derivar el TOC.

Se extrajo un total de 82 muestras (*plugs*) de los núcleos. Se realizó una cuidadosa selección de ellas a través de la imagen de un tomógrafo computadorizado (TC), para incluir litología representativa, un tema importante cuando se está manejando una alta heterogeneidad vertical. Las mediciones realizadas fueron concentraciones elementales (XRF), mineralogía (XRD) y COT (analizador LECO). Asimismo, se incorporaron a este estudio muestras de recortes de perforación. Se analizaron alrededor de 600 metros de un intervalo. Las fracciones en peso seco de los principales elementos fueron medidas para comparar cómo se detectan los cambios mineralógicos en una gran sección del pozo mientras se toma en cuenta la resolución vertical de cada medición.

Las distintas definiciones del COT, que se originan a partir de una variedad de mediciones que estiman el COT, con frecuencia conducen a malas interpretaciones y confusiones. Para una mayor claridad, se revisarán las diferentes definiciones y mediciones asociadas. Seguidamente, se hará una comparación de las mediciones de núcleo (*core*) y registros (*log*). Se observa una correspondencia excelente entre el núcleo y los registros, ya sea para la fracción en peso elemental o para las mediciones del COT. Esta observación abre la puerta a discusiones sobre las ventajas respectivas de los diferentes modelos de interpretación litológica en un ambiente tan complejo.

## El dispositivo de espectroscopía avanzada

La nueva herramienta de espectroscopía se llama *Litho Scanner\**. Las estimaciones exactas de pesos secos elementales y Carbono Orgánico Total (COT) son posibles gracias a dos avances tecnológicos fundamentales: un nuevo generador de neutrones pulsados y un particular detector de espectroscopía de bromuro de lantano ( $\text{LaBr}_3$ ), con activador de cerio (Ce). Las ventajas respectivas del generador y del detector ya han sido descritas en la bibliografía (Radtke, R. J. *et al.*, 2012). Las principales ventajas del detector son una resolución espectral mejorada permitiendo una precisión inigualable en rendimientos elementales y *performance* a altas temperaturas. La rigurosa capacidad de pulsación del generador permite una adquisición espectral durante un intervalo de tiempo. Esto significa que se registran diferentes espectros durante distintas ventanas de tiempo, desde la ráfaga de neutrones hasta el momento donde solo se graba el “ruido” de fondo. Estos espectros diferentes luego se combinan para separar los espectros inelástico neto y

de captura neto, que contienen la información pertinente para el análisis elemental. Se analiza brevemente cómo se extrae esta información con el objetivo de evaluar cada paso del proceso para exactitud y precisión en las condiciones del reservorio Vaca Muerta.

El primer paso del proceso se denomina *spectral stripping*, y consiste en la descomposición separada del espectro inelástico neto del espectro de captura neta para derivar los aportes elementales individuales. Estos aportes se denominan rendimientos relativos y se normalizan para la unidad de cada espectro. Un rendimiento depende del acontecimiento de un evento asociado a un elemento en el medio que circunda la herramienta y de la probabilidad de interacción inelástica o de captura y en la eficacia de la detección para este elemento. La suma de ambos factores se denomina sensibilidad (*S*) y es una función del diseño de la herramienta. Los rendimientos del espectro inelástico y del espectro de captura no son iguales: no solo las sensibilidades elementales son diferentes, sino que también algunos elementos pueden contribuir con un espectro, y no contribuir con el otro debido a una sensibilidad baja de la interacción de neutrones específica. Por ejemplo, el titanio solo contribuye significativamente con el espectro de captura y el carbono solo con el espectro inelástico.

El segundo paso del proceso pretende corregir los rendimientos relativos de captura de los elementos desde la vecindad del pozo (*borehole*). De hecho, solo los elementos de la matriz de la formación son de interés aquí. Los pozos mencionados en este documento fueron perforados con lodo a base de agua de alta densidad que contiene cantidades importantes pero variables de agentes densificantes del lodo de perforación. Normalmente, el sulfato de bario (barita) y el sulfato de estroncio (celestita) son los dos agentes densificantes encontrados en estos lodos, y sus respectivas proporciones pueden variar entre “sin barita” hasta “sin celestita”. Se estima el azufre asociado que es restado del azufre total medido para obtener el azufre corregido del pozo. La consistencia de la concentración de azufre estimada de la formación entre diferentes pozos del mismo campo, pero perforados con lodo de diferentes propiedades, es una comprobación firme de la exactitud del proceso de corrección de azufre del pozo perforado. Esta consistencia se muestra en la figura 1, junto con los rendimientos de estroncio y bario respectivos para cuatro (4) pozos de la misma región. Los registros han sido ajustados en profundidad, aproximadamente, en el gráfico secundario a la izquierda.

El tercer paso del proceso transforma el rendimiento relativo de captura (*CY<sub>i</sub>*) en fracciones *preliminares* en peso seco de elementos de la matriz. Esta transformación depende de un modelo de cierre que asigna el peso del óxido y de los elementos asociados no medidos al Al, Ca, Fe, Si, K, Mg, Mn, Na, Ti y S medidos (Grau *et al.*, 1989). Se supone que este conjunto de elementos y asociaciones conforman una representación completa de la formación. Por ejemplo, el factor de peso asociado al silicio corresponde a  $\text{SiO}_2$ , es decir, 2,139, mientras que el factor de peso asociado al calcio corresponde a  $\text{CaCO}_3$ , es decir, 2,497. En este modelo, todo el calcio está asociado al carbonato de calcio: la anortita o la apatita no se consideran. Tal como se muestra a continuación, con la excepción de las rocas ígneas y volcánicas intrusivas y extrusivas, esto es

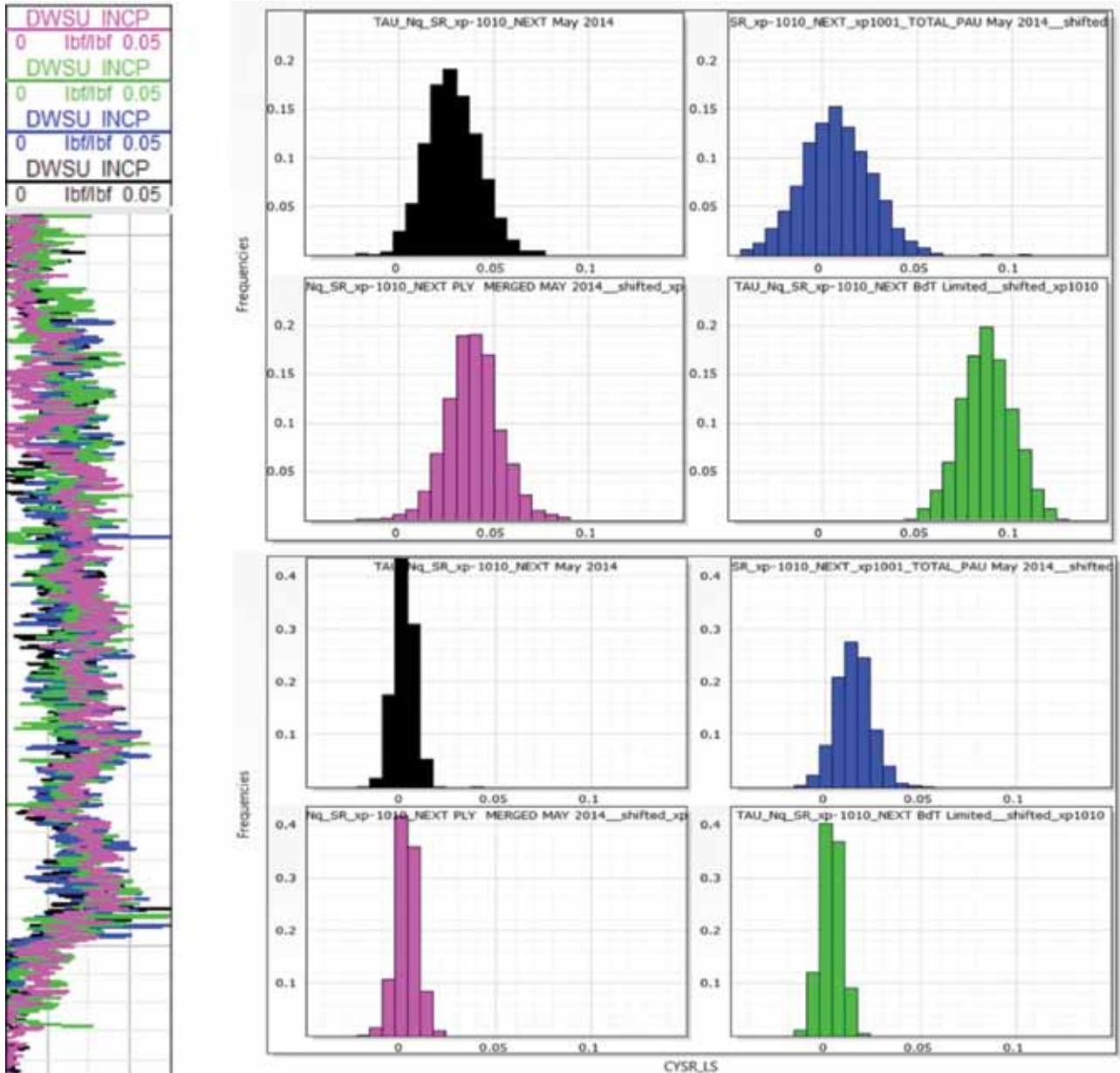


Figura 1. Comparación de rendimientos de estroncio y bario para cuatro (4) pozos. El peso seco del azufre después de la corrección del pozo se ajusta en profundidad y se muestra en el carril de profundidad (*depth track*) a la izquierda.

un supuesto razonable. El estado del azufre es especial, ya que puede estar presente como sulfuro en la piritita o como sulfato en la anhidrita o incorporado a la materia orgánica (Vandenbroucke y Largeau, 2007). La anhidrita puede encontrarse en Vaca Muerta como capas delgadas, pero la mayor fuente de azufre se presenta como piritita combinada con hierro, o incorporada dentro de materia orgánica. Por este motivo, el azufre está incluido en el modelo de cierre como sulfuro, y este supuesto se verifica posteriormente ante una posible presencia de anhidrita no conforme. El peso obtenido de la suma total del cierre,  $W_o$ , representa el peso de normalización para los rendimientos. Esto se puede observar claramente en la ecuación 1:

$$W_o = \sum \frac{CY_i}{S_i} \quad \text{eq (1)}$$

Donde,  $S_i$  es la sensibilidad de la medición analizada anteriormente, e  $i$  simboliza cada elemento enumerado en el párrafo anterior. En la bibliografía, la inversa de  $W_o$  se denomina factor  $FY2W$ , que significa "Desde el Rendimiento hasta el Peso". Tenemos  $FY2W=1/W_o$ . Finalmente, los pesos secos de captura *preliminares* (se explica este atributo en el párrafo siguiente) se obtienen a través de la ecuación 2:

$$DW_i = FY2W \frac{CY_i}{S_i} \quad \text{eq (2)}$$

Hasta este momento, solo se han usado los rendimientos de captura. Pero cuando la sensibilidad de la medición del Ca y del Si son comparables entre el espectro de captura y el inelástico, la sensibilidad del Mg es muy alta en el espectro inelástico. Esto resulta en un Mg inelástico más exacto que el Mg de captura y debe preferirse para generar

# Nuevo Sistema de MPD Automatizado Microflux™

## Redefiniendo la perforación en Argentina.

Desde perforar en una ventana de presión de poro estrecha hasta evitar riesgos de surgencia y pegamiento, la tecnología de perforación con presión controlada de Weatherford ofrece confianza en escenarios donde las técnicas convencionales suelen fallar.

Nuestro circuito cerrado con sistema Microflux monitorea y controla automáticamente influjos y pérdidas con una precisión incomparable, optimizando la eficiencia y reduciendo costos operativos.

los pesos secos elementales finales. La combinación de rendimientos inelástico y de captura se logra mediante la creación de un factor *FY2W* inelástico eficaz (*FY2W\_INEL*) para los rendimientos inelásticos, usando los 3 elementos importantes y comunes, Si, Ca y Mg, tanto del espectro inelástico como del espectro de captura. El peso seco del magnesio del inelástico es el peso seco del Mg final, y todo otro peso seco se modifica en consecuencia. Los pesos secos finales resultantes se etiquetan como INCP, sigla que significa "captura-inelástica".

El supuesto de que la lista de los diez (10) óxidos mencionados anteriormente representa una base completa para la formación puede verificarse con las mediciones de XRF (fluorescencia de rayos X). El único elemento evidente de la lista que falta es el Fósforo, que puede estar presente si la apatita estuviese presente. La medición XRF en el pozo 1 y pozo 2 proporciona la fracción en peso del óxido de fósforo ilustrada en la figura 2. En promedio, representa un porcentaje de peso del 0,4. Lo que significa que la suma de las fracciones elementales en peso seco del *Litho Scanner* probablemente será sobrestimada en aproximadamente un 0,4%.

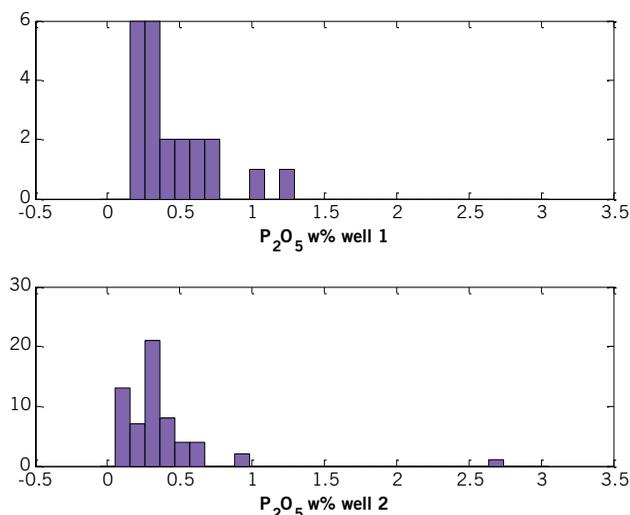


Figura 2. Distribución de las fracciones de peso del óxido de fósforo en los pozos 1 y 2 a partir de las mediciones de fluorescencia de rayos X (XRF).

La fluorescencia de rayos X también informa rastros de óxidos de bario y de estroncio; sin embargo, lo más probable es que estos provengan de la contaminación del lodo, no del cemento de bario en la formación.

El análisis de los conteos absolutos del espectro junto con la propagación incierta a través del proceso de *stripping* y cierre permite estimar la precisión en pesos secos elementales. Esta precisión depende de la velocidad de registro. La herramienta se operó a 900 pies/h aproximadamente, para los pozos 1 y 2 en un pozo de 6 1/8" y 8,5 pulgadas, con un lodo de una salinidad de 20 ppk (NaCl). Los espectros se apilan en 3 niveles contiguos de muestras de 6 pulgadas, y luego los rendimientos se filtran en un nivel variable tal como lo indica la Tabla 1. Valores de precisión promedio para los pesos secos de 10 elementos principales, que también se informan en la Tabla 1. Además de los 10 elementos usados en el cierre, se hace el *stripping* de fósforo y nitrógeno. Pero como se puede observar, la

|                   | Ca | Si  | Mg  | Al  | Fe  | S   | K   | Mn   | Na  | Ti   | P   | N   |
|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|
| Nivel de filtrado | 3  | 3   | 5   | 5   | 3   | 3   | 5   | 3    | 9   | 3    | 9   | 9   |
| % peso estad.     | 1  | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.06 | 0.7 | 0.06 | 2.0 | 0.2 |

Tabla 1. Incertidumbres estadísticas de los principales elementos en fracciones de peso en seco de los registros en pozo 1 y pozo 2.

incertidumbre es alta con respecto a la abundancia típica de estos elementos.

En esta etapa del proceso, se dispone de elementos en peso seco optimizados por la unión inelástica y de captura. El siguiente paso es calcular el Carbono Orgánico Total de la formación. De hecho, el rendimiento o concentración del carbono (carbón yield) proviene del *stripping* del espectro inelástico. Parte de este carbono se origina en la mineralogía inorgánica, parte se origina en la materia orgánica e hidrocarburos en la formación, y el resto, si lo hubiere, proviene del pozo. De este modo, se necesitan dos correcciones y una transformación del rendimiento del elemento a peso seco para obtener un COT exacto.

El factor de normalización para transformar el rendimiento a peso seco es *FY2W\_INEL* definido arriba. El mismo corresponde a una normalización con respecto a la matriz seca en la formación, sin incluir el querógeno. Esto significa que el COT del *Litho Scanner* se relaciona al peso de la matriz seca, una normalización que con frecuencia difiere del COT del núcleo o del COT derivado del registro-correlación. La definición de COT de la herramienta *Litho Scanner* (*DWTOC\_INCP*) se describirá en una sección específica a continuación.

El aporte de carbono inorgánico se estima a través de un modelo mineralógico que depende de los pesos secos del elemento de la matriz obtenidos previamente (Herron y Herron, 1996). Se denomina *DWTIC\_INCP*. La selección de los minerales que contienen carbono en el modelo impacta en el cálculo del carbono inorgánico.

El modelo predeterminado incluye calcita, dolomita y siderita, y opcionalmente rodocrosita ( $MnCO_3$ ) y nacolita ( $NaHCO_3$ ). La ankerita, anortita ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) y apatita ( $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ ), no se consideran en este modelo predeterminado. Los datos del análisis XRD en los pozos 1 y 2 informan una pequeña cantidad de apatita, lo cual se esperaba porque los datos del análisis XRF estaban reportando fósforo.

Para estimar el sesgo por la presencia de apatita, podemos empezar por el porcentaje de peso del óxido de fósforo, expresado en términos del peso seco del elemento fósforo, luego en términos del peso seco del calcio asociado a la apatita, y finalmente con el *DWTIC\_EXS* asociado al carbono inorgánico excedente. Esto da como resultado:

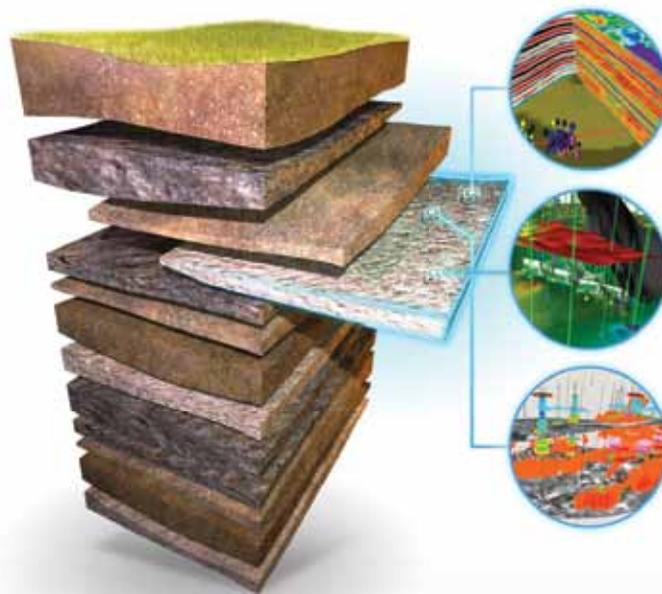
$$DWTIC_{EXS} = \frac{M_C}{M_{Ca}} \times \frac{5M_{Ca}}{3M_P} \times \frac{2M_P}{2M_P + 5M_O} \times DW(P_2O_5) = 0,28DW(P_2O_5) \quad \text{eq (3)}$$

Para un aporte de óxido de fósforo promedio del 0,4w%, esto corresponde a una estimación de carbono inorgánico excedente de 0,1w%, aproximadamente, resultando en una subestimación del peso del carbono orgánico de monto equivalente.

# YA ENFRENTAS ARDUOS PROBLEMAS

## TU SOFTWARE DE GEOCIENCIAS NO NECESITA SER UNO DE ELLOS

SOFTWARE DE GEOCIENCIA IHS: ciencia sofisticada, simple de utilizarla y simple de gestionarla



### DE LA SUPERFICIE AL SUBSUELO

SOLO UNA EMPRESA ESPECIALISTA EN  
ENERGÍA PROPORCIONA TANTO A TANTOS

Desde el marco global al detalle crucial, desde recursos probados a resultados superiores, el paquete de Geociencias de IHS puede hacer todo esto, respaldado por los datos de pronósticos, análisis geológicos y geofísicos con mayor credibilidad en el mundo.

### OBTENGA AHORA EL PODER DE KINGDOM®

Solo IHS Geociencias une paquetes de software de ingeniería, evaluación económica e interpretación en forma simple pero científica, ofreciendo una ventaja definitiva.

Con la solución de software líder de mercado Kingdom®, IHS ofrece a sus clientes lo mejor en geofísica y geología.

Visitenos en CONEXPLO. Stand 55.

IHS GEOSCIENCE



Simply **Scientific**™

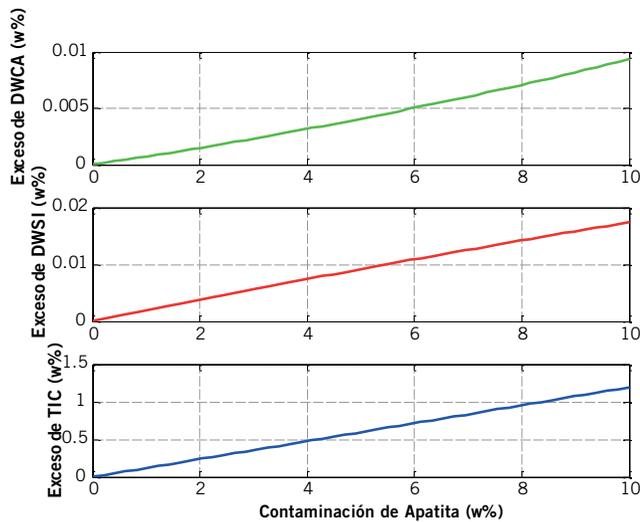


Figura 3. Sesgo (*bias*). Exceso de Calcio, Silicio y TIC debido a la contaminación por apatita.

Si tomamos una formación genérica del tipo Vaca Muerta, se desprende que la contaminación por apatita debería alcanzar alrededor de 8 w%, y afectar la estimación del COT en un 1 w% aproximadamente, tal como lo ilustra la figura 3.

Los pasos del proceso necesarios para obtener una fracción en peso seco de carbono medida total y el peso seco del carbono inorgánico total asociado han sido descriptos hasta aquí.

El último paso consiste en evaluar el aporte de carbono del pozo (*borehole*). Con este fin, el COT no corregido se grafica en comparación a un calibre. Entonces, se supone que el pozo contiene zonas sin COT, es decir, zonas sin

querógeno o hidrocarburos fluidos. Se calcula un punto cero (*offset*) más una pendiente (*slope*) para representar las variaciones en el tamaño de la perforación (Miles y Badry, 2014). Las correcciones de carbono de la perforación para pozos con lodos de agua son generalmente pequeñas. Para el pozo 1 y pozo 2, los *offset* corresponden a un COT 1w% aproximadamente.

Debido a la naturaleza estadística de la medición, y como consecuencia de los diferentes pasos que conducen a este cálculo, no se espera que el DWTOC\_INCP caiga a 0. Al contrario, esperamos ver variaciones alrededor de 0 cuando el COT es cero. Sin embargo, estas variaciones deberían estar limitadas dentro de la incertidumbre estadística DWTOC\_INCP, que es del 1 w% aproximadamente en el pozo 1 (6 1/8" en el pozo perforado) y 1,5w% en el pozo 2 (8,5 en el pozo perforado, con una mayor concentración de barita).

La figura 4 presenta un ejemplo de pesos secos del elemento y COT con el *Litho Scanner* a lo largo de un intervalo grande. La escala vertical es de 50 m entre cada línea gruesa. La primera columna muestra el factor FY2W, en general de 2.5. La columna litológica presenta el modelo mineralógico predeterminado usado para la estimación del carbono inorgánico total (TIC); los únicos carbonatos son la calcita y la dolomita. Las siguientes columnas a la derecha presentan las fracciones de peso seco elementales. La parte sombreada en rojo cubre la incertidumbre estadística (1-sigma) para cada curva. Las últimas tres columnas a la derecha ilustran el cómputo del COT. La primera presenta una transparencia con el carbono total medido, corregido para el efecto de la perforación (*borehole effect*), DWTC\_INCP y el DWTC\_INCP carbono inorgánico. La diferencia, DWTOC\_INCP, se informa en la columna siguiente.

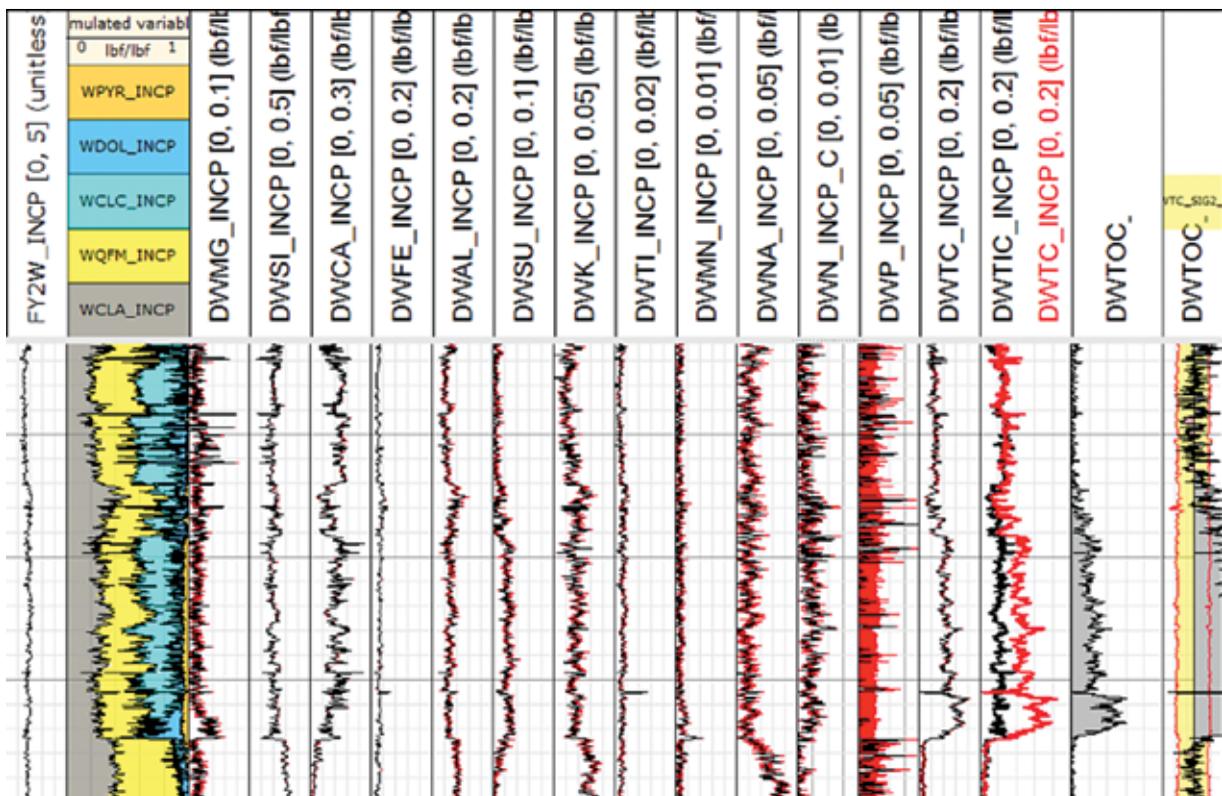


Figura 4. Presentación típica del registro espectroscópico inelástico-captura.

# Soluciones Integradas para Perforación y Producción



Ingeniería Aplicada para  
Optimizar su Costo Operativo

Cummins Argentina • Bolivia • Paraguay • Uruguay

Buenos Aires  
Tel: +54 (11) 4736 6400

Neuquén  
Tel: +54 (0299) 4771719

[consultas@cummins.com](mailto:consultas@cummins.com)  
[www.cummins.com.ar](http://www.cummins.com.ar)



La última columna propone un control de calidad donde la referencia-0 se verifica contra la banda de incertidumbre estadística (2-sigma).

## Mediciones de núcleo

Se realizaron una serie de mediciones en muestras del núcleo. Los datos disponibles consisten de 163 metros de núcleos tomados en forma continua para el pozo 1, y 2 núcleos de 80 metros cada uno para el pozo 2.

Primero, se diseñó un cuidadoso programa de selección de muestras. Este paso es particularmente importante en los núcleos de Vaca Muerta, ya que exhiben una alta heterogeneidad vertical. La selección fue realizada usando una imagen de escáner de TC para incluir una litología representativa.

Se extrajo un total de 82 muestras de los núcleos. Las muestras fueron partidas y homogeneizadas. Se usó un volumen de muestras importante para garantizar la representatividad. Se midieron en las muestras las concentraciones, la mineralogía y el COT.

Las concentraciones elementales se miden por Fluorescencia de rayos X (XRF). Los datos sin procesar obtenidos por XRF son óxidos que deben convertirse en elementos. En este trabajo, las concentraciones elementales medidas fueron las siguientes: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Ba, Sr, Fe y Zr. El azufre es el elemento más liviano que puede medirse por XRF, su incertidumbre estadística es mayor que la de otros elementos. La materia orgánica es parte del peso en seco perdido por calcinación (*LOI*, por su sigla en inglés), y no puede separarse.

La mineralogía se analiza por difracción de rayos X (XRD). El conjunto de minerales presente en las muestras se identifica inicialmente por observación de los patrones de XRD. Se realiza una semi-cuantificación inicial de los minerales identificados mediante la comparación de los patrones de la XRD. Esta cuantificación inicial se depura aún más computando la composición química aparente y calculando los valores de los parámetros físicos (*LOI*, IR, densidad, CEC), para el conjunto de minerales observados que satisfaga los valores medidos de estos parámetros. Este es un proceso repetitivo que se ajusta progresivamente para obtener una buena combinación de valores computados y medidos. La materia orgánica también se mide como "materia orgánica insoluble" en los sedimentos luego de la eliminación de partículas solubles con cloroformo y la eliminación de carbonatos por HCl (cloruro de hidrógeno).

Los principales minerales encontrados en el pozo 1 y en el pozo 2 son albita, calcita, cuarzo, dolomita, apatita, piritita, barita, anatasa, arcillas y micas. Se realizó también una tipificación detallada de arcillas.

El carbono orgánico total se obtiene usando un instrumento LECO, o la técnica de evaluación de rocas. Con LECO, el COT se determina por combustión directa. Aproximadamente, unos 0,15 gramos de muestra pulverizada se pesa cuidadosamente y se trata con HCl concentrado para eliminar los carbonatos, y filtrado al vacío en papel de fibra de vidrio. El residuo y el papel se colocan en un crisol cerámico, seco, y quemado con oxígeno puro en un analizador C230CH LECO, a una temperatura entre 1.300 y 2.000 °C. Se realiza un estándar de laboratorio cada cinco muestras.

## Validación de las fracciones en peso seco del elemento con los resultados del análisis del núcleo

Antes de comparar los resultados del análisis XRF con los datos elementales de peso seco del registro, es necesario expresar las fracciones en peso del óxido XRF como fracciones elementales en peso seco, y también excluir el que-rógeno de la normalización del peso, para seguir la definición de las fracciones de peso seco del registro (ver Herron *et al*, 2014, para más detalles de este tema). La fracción de materia orgánica insoluble está disponible en la medición XRD y se usará para la re-normalización del peso. La ecuación para transformar una fracción en peso del óxido XRF en fracciones elementales en peso seco dice:

$$DWX_{XRF} = WXO \cdot \frac{M_X}{M_{XO}} \cdot \frac{1}{1 - IOM_{XRD}} \quad \text{eq. (4)}$$

donde  $DWX_{XRF}$  es la fracción en peso seco del elemento X relativa al peso seco del mineral, expresado en w/w,  $WXO$  es la fracción en peso del óxido relativa al peso del mineral y de la materia orgánica,  $M_X$  y  $M_{XO}$  son las masas elementales y de óxido respectivamente, e  $IOM_{XRD}$  es la fracción en peso de la materia orgánica insoluble relativa al mineral y a la materia orgánica (de 0 a 1).

Para comparar la densidad de grano del registro, asociada solo a los elementos minerales (Herron y Herron, 2000), y la densidad del grano del núcleo asociada a los minerales y a la materia orgánica insoluble,  $RHOB_{XRD}$ , se debe eliminar de este último el aporte de materia orgánica, siguiendo la ecuación 5.

$$RHGE_{XRD} = \frac{1 - IOM_{XRD}}{\frac{1}{RHOB_{XRD}} - \frac{IOM_{XRD}}{RHO_{IOM}}} \quad \text{eq. (5)}$$

donde  $RHO_{IOM}$  es la densidad de la materia orgánica, especificada en 1.4 g/cc en este documento.

Las figuras 5 y 6 ilustran la comparación entre los pesos secos elementales de la XRF y los pesos secos del registro. Se puede observar una muy buena correspondencia. Observando la columna obtenida con *SpectroLith* a la izquierda (ver sección a continuación para la explicación), las primeras cuatro columnas presentan cuatro (4) elementos que normalmente son difíciles de estimar a partir de los registros, tales como el Magnesio, Manganeso, Potasio y Sodio. Siguen otros tres carriles con Silicio, Calcio, Hierro y Aluminio. Nótese que el Aluminio es una medición directa y no un Aluminio simulado, como en las herramientas de generación previas. El siguiente carril es el carril del azufre. Las diferencias entre el Azufre del análisis XRF y el Azufre reconstruido a partir del XRD son visibles. Se sabe que el análisis XRF del Azufre es una medición difícil; los registros concuerdan con el análisis XRD-reconstruido del Azufre. El Titanio se encuentra bien reconstruido en el carril de la derecha. La última columna presenta Fósforo. Tal como se esperaba de la Tabla 1, las incertidumbres son grandes, y en los pozos actuales, los aportes de fósforo son pequeños. El último carril muestra las densidades de grano. La materia orgánica se elimina de la medición de densidad



# CONSTRUIR EL FUTURO ES UN ESFUERZO CONJUNTO.

## ESTAMOS DE ACUERDO.

Trabajando juntos obtenemos los mejores resultados. En todos los lugares donde Chevron opera, se asocia con empresas y organizaciones locales para ayudar a crear empleos y fortalecer la economía local. Juntos ayudamos a satisfacer las demandas energéticas y a impulsar el progreso de nuestra comunidad a largo plazo.

**Conózcanos en [chevron.com](http://chevron.com)**



**Energía Humana®**

CHEVRON, el sello de CHEVRON y ENERGÍA HUMANA son marcas registradas propiedad de Chevron Intellectual Property LLC. © 2015 Chevron U.S.A. Inc. Todos los derechos reservados.

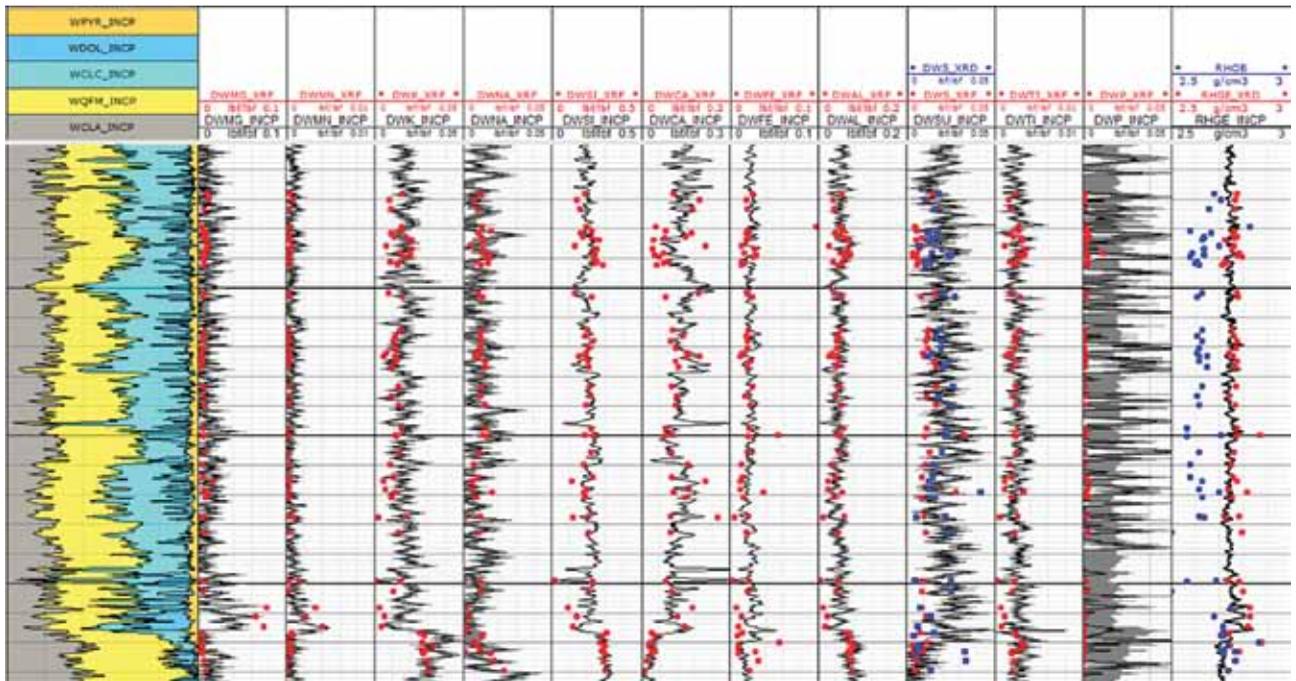


Figura 5. Pozo 1: comparación de fracciones de peso seco elemental a partir del registro y mediciones XRF de núcleo. La parte sombreada en gris corresponde a la incertidumbre estadística (1-sigma).

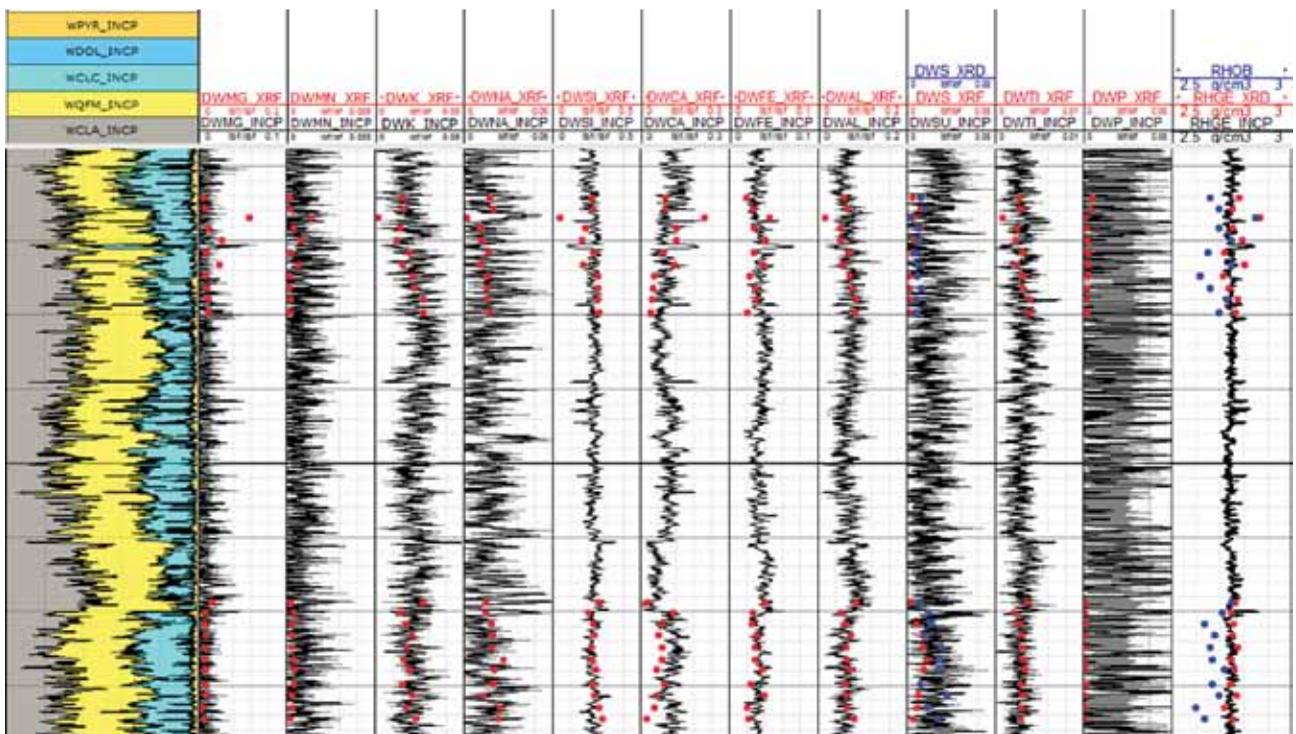


Figura 6. Pozo 2: comparación de fracciones de peso seco elemental a partir del registro y mediciones XRF de núcleo. La parte sombreada en gris corresponde a la incertidumbre estadística 1-sigma.

aparente XRD (en azul) usando la ecuación 5 para obtener la densidad de grano real (en rojo), que valida la densidad de grano derivada, elemental del registro.

### Comparación de fracciones en peso seco del elemento con resultados del análisis XRF sobre recortes de roca "cutting"

Los resultados del análisis\*\* XRF de un recorte de roca durante la perforación (cutting) y las mediciones de COT

con el analizador LECO, se encuentran disponibles para el pozo 3. Esta técnica de análisis se describe en la bibliografía (Chiappello *et al.*, 2014). Las fracciones en peso seco de los elementos principales se miden junto con elementos de trazas adicionales pertinentes para reservorios no convencionales de shale. La figura 7 presenta una comparación entre los pesos en seco del elemento del Litho Scanner y fluorescencia de rayos X (XRF) de un recorte de peso en seco, luego de aplicada una normalización apropiada. La correspondencia es excelente en términos cualitativos y constituye una validación cruzada. Por supuesto, el registro



# METALURGICA ALBACE

## Estructuras metálicas

### **Estructuras metálicas:**

Las estructuras se calculan de acuerdo al pedido o necesidades del cliente, estudiándose cada situación en particular por nuestro grupo de ingenieros.



Esta sección cuenta con una importante flota de vehículos propios, destacándose desde plataformas elevadizas y camiones con grúas, hasta una grúa torre de 36 mts. de alto, todo esto juntamente con el personal especializado para montajes. Las estructuras se realizan en acero inoxidable o de acero al carbono y son entregadas galvanizadas en caliente o pintadas.



Pueden ser del tipo reticulado o alma llena, empleando cualquiera de los distintos tipos de perfiles encontrados en el mercado, ya sean laminados, conformados o plegados.

**A partir de diciembre de 2014  
estaremos radicados en la  
provincia de Neuquen**

**Contacto: Ing. Martín González  
(0299) 15 5286035**

**[martin@metalurgicaalbace.com.ar](mailto:martin@metalurgicaalbace.com.ar)**



Colón, Entre Ríos, Argentina  
Tel.Fax.: (03447) 42 3475 / 42 3553

**[www.metalurgicaalbace.com.ar](http://www.metalurgicaalbace.com.ar)**



METALURGICA  
**ALBACE**

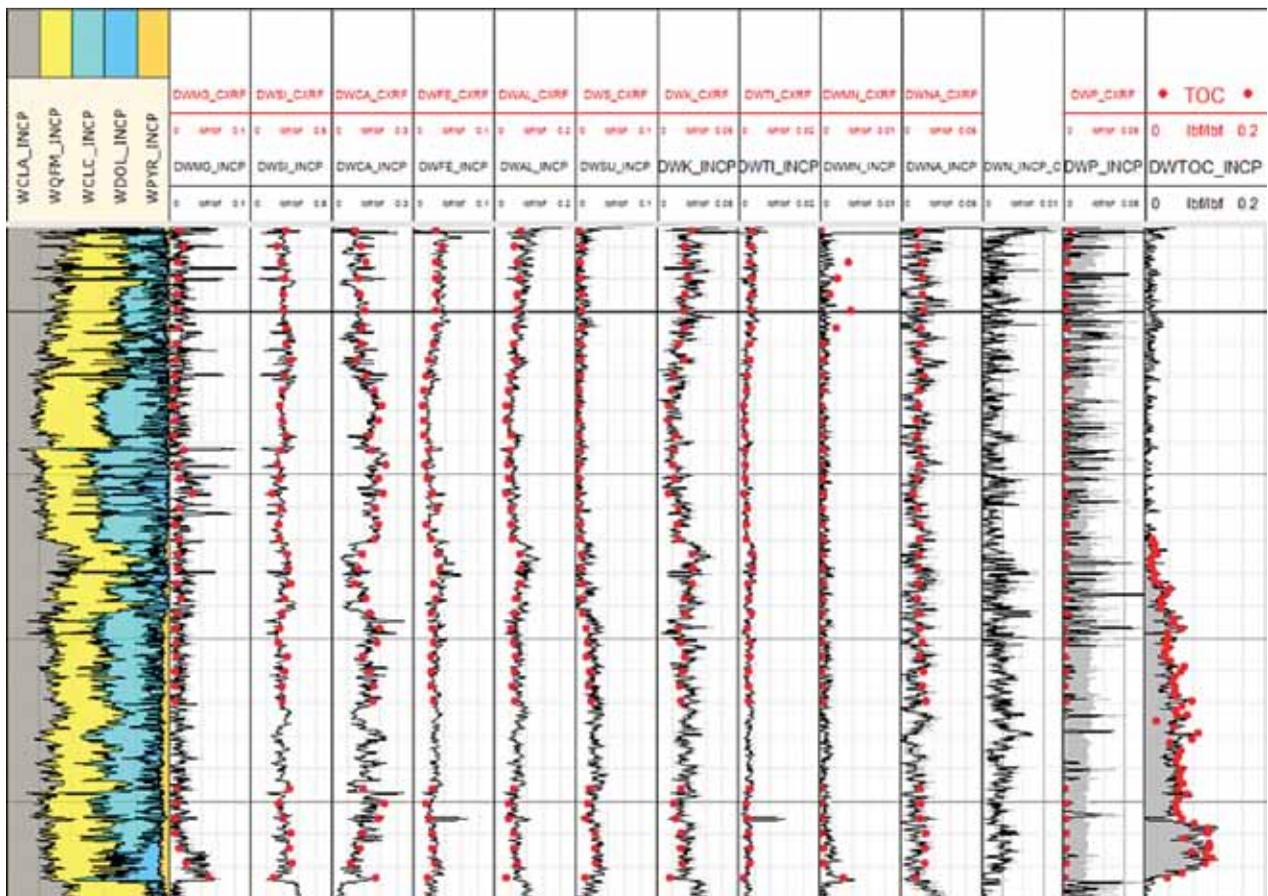


Figura 7. Pozo 3, comparación entre el registro de fracciones de peso en seco elemental y mediciones XRF de recortes de roca *in situ*. La parte sombreada en gris corresponde a la incertidumbre estadística (1-sigma).

muestra mucho mayor carácter, ya que su resolución vertical es de 60 cm aproximadamente, mientras que las mediciones de los recortes se realizaron cada 9 metros en el ejemplo presente.

### Análisis de modelos mineralógicos para Vaca Muerta

Se dispone de diferentes métodos para crear un modelo mineralógico a partir de las fracciones elementales en peso seco. En este documento se analizarán dos métodos: las regresiones *SpectroLith* (Herron y Herron, 1996) y la inversión multi-mineral tipo ELAN. Nuevos métodos están surgiendo; como ejemplo se puede ver Freedman *et al.*, 2014; sin embargo, no fueron probados en este contexto.

Todas las figuras presentadas arriba mostraron una columna mineralógica que fue obtenida a partir de regresiones *SpectroLith*. Las fracciones en peso del mineral resultantes pueden compararse con la fracción en peso del mineral del análisis XRD, luego de haber aplicado transformaciones necesarias de peso de referencia en las fracciones en peso del mineral con XRD (ver las secciones anteriores). Las figuras 8 y 10 ilustran la comparación entre la fracción en peso del mineral con *SpectroLith* y la fracción en peso del mineral con XRD para los mismos arreglos de minerales.

Se ha construido un modelo ELAN simple para los pozos 1 y 2. Los valores ingresados son pesos en seco de Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe y S, con sus incertidumbres estadísticas

asociadas (ver Tabla 1). Los minerales seleccionados son la calcita, dolomita, cuarzo, albita, illita, caolinita, clorita y pirita. Los criterios de valoración (*endpoints*) se extraen de la Tabla 2 de referencia (Herron *et al.*, 2014). Este conjunto de minerales debería permitir distinguir tanto la mineralogía del pozo 1 como la del pozo 2, que difiere fundamentalmente por las respectivas cantidades de caolinita versus clorita. La cantidad de minerales en el modelo (8), no supera la cantidad de valores ingresados (8); por consiguiente, es posible la resolución del problema. Las figuras 9 y 11 muestran los resultados mineralógicos a partir de ELAN comparados con los análisis XRD del núcleo.

El modelo ELAN es un solucionador de volumen (*solver*); sin embargo, es posible crear manualmente un sistema lineal simple basado en la fracción en peso que imitará el comportamiento ELAN. Este modelo lineal brinda un conocimiento útil de las limitaciones posibles de los métodos multi-minerales. Si escribimos F, la matriz que contiene la fracción en peso del elemento en las filas y la fracción en peso del elemento mineral en las columnas, E el vector de los pesos en seco del elemento y M el vector de los minerales, podemos escribir:

$$E = F \times M. \quad \text{eq. (6)}$$

Cada columna de F representa la fracción en peso de los elementos para un mineral determinado. La resolución del modelo de minerales para un vector de valor ingresado determinado E0 se expresa por:

$$M_0 = P \times E = (F^T W F)^{-1} F^T W \times E_0. \quad \text{eq. (7)}$$



¿Mediciones sencillas en Upstream?

Absolutamente.

Las Soluciones *Upstream* de ABB para petróleo y gas incluyen instrumentación, analizadores y sistemas de automatización. Todos los dispositivos poseen una misma interfaz de operación permitiendo ahorrar tiempo y dinero, mientras nuestro equipo de expertos en aplicaciones y servicios también se encuentra presente para brindar soporte. Nuestro objetivo es hacer que las mediciones sean más sencillas, tanto para los técnicos que utilizan nuestros productos, como para los tomadores de decisión que precisan un socio experimentado, confiable y global.

Para conocer más, visitá [www.abb.com/measurement](http://www.abb.com/measurement)

ABB S.A.  
Tel. +54 11 4229 5500  
[www.abb.com.ar](http://www.abb.com.ar)

[/ABBArgentina](https://www.facebook.com/ABBArgentina) [@ABB\\_Argentina](https://twitter.com/ABB_Argentina)

Power and productivity  
for a better world™

**ABB**

donde W es la matriz diagonal que contiene la inversa de las incertidumbres del elemento al cuadrado. P es la pseudo-inversa de F, dada la incertidumbre de cada elemento. P se puede simplificar como la matriz inversa de F en el caso donde F es al cuadrado; es decir, tenemos el mismo número de entrada y de salida. El interés en P es estudiar el acondicionamiento del sistema considerado y la propagación de la incertidumbre. La pseudo-inversa P se escribe explícitamente en la Tabla 2. En muchos aspectos, estos números son interesantes, pero si nos explayamos en los comentarios nos extenderíamos más allá del alcance de este documento. Sin embargo, es importante mencionar que la illita está determinada fundamentalmente por la concentración de potasio, y podemos deducir que agregar ortoclasa (Kfeld) en el modelo (en lugar de caolinita, por ejemplo), no será una buena idea, ya que competiría directamente con la illita. No existe información suficiente en la presente entrada para separar ambos. Si se agrega información, a través de densidad, neutrones y otros registros, se mitigaría este problema. Este tipo de problemas es uno de los aspectos negativos de las inversiones multi-minerales, donde se deben conducir meticulosos estudios de sensibilidad para garantizar la construcción de un modelo sólido.

De la comparación mostrada en el pozo 1 y en el pozo 2, se infiere que el método *SpectroLith* y el método de inversión multi-mineral son eficaces en la estimación de los pesos secos del mineral, bajo sus respectivos supuestos. En particular, los pesos secos del carbonato se calculan correctamente, lo cual es un punto importante para los cálculos de CIT (Carbono Inorgánico Total) y de COT (Carbono Orgánico Total).

|           | Si          | Al          | Ca          | Mg           | Na           | K            | Fe          | S           |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Cuarzo    | <b>2.14</b> | -2.13       | 0.00        | 0.00         | -5.34        | -3.05        | -0.37       | 0.32        |
| Albita    | 0.00        | -0.05       | 0.00        | 0.00         | <b>11.46</b> | -1.48        | 0.00        | 0.00        |
| Calcita   | 0.00        | -0.01       | <b>2.57</b> | <b>-4.24</b> | 0.01         | 0.69         | 0.88        | -0.77       |
| Dolomita  | 0.00        | 0.00        | -0.07       | <b>7.87</b>  | 0.00         | -1.18        | -1.79       | 1.56        |
| Illita    | 0.00        | -0.08       | 0.00        | 0.00         | 0.10         | <b>17.66</b> | -0.30       | 0.26        |
| Caolinita | 0.00        | <b>5.02</b> | 0.00        | 0.00         | -5.89        | -9.02        | -2.11       | 1.84        |
| Clorita   | 0.00        | -0.09       | 0.00        | 0.00         | 0.10         | -2.03        | <b>4.89</b> | -4.26       |
| Pirita    | 0.00        | 0.00        | 0.00        | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00        | <b>1.87</b> |

Tabla 2. Pseudo-inversa del modelo multi-mineral.

## Validación del registro de Carbono Orgánico Total con los resultados del análisis del núcleo

Antes de proceder a la comparación entre el registro y el COT del núcleo, es importante repasar las distintas definiciones de Carbono Orgánico Total.

Tal como se analizó anteriormente, el COT del *Litho Scanner* se obtiene como la diferencia *in situ* entre el carbono total en la formación y el carbono inorgánico; por consiguiente, es un COT inclusivo, en el sentido de que contiene todos los tipos de carbono orgánico de la formación. El querógeno, el betún (bitumen), los hidrocarburos líquidos e hidrocarburos gaseosos, todos contribuyen en el COT del *Litho Scanner*, con pesos variables dependiendo de la concentración y densidad de carbono intrínseca. Además, su normalización de peso es el peso de la matriz

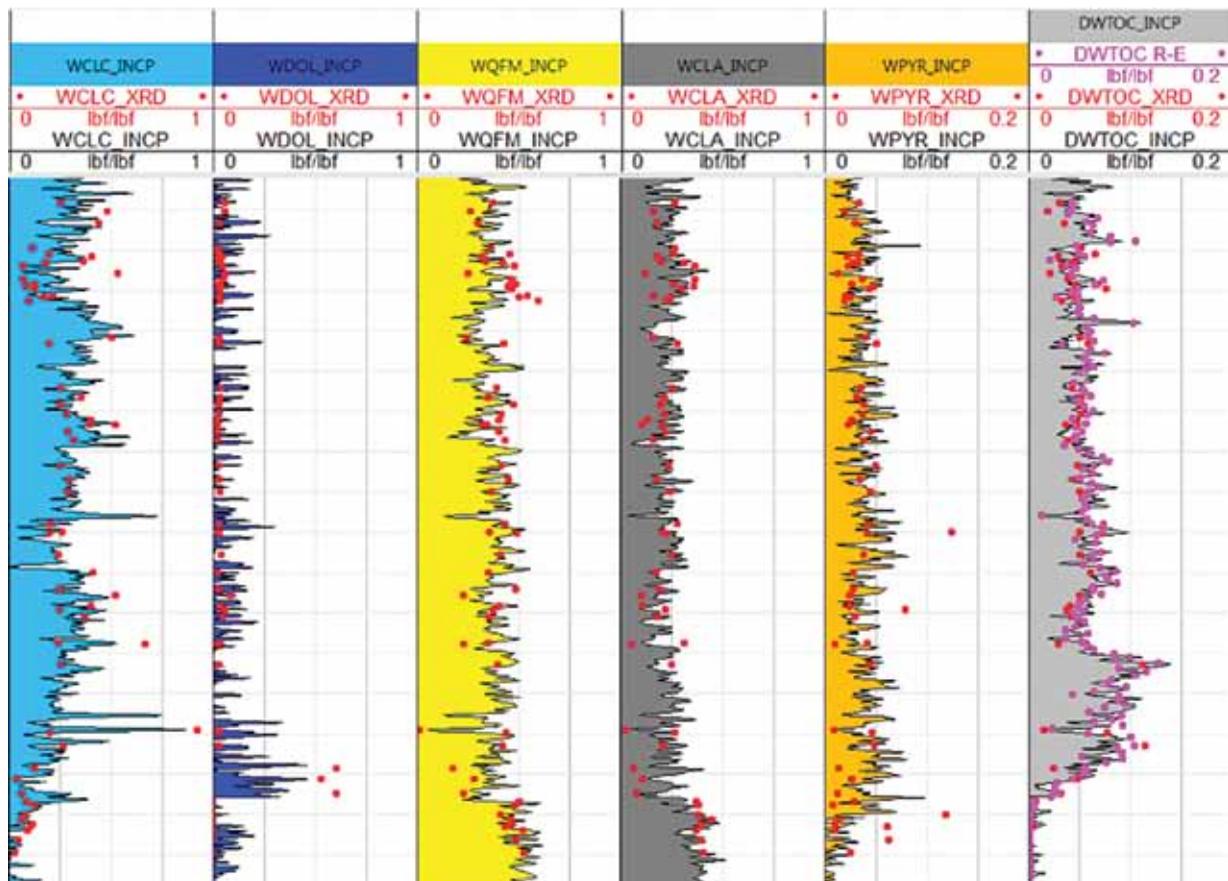


Figura 8. Pozo 1. Comparación de *SpectroLith* y análisis XRD del núcleo.



## Inspección de obra Un Sello de excelencia en toda la industria

*El asesoramiento de una tercera parte independiente es fundamental para las empresas que buscan la verificación del cumplimiento de sus equipamientos, de las normativas y códigos nacionales e internacionales. Bureau Veritas le brinda una garantía de calidad y seguridad con un completo servicio de inspección en obra, asegurando altos niveles en el diseño, manufactura, operación y mantenimiento del proyecto.*

*Le ayudamos a promover eficiencia, limitar las interrupciones en el proceso de construcción para una puesta en marcha en tiempo real, y construir una imagen libre de incidentes para su empresa.*

*La división de Oil & Gas y Energía de Bureau Veritas agradece a sus clientes: ENARSA, YPF, TGS, TGN, CAMUZZI la confianza depositada en estos años al permitirnos brindar servicios de Asistencia Técnica, Revisión de Ingeniería, Inspección de Obra, Inspección de Montaje y puesta en marcha de sus obras.*

**011 4000 8000**

[www.bureauveritas.com/oilandgas](http://www.bureauveritas.com/oilandgas)  
[jorge.valanzuela@ar.bureauveritas.com](mailto:jorge.valanzuela@ar.bureauveritas.com)

**Move Forward with Confidence**



**BUREAU  
VERITAS**



Figura 9. Pozo 1. Comparación de resultados mineralógicos ELAN y análisis XRD del núcleo.

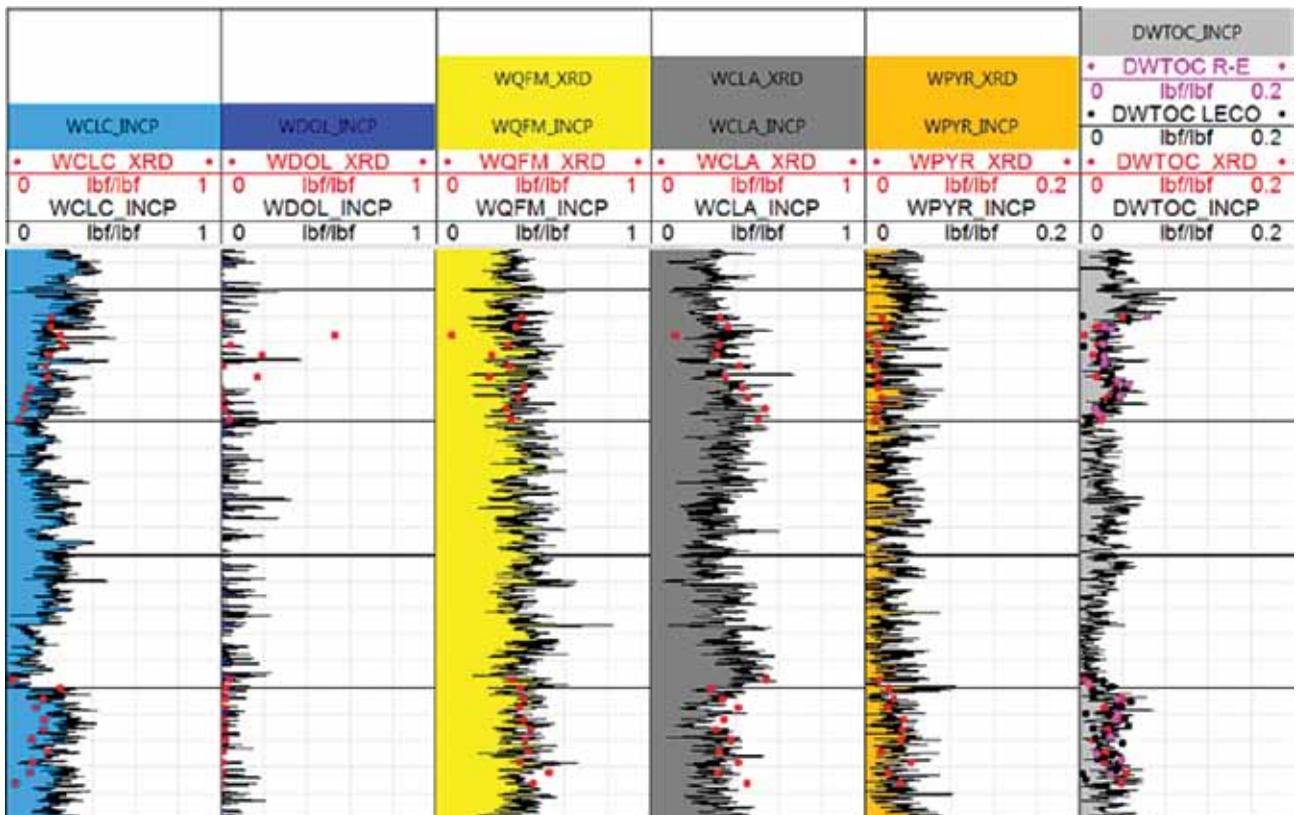


Figura 10. Pozo 2. Comparación de *SpectroLith* y análisis XRD del núcleo.

seca, ya que este factor de normalización proviene del modelo de cierre (óxido, elemento, mineral). En particular, la normalización del COT del *Litho Scanner* no da cuenta de la presencia de querógeno. Esta definición del COT puede formalizarse a través de la ecuación 8.

$$TOC_{LS} = \frac{\phi_K \cdot \rho_K \cdot \chi_K + \phi_B \cdot \rho_B \cdot \chi_B + \phi_O \cdot \rho_O \cdot \chi_O + \phi_S \cdot \rho_S \cdot \chi_S}{(1 - \phi_T) \rho_{mtx}} \quad \text{eq. (8)}$$

Capacitación técnica  
profesional para  
la industria del  
petróleo y del gas

PROGRAMA

ESPECIALIZADO

EN SUPPLY CHAIN

MANAGEMENT



El Instituto Argentino del Petróleo y del Gas conjuntamente con Aden International Business School han desarrollado este nuevo Programa Especializado de Supply Chain Management. Con innovadores sistemas de transferencias

de conocimiento, este Programa se enfoca en la formación de profesionales y directivos, para que comprendan y planifiquen los procesos logísticos inherentes a la Industria del Petróleo y del Gas, utilizándolos para aumentar la competitividad de la empresa.

**Vacantes limitadas. Para más información: [cursos@iapg.org.ar](mailto:cursos@iapg.org.ar)**

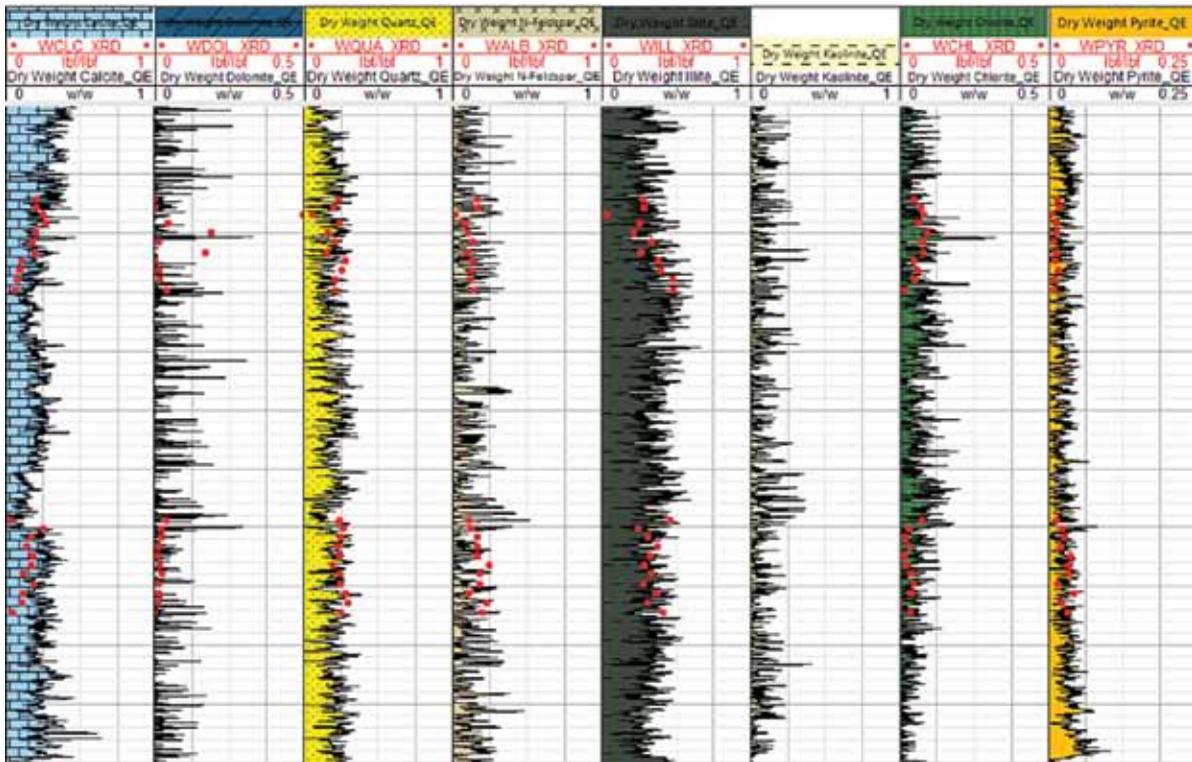


Figura 11. Pozo 2. Comparación de resultados mineralógicos ELAN y análisis XRD del núcleo.

donde  $\phi_i$  simboliza el volumen fraccional, K, B, O y g son querógeno, bitumen, petróleo y gas;  $\rho_i$  son las densidades en  $[g/cm^3]$  con  $\chi_i$  como la fracción en peso del carbono en un medio determinado.  $\phi_T$  es la porosidad total, incluyendo al querógeno en la porosidad, y  $\rho_{mtx}$  es la densidad de la matriz sin incluir al querógeno. La figura 12 muestra un esquema de los diferentes aportes.

La medición del COT del núcleo se obtiene luego de lavar el núcleo con solvente. Como resultado, este solo representa el COT de la materia orgánica insoluble, que se espera sea inferior al COT registrado. Si hubiese presencia de gas, la diferencia esperada entre el COT del núcleo y el COT del registro será marginal. Si hubiese presencia de petróleo, podemos calcular esta diferencia. Tomemos una densidad del mineral de 2,75 g/cc, una densidad del querógeno de 1,4 g/cc, y un factor de conversión del carbono disuelto en el querógeno de 0,83. La densidad del petróleo se fijará en 0,8 g/cc con el mismo factor de conversión de 0,83. También asumimos 5 p.u. de agua en la formación.

| Volumen de querógeno [p.u.] | Volumen de petróleo [p.u.] | COT núcleo [w/w %] | COT registro [w/w %] | Diferencia [w/w %] |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 13                          | 6                          | 7.2                | 9.1                  | 1.9                |
| 7                           | 3                          | 3.5                | 4.4                  | 0.9                |

Tabla 3. Ejemplos de la diferencia esperada entre el COT del registro y el COT del núcleo.

La Tabla 3 presenta la diferencia esperada para dos casos distintos basados en la hipótesis anterior.

Se requiere una normalización de la referencia de peso cuando se compara el COT del *Litho Scanner* con el COT del núcleo. Si el COT proviene de una medición con un analizador LECO (o un analizador *Rock-Eval*), la normalización se basará en la ecuación 9:

$$DWTOC_{LECO} = \frac{TOC_{LECO}}{1 - \frac{TOC_{LECO}}{\chi_{OM}}} \quad \text{eq. (9)}$$

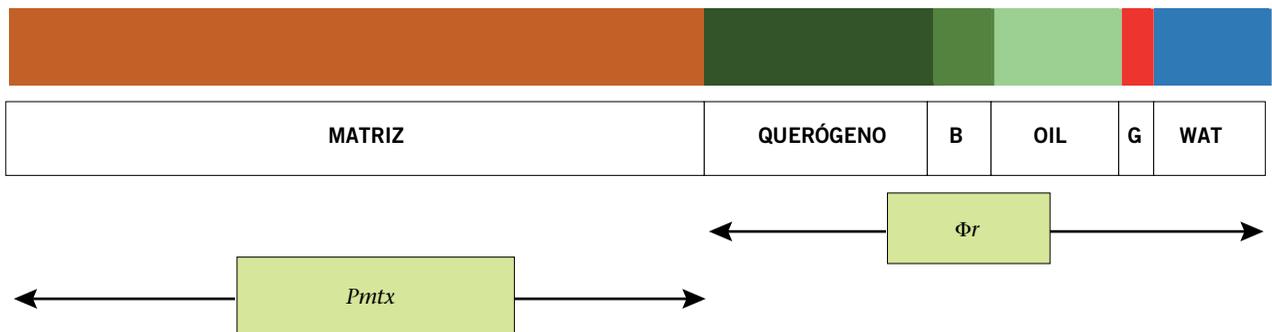


Figura 12. Modelo de porosidad simple en shale. Reservorio no convencional.

donde  $\chi_{OM}$  es la fracción en peso del carbono en la materia orgánica. Si la medición disponible es una fracción en peso de materia orgánica insoluble ( $IOM$ , por su sigla en inglés), entonces la transformación del COT se basará en la ecuación 10:

$$DWTOC\_XRD = \frac{IOM\_XED \cdot \chi_{OM}}{1 - IOM\_XRD} \quad \text{eq. (10)}$$

Las figuras 8 y 10 muestran la comparación entre el COT del núcleo y el obtenido con el *SpectroLith* y los resultados de las mediciones de XRD del núcleo, ambos usando la normalización del COT del *Litho Scanner*. La correspondencia es muy buena. El pozo 1 es un pozo petrolífero, mientras que el pozo 2 es un pozo gasífero. El COT del *Litho Scanner* parece generalmente más alto que el COT del núcleo en el pozo 1; sin embargo, las diferencias no son tan grandes en el intervalo del núcleo. Esto puede indicar una relación moderada de petróleo *versus* querógeno.

## Análisis de otras aplicaciones del *Litho Scanner*

La creación de un modelo litológico exacto es importante en muchos aspectos. Se puede obtener para dicho modelo un "neutrón" térmico en grano en una matriz de piedra caliza. De hecho, el neutrón térmico del grano en la matriz de la piedra caliza depende de la composición mineral, y también del aporte de hidroxilo en la arcilla. Se puede usar la ecuación 11 para transformar las fracciones en peso seco del mineral en un cálculo de neutrón térmico en grano:

$$TNGE = \frac{\sum_i \frac{DWM_i}{RHM_i} TNM_i}{\sum_i \frac{DWM_i}{RHM_i}} \quad \text{eq. (11)}$$

donde  $DWM_i$  es el mineral  $i$  la fracción de peso,  $RHM_i$  es la densidad de grano del mineral  $i$ , y  $TNM_i$  es la lectura del neutrón térmico del mineral seco  $i$  en la matriz de la piedra caliza. Los criterios de valoración para las lecturas de neutrones térmicos pueden encontrarse en la bibliografía (Herron y Matteson, 1993). La corrección del neutrón térmico medido se puede realizar a través de diferentes fórmulas, ya que la respuesta neutrónica exhibe un comportamiento no lineal versus la mineralogía. Sin embargo, se pueden usar dos conversiones simples, ya sea restando el neutrón térmico en grano, o restando el neutrón térmico y luego dividiéndolo por el grano a la cantidad de fluido. La diferencia entre ambas conversiones es una forma distinta de manejar los efectos no lineales, y su respectiva validez depende del rango de porosidad real. Una vez corregido para el efecto matriz, el neutrón térmico se convierte en una medida del fluido y del índice de hidrógeno (HI) del querógeno, que puede compararse con la porosidad y densidad corregida de la matriz. Si se conoce el volumen de agua en la formación, su HI correspondiente puede además restarse y se obtiene el HI de la materia orgánica. Este índice de hidrógeno representa la concentración de hidrógeno del volumen de la materia orgánica, la fracción en peso del carbono la cual se mide por el  $DWTOC\_INCP$ . Este HI de la materia orgánica puede tener aplicaciones útiles.

Un volumen de fluido ligado ( $BFV$ , por su sigla en inglés) de una arcilla litológica también puede extraerse de un modelo litológico con una tipificación exacta de la arcilla. Se asignará a cada tipo de arcilla, la porosidad de la arcilla mojada típica. La ecuación 12 presenta la conversión de los pesos secos de la arcilla en un cómputo del agua ligada a la arcilla:

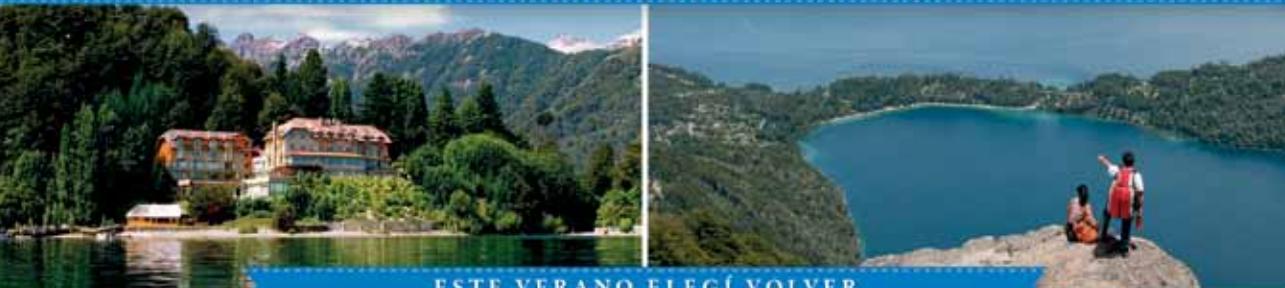
$$CBW = \left( \sum_i \frac{DWM_i}{RHM_i} WCLP_i \right) \cdot RHGE \cdot (1 - PHIT) \quad \text{eq. (12)}$$

donde  $WCLP_i$  representa a la arcilla  $i$  a la porosidad del agua ligada,  $RHGE$  es la densidad de grano de mineral seco



Villa La Angostura - Parque Nacional Nahuel Huapi

**ESTE VERANO ELEGÍ CORRENTOSO**



**ESTE VERANO ELEGÍ VOLVER**

**BENEFICIOS EXCLUSIVOS PARA LOS SOCIOS IAPG**  
 20% de descuento / Copa de bienvenida / Trekking por la historia de Correntoso  
 No promocionable ni combinable con otras promociones vigentes

Info & reservas: (+5411) 4803 0030 | grupos@correntoso.com | www.correntoso.com

y PHIT es la porosidad total, incluyendo el querógeno. Se requiere que los dos últimos factores vayan desde fracciones de volumen normalizadas por mineral seco hasta fracciones de volumen normalizadas por volumen aparente de la formación. El volumen de agua ligada de una arcilla litológica puede compararse al volumen de agua ligada de una arcilla NMR – (con un “cutoff” de 3 ms, por ejemplo) para verificar una porosidad inusual de la arcilla mojada.

Entre otras aplicaciones, para una litología exacta se encuentra la identificación y clasificación del tipo de roca, la permeabilidad basada en la litología, las propiedades mecánicas y las sensibilidades de los fluidos, las facies deposicionales y la determinación del origen o procedencia.

Nótese que la densidad del grano puede no mejorar si se la computa desde un modelo litológico, tal como lo ilustran las figuras 4 y 5, la densidad del grano que usa concentraciones elementales (Herron y Herron, 2000) ya es una excelente estimación de la densidad de grano del núcleo.

## Conclusiones

La validez del nuevo flujo de trabajo de procesamiento de la herramienta espectroscópica elemental fue evaluada y confirmada para las condiciones específicas de Vaca Muerta cubiertas por los pozos en estudio. Los sesgos posibles por la presencia de apatita permanecen pequeños.

Las concentraciones elementales provistas por el *Litho Scanner* son sólidas y permiten la construcción de un modelo mineralógico representativo y detallado. Los carbonatos, cuarzo, feldespato, piritita y arcilla se pueden cuantificar. La tipificación de la arcilla, separando la illita, clorita y en cierto punto la caolinita, es eficaz. Esta capacidad depende de la medición exacta de los elementos que tradicionalmente fueron difíciles de cuantificar, como por ejemplo el magnesio, manganeso, potasio y sodio.

El cálculo independiente del COT se compara muy bien con los resultados de los núcleos. Las diferencias esperadas, debido a las diferentes cantidades de materia orgánica en condiciones de fondo de pozo (querógeno y petróleo) y en muestras limpias (solo querógeno), se cuantifican en las condiciones de Vaca Muerta. Estas diferencias contienen información valiosa, pero a menudo se presentarán todavía entre incertidumbres.

Un enfoque especial se ha señalado respecto a las diversas definiciones de pesos secos elementales y COT. Es importante comparar las cantidades comparables, y cuando hay presencia de querógeno, las mediciones de los registros y de núcleos adoptan diferentes definiciones. Esto debería tomarse en cuenta *a priori* de cualquier comparación.

En este documento, las nuevas mediciones espectroscópicas continuas demostraron producir beneficios a través de una gran exactitud. Su resolución vertical es del orden de los 60 cm; en las condiciones de Vaca Muerta, donde la litología y la concentración de COT puede variar a cada metro, con la sucesión de margas, carbonatos convencionales más limpios o capas siliciclásticas, con capas

intrusivas volcánicas, con depósitos de cenizas y calcita fibrosa (o *beefs*), este tipo de medición es clave para definir la columna estratigráfica. ■

## Bibliografía

\* Mark of Schlumberger

\*\* Advanced Cutting Characterization, Schlumberger Geoservices

Chiapello E., Buhrig C., Rodríguez, L., Echequiquia R., Bolognani M., Nuevas tecnologías de *mud logging* en la evaluación de formación Vaca Muerta. 2014. IX Congreso de Exploración de Hidrocarburos.

Freedman R., Herron S., Anand V., Herron M., May D. y Rose D., 2014, *New Method for Determining Mineralogy and Rock Properties from Elemental Chemistry Measured by Gamma Ray Spectroscopy Tools*, SPE-170722-MS.

Grau J., Schweitzer J.S., Ellis D.V., Hertzog R.C., 1989, *A Geological Model for Gamma-ray Spectroscopy Logging Measurements*, Nucl. Geophys., Vol. 3, Nº 4, págs. 351-359.

Herron S.L. y Herron M. H., 1996. *Quantitative Lithology Application to open hole and cased hole spectroscopy*, Transactions of the SPWLA 37th Annual Symposium, junio 16-19.

Herron, S.L. y Herron, M.M. 2000. *Application of Nuclear Spectroscopy Logs to the Derivation of Formation Matrix Density*. SPWLA 41st Annual Logging Symposium, Dallas, Texas, USA, junio 4-7.

Herron S., Herron M., Pirie I, Saldungaray P., Craddock P., Charsky A., Polyakov M., Shray F., Li T., 2014. *Application and Quality Control of Core Data for the Development and Validation of Elemental Spectroscopy Log Interpretation*, Transactions of the SPWLA 55th Annual Symposium, mayo 18-22.

Miles J. y Badry R., 2014. *Borehole Carbon Corrections Enable Accurate TOC Determination from Nuclear Spectroscopy*, Petrophysics, Vol. 55, Nº 3.

Radtke R. J., M. Lorente, B. Adolph, M. Berheide, S. Fricke, J. Grau, S. Herron, J. Horkowitz, B. Jorion, D. Madio, D. May, J. Miles, L. Perkins, O. Philip, B. Roscoe, D. Rose y C. Stoller, 2012. *A New Capture and Inelastic Spectroscopy Tool Takes Geochemical Logging to a Next Level*, Transactions of the SPWLA 53<sup>rd</sup> Annual Symposium, junio 16-20.

Vandenbroucke M. y Largeau C., 2007. *Kerogen origin, evolution and structure*, Organic Geochemistry 38, 719-833.

iAPG

www.iapg.org.ar

# A AOG

X ARGENTINA OIL&GAS  
EXPO 2015

Exposición Internacional del Petróleo y del Gas



2° CONGRESO  
LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE  
**PERFORACIÓN**  
TERMINACIÓN, REPARACIÓN Y SERVICIO DE POZOS

**5 – 8.10.2015**

La Rural Predio Ferial  
Buenos Aires, Argentina

Organiza y Realiza

iAPG

INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Comercializa y Realiza: Messe Frankfurt Argentina - Tel.: + 54 11 4514 1400 - e-mail: aog@argentina.messefrankfurt.com



messe frankfurt