

METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LA INCERTIDUMBRE GEOLÓGICA EN EL ATERRIZAJE DE POZOS HORIZONTALES EN RESERVORIOS NO CONVENCIONALES

Lucas M. Álvarez¹, Juan M. Reynaldi¹, Lisandro G. Rodríguez¹, Sebastián María¹

1: Pluspetrol S.A. lalvarez@pluspetrol.net, jreynaldi@pluspetrol.net,
lrodriguez01@pluspetrol.net, smaria@pluspetrol.net

Palabras clave: Metodología, Incertidumbre, Geonavegación, Pozos Horizontales, Aterrizaje de Pozos

ABSTRACT

The economic development of unconventional resources in Vaca Muerta Formation is based on the drilling of horizontal wells, arranged in several vertically stacked navigation levels. Recovery optimization depends largely on an appropriate stratigraphic emplacement of the different drilled lateral sections. Continuous geological monitoring during the vertical drilling phase and the construction of the well curve allows adjustment of the structural and stratigraphic model, reducing the uncertainty in the location of the *Landing Point*.

The main challenge of geosteering is to place the TVDSS (Sub-Sea True Vertical Depth) of the LP (*Landing Point*) accurately during the deviation phase. This task is essential to make the least number of corrections during drilling and to avoid incorrect landings that will latterly require corrections. The early the adjustments are made, the better, since it allows to build smoother trajectories, highly important for the normal development of well operations (casing, cementing, completion).

The objective of this paper is to present a geological monitoring methodology that allows to reduce the stratigraphic / structural uncertainty during the landing stage of horizontal wells.

To achieve the stated objective, an interactive Operational Spreadsheet was created, that integrates information on neighboring wells stratigraphy (tops and thickness), which allows a real-time drilling position adjustment according to their interpretation and LP prognosis. This method includes statistical parameters associated with the expected stratigraphic *markers* position, which defines a limited zone of uncertainty for the LP location.

The application of this methodology in Vaca Muerta Formation (La Calera block) reduced the stratigraphic uncertainty of the LP, minimizing the trajectory adjustments during the curve construction phase. This methodology allowed the construction of smoother trajectories and a more accurate well location within the levels of interest.

The use of this technique resulted in great operational benefits, especially in those fields with rotating geosteering crews, since it standardizes landing and navigation criteria, reducing stratigraphic and structural uncertainty along the horizontal drains.

INTRODUCCIÓN

La planificación de un pozo horizontal implica, entre otras tareas, establecer los límites de los objetivos sobre la base de modelos geológicos elaborados a partir datos sísmicos, mapas de

estructura, e información de pozos vecinos. La resolución de los datos sísmicos, la interpretación y el proceso involucrado en la conversión tiempo-profundidad produce que los mapas geológicos y las propiedades modeladas conserven imprecisiones implícitas a escala de pozo. Desde el punto de vista de la producción, un pozo óptimo requiere mantener la trayectoria en niveles estratigráficos específicos, conservar cierta distancia con las barreras litológicas, y evitar zonas de contacto de fluidos. En este contexto, la geonavegación es actualmente la única metodología que permite controlar el emplazamiento de los pozos. Las técnicas de “perforación geométrica” conservan, por naturaleza, importantes incertidumbres implícitas, siendo imposible asegurar la ubicación estratigráfica precisa del pozo. Las principales causas que afectan las tareas de geonavegación pueden agruparse de forma variada (Lesso 1996, Kullawan 2013), siendo el aterrizaje (LP) y la navegación dentro del nivel de interés, los factores críticos a controlar durante el proceso.

Dentro de las Fases iniciales de Exploración y Piloto del bloque La Calera (María *et al.* 2022, CONEXPLO 2022), la baja densidad de pozos tipo (*Typewells*), la resolución de sus perfiles de correlación, y las incertidumbres del modelo geológico, requirieron asumir una “ventana” de aterrizaje ($\pm 2.5\text{m}$). Dentro de este intervalo, cada intérprete estableció su criterio para ubicar el LP, lo cual generaba iniciar la sección horizontal del pozo en niveles estratigráficos diferentes. Además, cuando la correlación estratigráfica no era clara, se producían fuertes interrogantes en la proyección en profundidad, requiriéndose hacer ajustes agresivos de inclinación, a modo de poder lograr un modelo que ajuste a la geometría real del pozo. Este tipo de acciones produjeron resultados adversos, tal como aterrizajes fuera de zona que requerían ajustes posteriores de mayor dificultad, dificultando posteriormente las operaciones de perforación y completación del pozo.

Con el fin de cuantificar la incertidumbre asociada al intérprete (geonavegador), se realizó el post-job de los pozos perforados durante la fase Piloto y Desarrollo 1 en el bloque La Calera (María *et al.* 2022) (Fig. 1), un activo no convencional operado por Pluspetrol S.A. en sociedad con YPF S.A. Cada intérprete ($n=4$) generó una interpretación por cada pozo, pudiéndose observar que la subjetividad de cada geonavegador introducía una variable de incertidumbre adicional a las conocidas por la propia técnica y el tipo de software utilizado. Específicamente, la cuestión más crítica de la tarea, y de mayor importancia operativa resultaba ser el ajuste en la posición del LP (Fig. 2).

Para reducir las incertidumbres mencionadas, se desarrolló una metodología de trabajo operativo que permitiera estandarizar los criterios de aterrizaje de forma temprana, como así también navegar los pozos de manera precisa, integrando distintas variables geológicas. Su aplicación permitió reducir la incertidumbre estratigráfica / estructural de los distintos niveles de navegación en la Fm. Vaca Muerta, principalmente en aquellas secuencias de carácter progradante que dificultan las correlaciones convencionales. El ajuste de la posición de aterrizaje (LP), debe ser lo más preciso y temprano posible. Preciso, para evitar realizar demasiadas correcciones que afecten la geometría del pozo, y temprano, para cumplir con el diseño de desarrollo del campo

y lograr efectuar las correcciones necesarias en forma gradual, minimizando la tortuosidad en la geometría final del pozo.

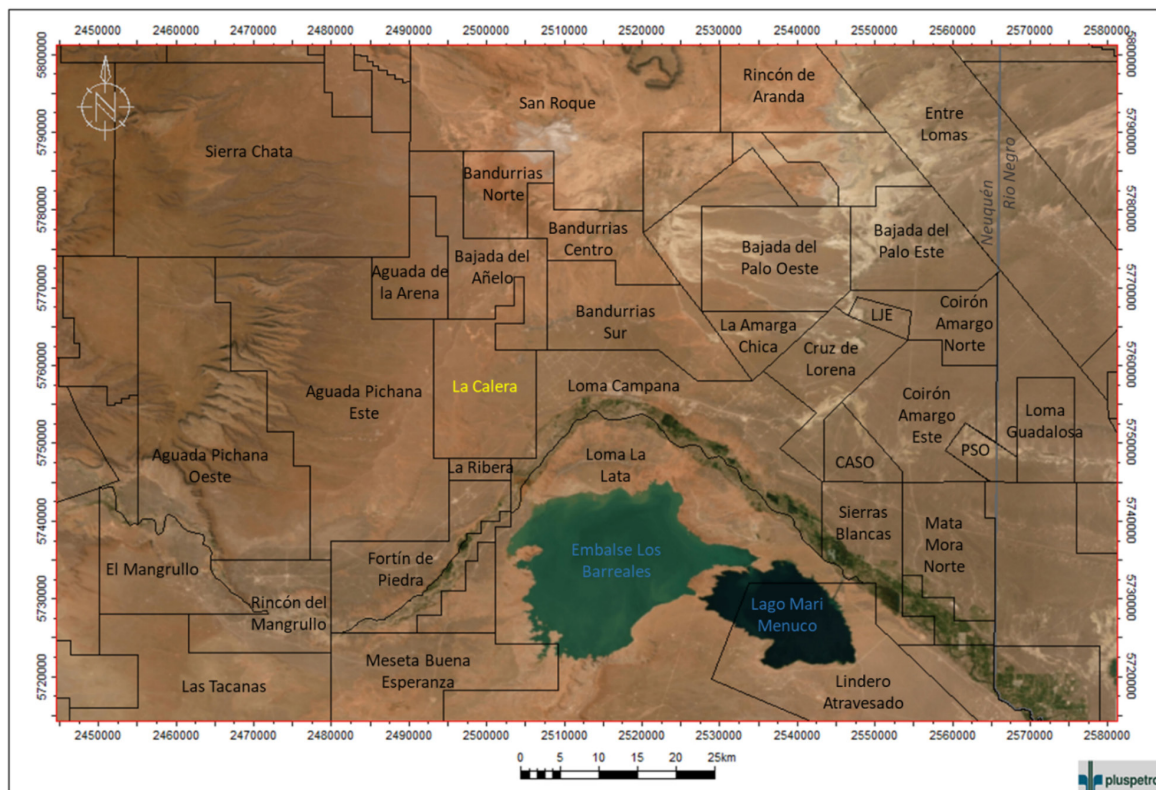


Figura 1. Mapa de ubicación del bloque La Calera, Cuenca Neuquina.

CONTEXTO GEOLÓGICO

En los últimos años se ha generado y publicado una nutrida bibliografía respecto a la geología y desarrollo operativo de la Fm. Vaca Muerta, incluyendo su caracterización sedimentológica, estratigráfica, estructural, y sus propiedades como roca madre [Carbono Orgánico Total (COT), variaciones de la relación Gas-Petróleo (GOR), etc.], como así también su comportamiento geomecánico y respuestas operativas durante las etapas de completación y puesta en producción de sus pozos. Dentro de los principales compendios se pueden mencionar los trabajos de: Gulisano *et al.* (1994), Fernandez *et al.* (2003), Dominguez *et al.* (2014), González *et al.* (2016) y referencias allí citadas, Domínguez y Catuneanu (2017), entre otros.

La secuencia estratigráfica completa de la Fm Vaca Muerta en el bloque La Calera posee unos 400m de espesor, estando integrada por Fangolitas margosas y Margas fangolíticas, y calcáreas (Bulatovich *et al.* 2022) que limitan con la Fm Quintuco por una superficie erosiva de carácter regional (145Ma, B1 de Desjardins *et al.* 2016). Tiene un COT promedio de 4% y una madurez térmica de 1.5%.

La caracterización sismoestratigráfica de vinculación regional realizada en el bloque, permitió identificar los principales eventos geológicos y su evolución secuencial. A su vez, junto al análisis de litofacies, petrofísica y geoquímica, se subdividió el intervalo de la Fm. Vaca Muerta en 3 segmentos geológicos: A, B y C (Maria *et al.* 2022, CONEXPLO 2022) (Fig. 3).

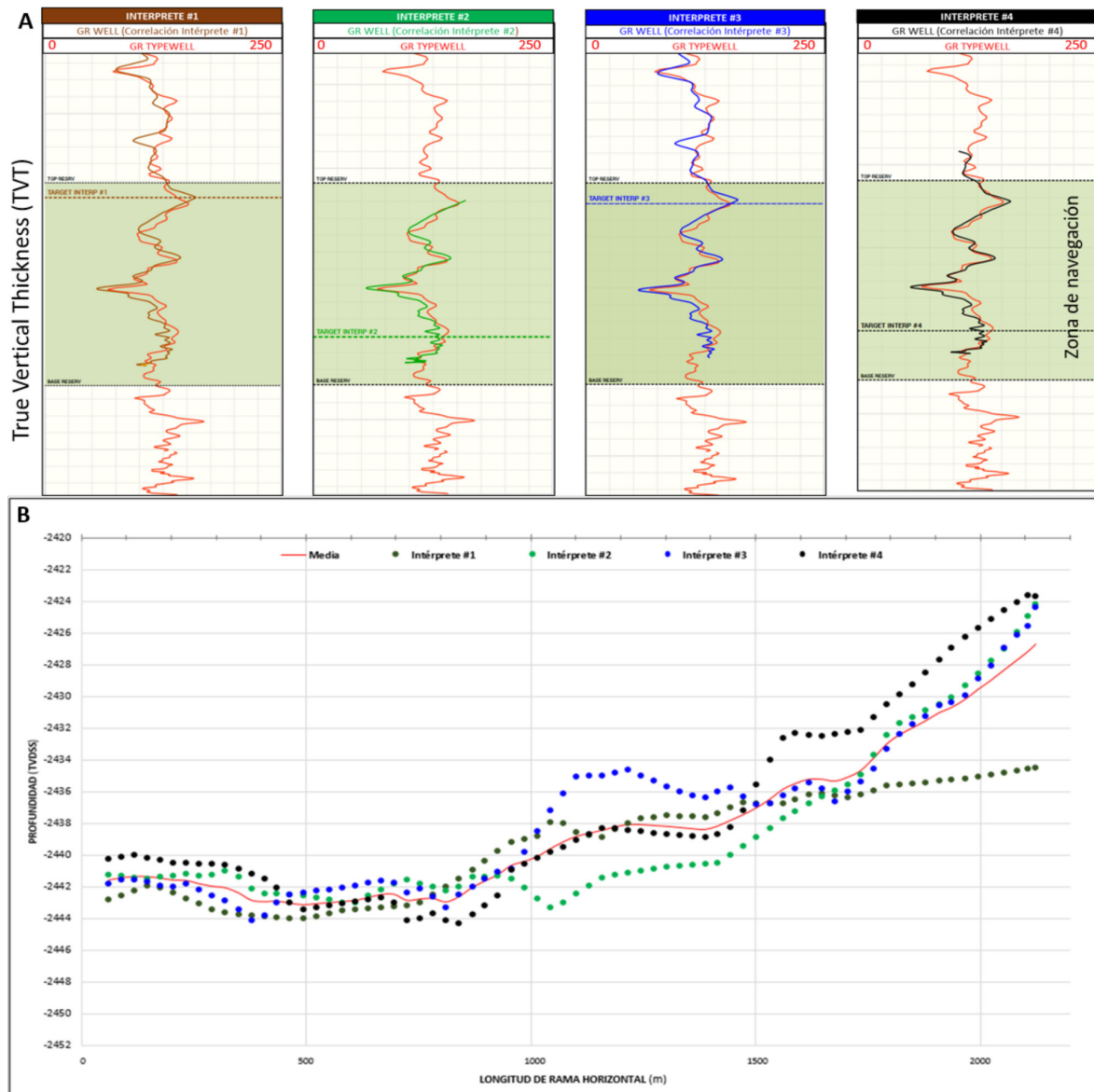


Figura 2. A) “Zona de Navegación” ($\pm 2.5\text{m}$) donde cada intérprete establece su criterio para ubicar el LP, produciendo inicios de secciones horizontales en distintos niveles estratigráficos. B) Dicha decisión posteriormente impactó en la interpretación final de la rama horizontal con importantes desvíos en los modelos generados por cada uno de ellos.

El segmento basal, denominado “A”, corresponde a un depósito tabular y homogéneo (agradante) presente en todo el bloque. Tiene un espesor constante de 100 m y se caracteriza por presentar las mejores condiciones como roca madre y reservorio. Este nivel está compuesto por

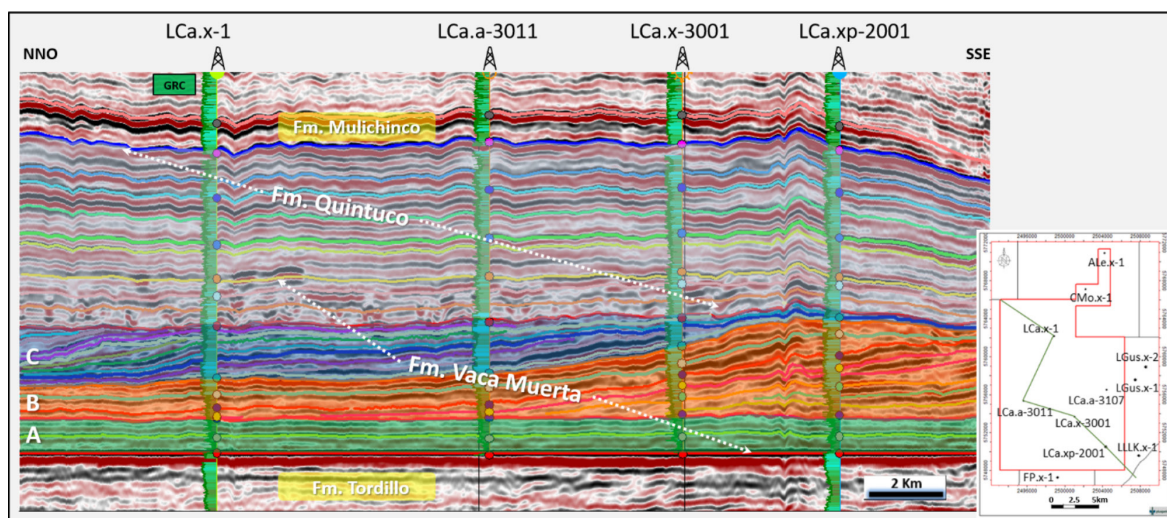


Figura 3. Línea sísmica arbitraria en tiempo NO-SE del bloque La Calera horizontalizada a la base de la Fm Vaca Muerta. Se puede apreciar la evolución secuencial e identificación de Segmentos A, B y C.

facies distales, que incluyen las zonas conocidas como la Cocina, la Parrilla, y la porción inferior del nivel Orgánico. Le sigue el segmento “B” de carácter progradante, donde se intercalan facies proximales y distales vinculadas al talud. Presenta los mayores espesores en el sector Sudeste, reduciéndose hacia el Noroeste. Por último, el segmento “C”, también progradante, conserva predominio de facies proximales (> carbonáticas), reduciendo su espesor hacia el borde Sudeste debido a la fuerte influencia de la discordancia erosiva de alcance regional (SB_TVM en Figura 4), que marca el límite de secuencia de la Fm Vaca Muerta a los 145Ma.

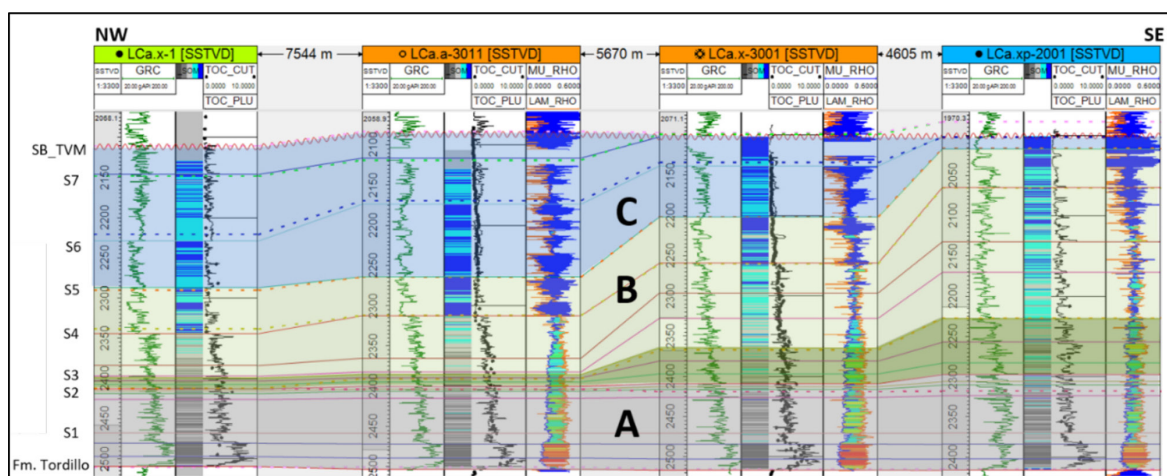


Figura 4. Correlación estratigráfica con los pozos presentados en la Figura 3. Se observa la variación de espesores en los segmentos B y C, y la fuerte correlación de las distintas unidades sismoestratigráficas mencionadas, contenido de COT, y principales atributos de propiedades mecánicas.

La aplicación de algoritmos informáticos especializados y la integración de muestras de pozo a la interpretación sismoestratigráfica (Rodríguez y María 2022), permitieron profundizar las clasificaciones geométricas (Desjardins *et al.* 2016), logrando definir distintos subambientes de

deposición caracterizados por sus litologías (Fig. 5, pista “Facies”). Comprender estos procesos y la evolución paleogeográfica de cada unidad, colabora en la interpretación de cada uno de los segmentos geológicos y sus variaciones de espesor a lo largo del bloque (Fig. 5).

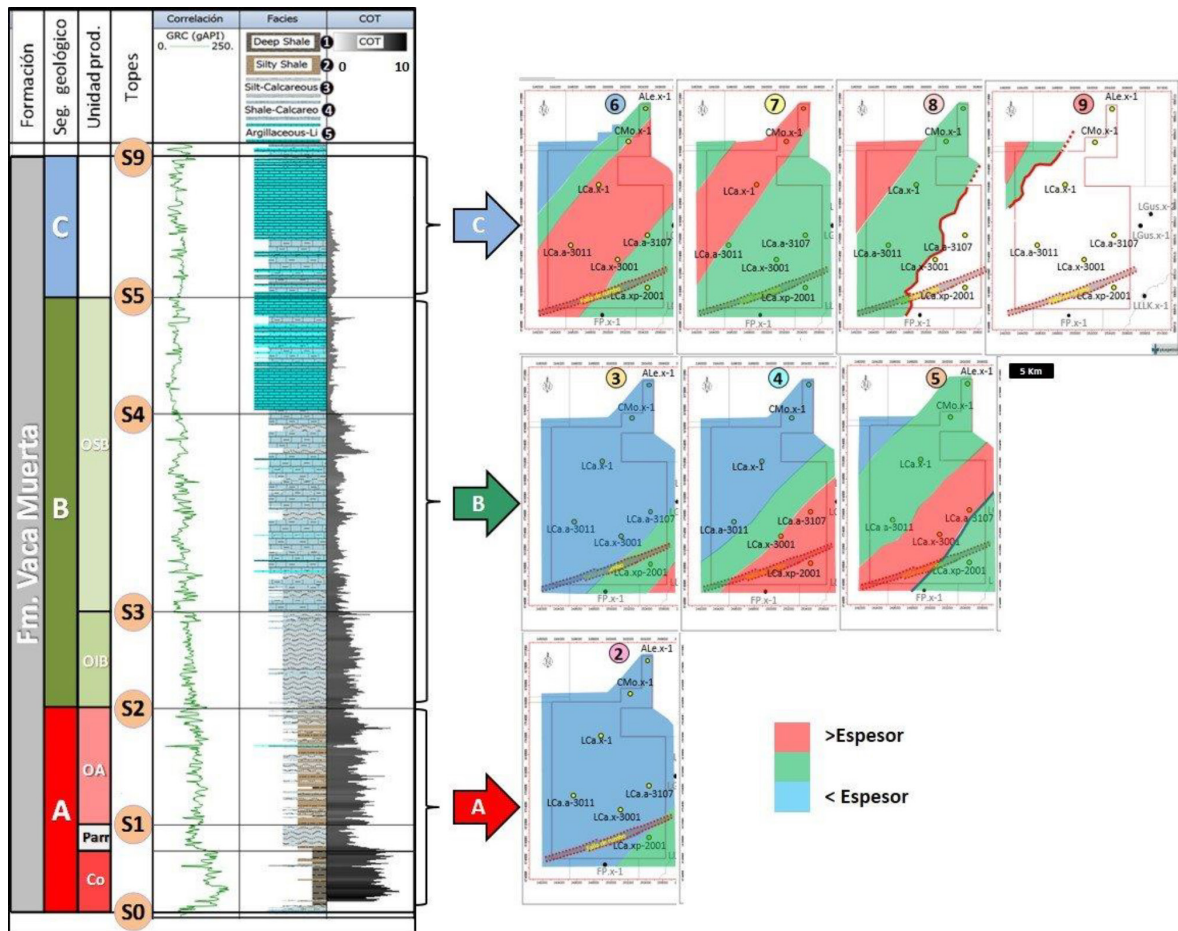


Figura 5. Perfil tipo de La Calera y mapas isocronopáquicos por secuencia agrupados según los segmentos geológicos mencionados. Apréciase las variaciones de espesor, y el sentido de progradación. S0, S1, S2, S4 y S9 son equivalentes a T1, T3, T4, T5 y B1 de Desjardins et al. (2016), respectivamente.

FUENTES DE INCERTIDUMBRE EN LA GEONAVEGACIÓN

La identificación y tratamiento de la incertidumbre en la geonavegación de pozos ha sido abordada por diversos autores (Lesso 1996; Kullawan 2013). La clasificación de incertidumbres propuesta por Kullawan (2013) tiene una fuerte representatividad en la experiencia obtenida en nuestro trabajo. Este autor diferenció las incertidumbres relacionadas con las operaciones de geonavegación en dos categorías principales:

1. Incertidumbres Geológicas.
2. Incertidumbres Operativas.

2. Incertidumbres Operativas:

Existen cuatro fuentes principales que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos del pozo:

- Incertidumbres en la perforación y direccionalidad: son netamente operativas y dependientes de las tecnologías utilizadas. Incluye la tendencia del trépano a desviar su trayectoria hacia litologías menos resistentes (Rajaieyamechee *et al.* 2010), y la capacidad de perforación de la formación con conjuntos de fondo (Bore Hole Assembly) particulares.
- Fiabilidad de la información en tiempo real: asociados a errores sistemáticos (imperfecciones del equipo) o procedimientos inapropiados, como a errores aleatorios vinculados a la precisión en la puesta en profundidad, velocidad de registro, procesamiento y filtrado de señales, factores geométricos y entornos de pozo (Eyvazzadeh *et al.* 2005).
- Incertidumbres en la interpretación de datos: la interpretación de datos en tiempo real puede tener un efecto asociado al control de calidad de la información. Interpretaciones incorrectas o deficientes pueden resultar en un rango de incertidumbre que excede a la originalmente asumida (Adams 2005).
- Incertidumbres en la posición del pozo: debido a limitaciones o dificultades en la medición del registro de desviación (*survey*).

Del análisis post-job realizado con distintos interpretes en pozos del bloque La Calera, se pudo definir una incertidumbre asociada al interprete (Figura 2), que se incorporaría a las Incertidumbres en la interpretación de datos, definida por Adams (2005). Ignorar estas incertidumbres podría impactar negativamente en el correcto emplazamiento del pozo, lo que en última instancia puede repercutir en mermas de producción y rendimiento del yacimiento. Cuantificar las incertidumbres es extremadamente complejo, siendo importante su previa identificación y comprensión para lograr ser incluidas como concepto de evaluación dentro de los equipos de geonavegación.

METODOLOGÍA APLICADA

Se creó una Planilla Operativa que permitió realizar estimaciones de mayor precisión en la posición estratigráfica de límites formacionales, niveles de correlación (marcadores o *markers*) y principalmente, la posición del objetivo geológico (*Landing Point*, LP) en tiempo real. Actúa además como una herramienta de control y apoyo a las correlaciones convencionales y modelos regionales. La Planilla Operativa diseñada integra los topes formaciones y espesores estratigráficos de pozos vecinos de referencia, con la incertidumbre existente entre las proyecciones estratigráficas esperadas y las encontradas.

Planilla Operativa

Su confección y uso puede describirse en 4 etapas de fácil ejecución:

1. Base de datos: esta etapa está definida por la recopilación y clasificación de toda la información de los pozos del campo y aquellos con potencial para ser considerados pozos tipo (*Typewells*). El trabajo consiste en definir los principales pases estratigráficos, y un determinado número de niveles de correlación auxiliares que se encuentran claramente definidos en todo el bloque, y serán de utilidad al momento de la geonavegación. Propagada la correlación a todo el bloque, se consigue una primera base de datos, la cual se irá actualizando con los nuevos pozos perforados.
2. Sección “*Typewell*” (Pozo Tipo): la finalidad de esta sección es definir en el pozo tipo los *markers* más representativos que se esperan atravesar en la perforación del pozo a geonavegar, y establecer la relación de espesores entre ellos y el objetivo. La selección del *Typewell* surge, no solo de la proximidad geográfica, sino también del análisis previo del contexto geológico donde se emplazará el pozo a perforar. Por ejemplo: para la Fm Vaca Muerta, se debe tener en cuenta el sentido de progradación y la ubicación de los quiebres de pendiente de plataforma (ver 1. Incertidumbres Geológicas). El sentido de progradación define la orientación de los sigmoides de sedimentación, los cuales presentan variaciones de espesor significativos, definiendo para la zona de talud los mayores espesores (Fig. 5). En tanto que los quiebres de pendiente (shelfbreaks) son los que permiten separar los distintos ambientes dentro del sigmoide de depositación (Fig. 6). La definición correcta de estas dos variables va a permitir la elección apropiada del *Typewell*, de manera de poder obtener información precisa en la Planilla Operativa.

Al momento de definir el *Typewell* más representativo (Fig. 7a), la planilla muestra una lista con los topes y/o *markers* disponibles en la base de datos (Fig. 7b), de los cuales se seleccionan los que presenten una firma espectral clara, distintiva y regional durante la construcción de la curva del pozo (firma espectral se refiere al patrón en las curvas del registro de rayo *gamma*). Cada *marker* tiene asociada una TVDSS y la Planilla calcula automáticamente a partir de ellos el espesor existente entre los *markers* seleccionados y el objetivo, que luego serán utilizados en la sección siguiente (Fig. 7c).

3. Sección “Prognosis”: a medida que avanza la perforación, y se construye la sección vertical y la curva del pozo, se define la posición estratigráfica real de cada uno de los *markers* previamente seleccionados (Fig. 8d). Con esa posición definida, y considerando la relación de espesores previamente calculada, se genera una actualización en tiempo real de la prognosis, ajustando la posición (TVD/TVDSS) de los *markers* subsiguientes y del LP (Fig. 8e). La definición de cada nuevo *marker* atravesado actualiza las estimaciones en

la posición estratigráfica de los próximos, permitiendo observar la evolución del grado de incertidumbre entre la posición proyectada y la real. Con ello, se logran ajustes de interpretación en tiempos inmediatos, evitando la subjetividad interpretativa y resultando ampliamente favorable al proyecto, dado que efectiviza y simplifica la comunicación y la toma de decisiones en las modificaciones de trayectoria.

4. “Desviación Standard”: son las diferencias entre las proyecciones al objetivo generadas por esta metodología, y la posición real definida en la etapa de prueba (análisis de 21 pozos correspondientes a la primera campaña de perforación). Con el objetivo de conocer con mayor precisión estas incertidumbres se calcularon las desviaciones standard en la proyección desde cada *marker* a la posición del objetivo (Fig. 9). Se observó que las mayores desviaciones están estrechamente vinculadas al carácter progradante de los segmentos B y C, mientras que las de menor magnitud se relacionan al sector agradante

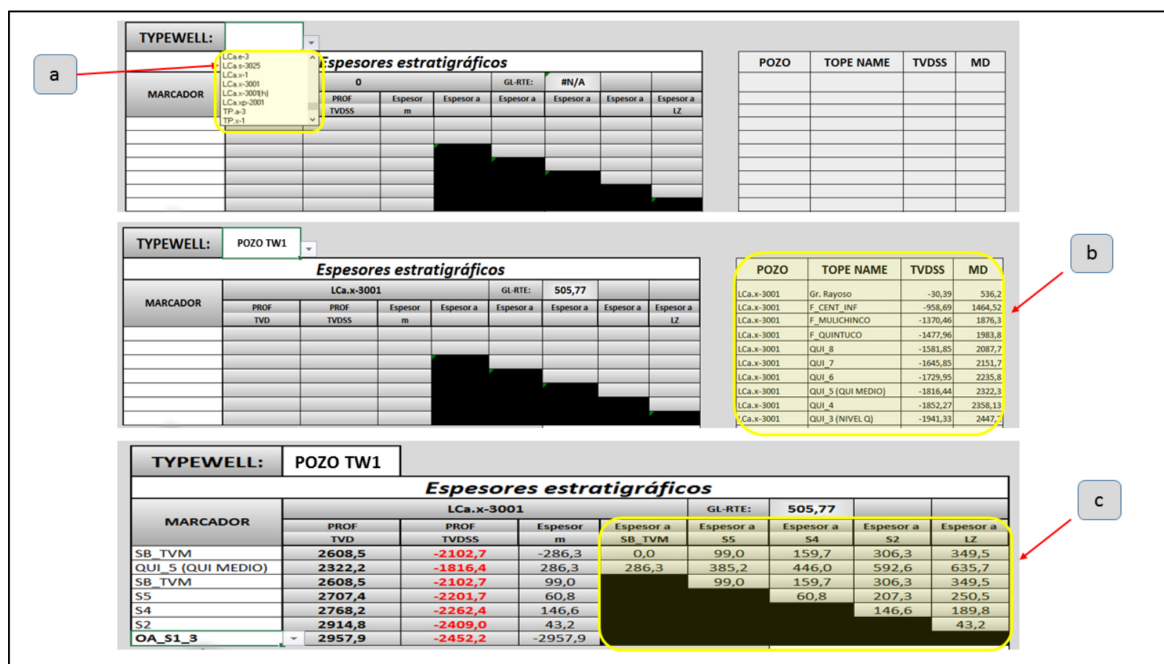


Figura 7. a) Selección de Pozo Tipo (*Typewell*). b) Ejemplo de marcadores disponibles para un *Typewell* del bloque La Calera. c) Cálculo de espesores de los marcadores seleccionados.

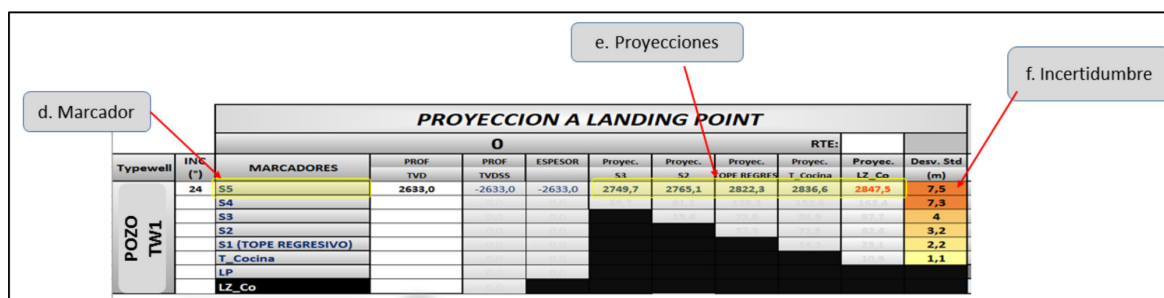


Figura 8. Secuencia de trabajo en la planilla operativa (sección Prognosis) indicando d) los distintos marcadores de referencia, e) la TVD proyectada en tiempo real a cada uno de ellos, y f) su incertidumbre.

de la formación (segmento A). La desviación standard debe ser considerada al momento de ajustar la posición final del LP (Fig. 8f).

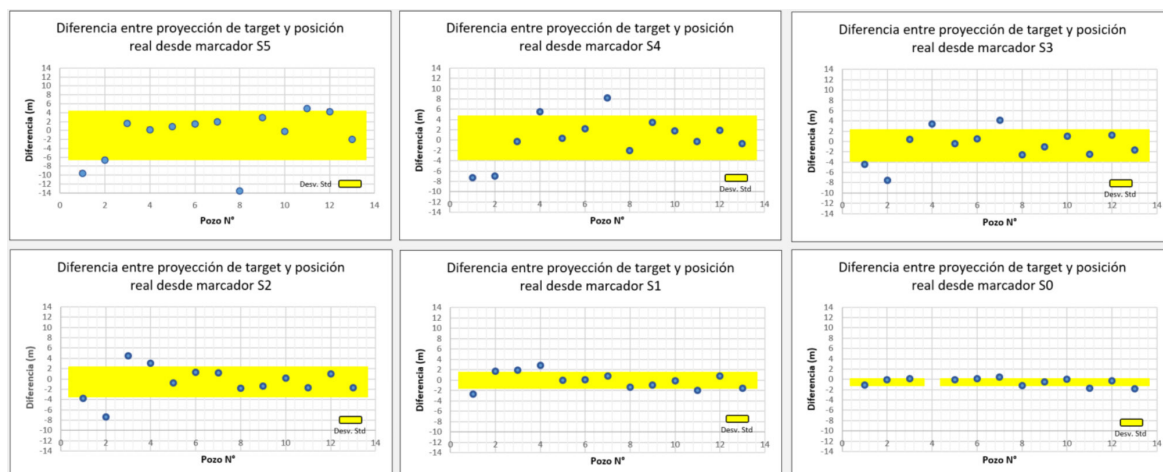


Figura 9. Desviaciones standard en la proyección desde cada marcador a la posición objetivo (TZ = Target Zone). Área amarilla representa los desvíos esperados.

Caso Ejemplo:

Durante la construcción de la curva de un pozo horizontal del bloque La Calera, desde los 15° a los 36° de inclinación vertical, las proyecciones obtenidas al considerar los *markers* seleccionados correspondientes al segmento progradante B, mostraban la necesidad de una corrección entre -3.2 m y -3.4 m, respecto a la TVD del LP planeado (Fig. 10). Dado que se trata del segmento progradante de la formación, solicitar cambios de trayectoria puede resultar una decisión apresurada. Por este motivo se trabajó en ir evaluando la tendencia mostrada por los *markers* (profundización del LP) y buscar su confirmación al alcanzar los intervalos agradantes.

POZO: LATERAL 1																			
PROYECCION A LANDING POINT												CHECK PLAN DE TRAYECTORIA							
LATERAL 1												RTE: 505,35							
TypeWell	INC (°)	MARCADORES			PROF. TVD	PROF. TVDSS	ESPEJOR	Proyec. S2	Proyec. OA, S1, 3	Proyec. TOPE REGRESO	Proyec. T. Cocina	Proyec. LZ. Co	Desv. Std (m)	LP Planeado	LP vs TL	RECOMENDACIÓN	COMENTARIOS		
Pozo Tipo	15 S4		2767,4	-2262,1	102,4	2914,0	2957,2	2975,6	2989,1	3000,6	7,5	2997,35	 3,2	2997,35	 3,2	BAJAR LP			
	36 S3		2869,8	-2364,5	-2869,8	2914,1	2957,3	2975,7	2989,2	3000,7	7,3	2997,35	 3,4	2997,35	 3,4	BAJAR LP			
	S2				505,4	0,0		48,2	61,6	75,1	86,6	4							
	OA, S1_3				505,4	0,0			18,4		31,9	43,4	3,2						
	S1 (TOPE REGRESIVO)				505,4	0,0				13,5	25,0	2,2							
	T. Cocina				505,4	0,0					11,5	1,1							
	LP				505,4	0,0													
	LZ. Co				505,4														
														0,0	EXCELENTE				
														ATERRIZAJE					
														RECOMENDACIÓN					
														COMENTARIOS					
														BAJAR LP					
														BAJAR LP					

Figura 10. Proyecciones realizadas a partir de la definición de los marcadores del sector progradante (segmento B) entre los 15° y los 36° de inclinación del pozo.

La definición de los *markers* del segmento A (agradante) entre los 47° y los 60° de inclinación, confirmaron la tendencia antes observada, aunque mostraron una variación menor a la estimada durante la perforación del segmento B (TVD = -2.6 m respecto al LP planeado). Con 60° de

inclinación del pozo, se decidió realizar un único ajuste de LP para bajar 3 m en TVD y poder ubicar el pozo en la zona de interés (Fig. 11). Al alcanzar el punto de aterrizaje, el pozo se encontraba a +0.3 m de distancia del nivel de navegación establecido como objetivo (Fig. 12 y Fig. 13).

POZO: LATERAL 1													
pluspetrol													
PROYECCION A LANDING POINT													
LATERAL 1													
Typewell	INC (°)	MARCADORES	PROF. TVD	PROF. TVDSS	ESPESSOR	Proyec. S2	Proyec. OA_51_3	Proyec. TOPE REGRES.	Proyec. T. Cocina	Proyec. LZ_Co	Dev. Std. (m)	LP Planeado	LP vs TL
Pozo Tipo	15	S4	2767,4	-2262,1	102,4	2914,0	2957,2	2975,6	2989,1	3000,6	7,5	2997,35	3,2
	36	S3	2869,8	-2364,5	43,5	2914,1	2957,3	2975,7	2989,2	3000,7	7,3	2997,35	3,4
	47	S2	2913,3	-2408,0	43,1		2956,5	2974,9	2988,4	2999,9	4	2997,35	2,6
	60	OA_51_3	2956,4	-2451,1	-2956,4			2974,8	2988,3	2999,8	3,2	2997,35	2,5
		S1 (TOPE REGRESIVO)								13,5	25,0	2,2	
		T. Cocina								11,5	1,1		
		LP											
		LZ_Co											
CHECK PLAN DE TRAYECTORIA													
RECOMENDACIÓN													
COMENTARIOS													
Solicitó bajar LP a 3000 TVD													
EXCELENTE													

Figura 11. Proyecciones realizadas incluyendo los primeros marcadores del sector agradable (segmento A) con inclinación del pozo de 60°, en este punto se tomó la decisión de ajustar la posición del LP.

POZO: LATERAL 1													
pluspetrol													
PROYECCION A LANDING POINT													
LATERAL 1													
Typewell	INC (°)	MARCADORES	PROF. TVD	PROF. TVDSS	ESPESSOR	Proyec. S2	Proyec. OA_51_3	Proyec. TOPE REGRES.	Proyec. T. Cocina	Proyec. LZ_Co	Dev. Std. (m)	LP Planeado	LP vs TL
Pozo Tipo	15	S4	2767,4	-2262,1	102,4	2914,0	2957,2	2975,6	2989,1	3000,6	7,5	2997,35	3,2
	36	S3	2869,8	-2364,5	43,5	2914,1	2957,3	2975,7	2989,2	3000,7	7,3	2997,35	3,4
	47	S2	2913,3	-2408,0	43,1		2956,5	2974,9	2988,4	2999,9	4	2997,35	2,6
	60	OA_51_3	2956,4	-2451,1	18,4			2974,8	2988,3	2999,8	3,2	2997,35	2,5
	69	S1 (TOPE REGRESIVO)	2974,8	-2469,5	13,7				2988,3	2999,8	2,2	3000	-0,2
	77	T. Cocina	2988,5	-2483,2	11,6					3000,0	1,1	3000	0,0
	89	LP	3000,1	-2494,8	0,3								
	89	LZ_Co	3000,4	-2495,1									
CHECK PLAN DE TRAYECTORIA													
RECOMENDACIÓN													
COMENTARIOS													
Solicitó bajar LP a 3000 TVD													
MANTENER PLAN													
MANTENER PLAN													
ARRIBA DEL TARGET													

Figura 12. Proyecciones completas incluyendo marcadores del sector agradable, con inclinaciones del pozo entre 69° y 77°. Alcanzado el LP se observó la posición del objetivo +0.3 m por debajo de este punto.

CONCLUSIONES

La implementación de esta metodología permitió optimizar el emplazamiento final de los pozos horizontales con objetivo Vaca Muerta en el bloque La Calera.

Las proyecciones al LP realizadas dentro del sector progradante (segmento B) son las que presentan la mayor desviación standard. En tanto que las proyecciones que se encuentran dentro del sector agradable (segmento A) muestran una menor dispersión.

El seguimiento continuo de las desviaciones entre la posición de LP planificado y la proyectada, permitieron tomar decisiones con alto grado de precisión sin afectar la geometría del pozo. En aquellos casos donde se evidenciaba la necesidad de ajustar la posición del aterrizaje se logró establecer un único ajuste en etapas tempranas de construcción de la curva (inclinaciones menores a 60°), mejorando significativamente la performance operativa.

Aun considerando un buzamiento estructural regional de 90° ($\pm 1^\circ$) para el bloque, las variaciones litoestratigráficas y de espesor en zonas de carácter progradante (de difícil correlación), acotaron las incertidumbres en la estimación de la posición real del LP al orden de los ± 3 m,

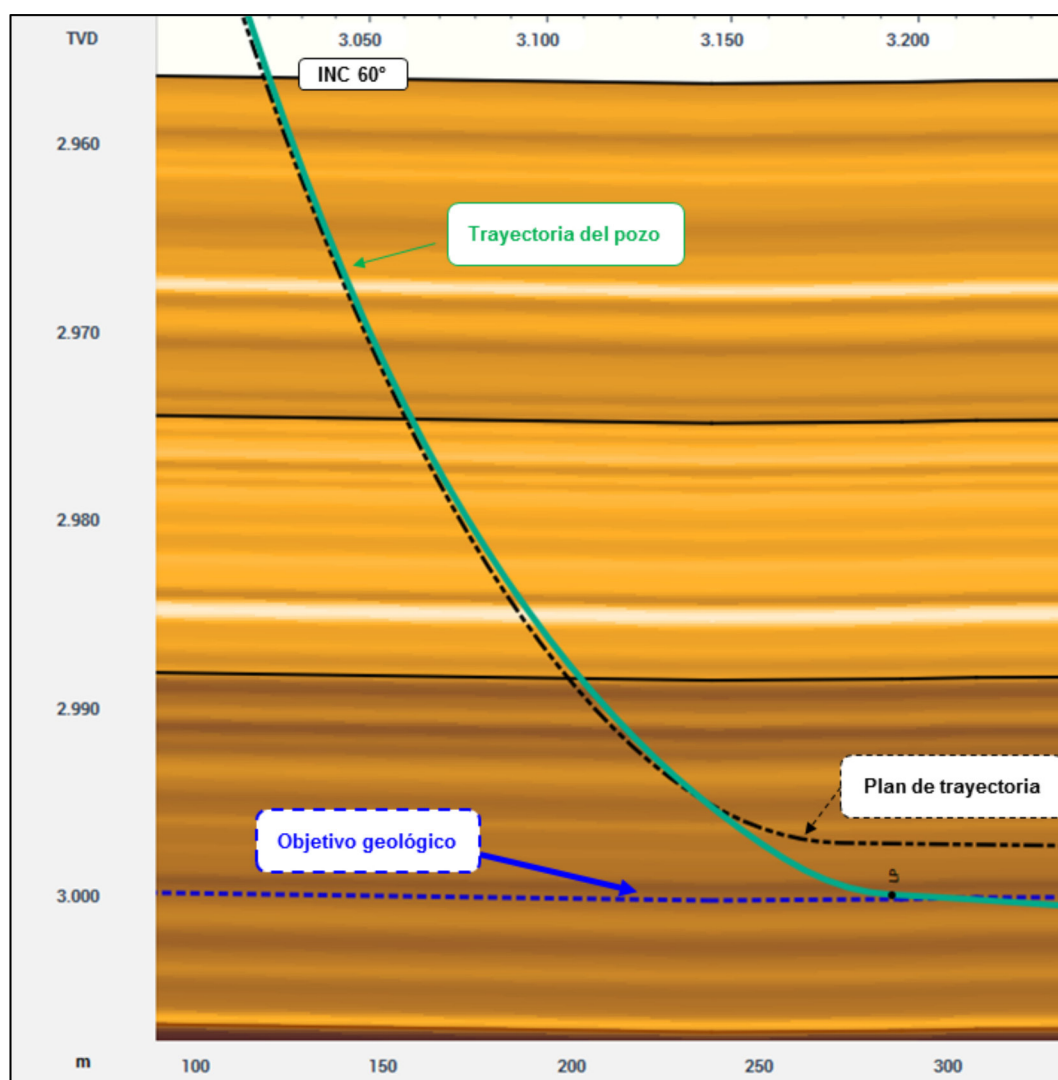


Figura 13. Representación gráfica del aterrizaje del pozo (sección cortina coloreada en base la intensidad del registro de Rayos *Gamma*). A los 60° de inclinación se ajustó a la posición del LP según lo indicado por la Planilla Operativa. Se alcanzó el punto de aterrizaje con una diferencia de +0.3 m con respecto al objetivo geológico.

mientras que para los *markers* de la zona agrandante (segmento A) la incertidumbre estimada fue menor a ± 1 m.

La apropiada elección de los *Typewells* resulta fundamental para el correcto desempeño de esta metodología.

La utilización de esta Planilla Operativa demostró facilitar la tarea de geonavegación en yacimientos donde interactúan distintos intérpretes, dado que, al utilizar niveles de correlación y espesores definidos regionalmente, unifica criterios en la toma de decisiones al momento de ajustar la posición final del LP. Asimismo, actúa como generadora de base de datos para futuros análisis estadísticos.

Lograr posicionar los pozos de manera precisa en el subsuelo permite el desarrollo ordenado de múltiples niveles de navegación, aporta objetividad a pruebas empíricas de distanciamiento y stacking, y facilita además la interpretación de los resultados productivos del yacimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el grupo de trabajo de La Calera (Juan Mariano Herrera, Stefani Bulatovich, Nicolás Olazar, Pedro Casanueva, Andres Kubli y Hector Marnetti), por su dedicado compromiso para el desarrollo de esta metodología.

REFERENCIAS CITADAS

- Adams, S. J., 2005. Quantifying Petrophysical Uncertainties. Proc., SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia.
- Bulatovich, S., Olazar, N.N., Rodriguez, L.G., 2022. Análisis Litofacial y Estimación de TOC en la Formación Vaca Muerta Mediante Fluorescencia de Rayos X. Aplicaciones en el Bloque La Calera. XXI Congreso Geológico Argentino, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
- Desjardins, P., Fantin, M., Gonzalez Tomassini, F., Reijenstein, H., Sattler, F., Dominguez, F., Kietzmann, D., Leanza, H., Bande, A., Benoit, S., Borgnia, M., Vittore, F., Simo, T., Minisini, D. 2016. Capítulo 2: Estratigrafía Sísmica Regional. En Gonzalez G. *et al.* (eds) Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta. IAPG: 5-22, Buenos Aires.
- Dominguez, R.F., Catuneanu, O., 2017. Regional Stratigraphic Framework of the Vaca Muerta – Quintuco System in the Neuquén Embayment, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Domínguez, R.F., Paulin S., Constanzina M.J., Askenazi A.D., Seoane F.N., 2014. Estratigrafía del Intervalo Vaca Muerta – Quintuco en el Sector Central de la Cuenca Neuquina. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos IAPG, Mendoza, Argentina.
- Eyvazzadeh, R.Y., Kelder, O., Phillips, C. 2005. An Innovative Application to Reduce Petrophysical Uncertainty in Reservoir Monitoring: Case Studies from Giant Saudi Arabian Fields. Proc., SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Fernández, M. L., H.J. Verzi, E. Sánchez, 2003, Actividad Tectónica y Evolución Sedimentaria de los Depósitos Tithoniano / Valanginiano Temprano, Porción Oriental de la Cuenca Neuquina – Argentina. VIII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, Cartagena de Indias, Colombia.
- González, G.; Vallejo, D., Desjardins, P., González-Tomassini, F., Kietzmann, D., Gómez Rivarola, L., Marchal, D. y Domínguez, F. 2016. Transecta Regional de la Formación Vaca Muerta: Integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos. Instituto Argentino del Petróleo y Gas (IAPG) – Asociación Geológica Argentina (AGA), 252 págs. Buenos Aires.
- Gulisano, C.A., A. Gutiérrez Pleimling, R. Digregorio, 1984. Análisis Estratigráfico del Intervalo Titho-

- niano-Valanginiano (Formaciones Vaca Muerta, Quintuco y Mulichinco) en el Suroeste de la Provincia del Neuquén. IX° Congreso Geológico Argentino Actas III: 389-409.
- Kullawan, K., Bratvold, R., Bickel, J., 2013. A Decision Analytic Approach to Geosteering Operations. SPE Middle East Intelligent Energy Conference and Exhibition held, Dubai, UAE.
- Lesso, B., 1995. Geosteering 1995: Planning, Executing and Slimming Down. First Joint Symposium of the CSPG and the Canadian Well Logging Society (CWLS): Program and Abstracts, 1995. Pages 38-38.
- Maria, S., Rodriguez, L.G, Mariano, J.M. y Reynaldi, J.M., 2022. Evolución de un Proyecto No Convencional Greenfield en la Fm. Vaca Muerta, Yacimiento La Calera, Cuenca Neuquina. Metodología para la Reducción de la Incertidumbre Geológica en el Aterrizaje de Pozos Horizontales en Reservorios No Convencionales. 11° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Mendoza, Argentina.
- Rajaieyamchee, M.A., Bratvold, R.B., Badreddine, A., 2010. Bayesian Decision Networks for Optimal Placement of Horizontal Wells. Proc., SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, Barcelona, Spain.
- Rodriguez, L.G. y Maria, S. 2022. ¿Puede el Machine Learning Contribuir a la Caracterización Paleogeográfica de Vaca Muerta? XXI Congreso Geológico Argentino, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

