

CONTRIBUCION DE LA PALINOLOGIA A LA EXPLORACION DE HIDROCARBUROS: SOBRE EL CASO DEL YACIMIENTO VACA MUERTA EN ARGENTINA

Mercedes DI PASQUO * & Miria QUATTROCHIO †

INTRODUCCION

El objetivo es analizar de manera resumida diferentes aspectos que contribuyen a la exploración de hidrocarburos (petróleo y gas, productos no renovables del subsuelo) desde la Paleontología. En esta contribución se desarrolla el caso del yacimiento Vaca Muerta en Argentina, pues en estos últimos años ha recobrado una gran repercusión por constituir una parte esencial para el desarrollo de nuestra vida diaria (<http://www.shaleenargentina.com.ar/vaca-muerta>). Mucho se ha escrito sobre aspectos económicos de inversiones de alto riesgo en ambientes sedimentarios de hidrocarburos, dado que dichas acumulaciones comerciales a menudo sólo se encuentran luego de varios y costosos intentos fallidos, y también sobre los rasgos geoquímicos y tratamientos ingenieriles que atienden a la fase de explotación y su utilización en los diferentes procesos de la sociedad (Uliana et al., 1999; Anadón et al., 2015; Spacapan et al., 2018; http://www.iapg.org.ar/web_iapg/publicaciones/revista-petroleologia/). En cambio, los estudios geológicos y paleontológicos básicos sobre los gases tienen su sustento todo lo anterior fueron encarados desde inicios del 1900, como se relata en el libro *Centenario del Petróleo Argentino* (Salas, 2007), la historia de los descubrimientos de petróleo y gas en Plaza Huincul en Neuquén. Basado en informes de Whithausen, posteriormente confirmados por el geólogo alemán Juan Keidel (1877-1954) contratado por la División Minas, Geología e Hidrología, sostuvo: «En el Neuquén, según el resultado de los estudios realizados, el ala oriental del área oriental del geosinclinal andino, que como desde el sur a Mendoza hasta el río Limay, reúne perfectas condiciones geológicas para encerrar yacimientos petrolíferos, revelados en la superficie por algunas manifestaciones características: manantiales de petróleo, depósitos asfálticos, etc. El norte de Vaca muerta por su parte, se debe al geólogo estadounidense Charles Edwin Weaver, quien describió en las laderas de la Sierra de la Vaca Muerta (Neuquén), la presencia de una nueva roca generadora, en su recorrido por

Neuquén y Mendoza contratado por la Standard Oil de California prospectando el prometedor territorio (Weaver, 1931). Los primeros estudios paleontológicos fueron iniciados en las décadas del 60 y 70' (e.g. Volkheimer, 1968; Volkheimer & Quattrochio, 1975) y desde entonces se llevaron a cabo en toda la sucesión sedimentaria del Mesozoico en la Cuenca Neuquina (ver Quattrochio et al., 2007; Volkheimer et al., 2011; Martínez & Olivera, 2016). Sus aportes fueron relevantes para el descubrimiento de nuevos yacimientos y su caracterización, al menos preliminar, sobre el tipo de reservorios y la materia orgánica que los produjo (e.g. Veiga & Orchueta, 1988; Pazos, 2016).

METODOLOGIAS Y MUESTREO

El pequeño tamaño de los palinóforos (microfósiles de materia orgánica modificada, Paleopalinoología) favorece su preservación en sedimentos finos (péllitas y relacionados a dicho tamaño de grano) preferentemente de color grisáceo y castaño, y en una gran variedad de ambientes sedimentarios y permite encontrarlos a lo largo de la columna estratigráfica desde el Precámbrico hasta el presente (Palinoestratigrafía). Para obtenerlos de las rocas se aplican metodologías de acuerdo con los siguientes pasos: 1.- molienda (hasta tamaños no mayores de 2-3 mm, o sin moler); 2.- ataque químico con HCl y HF para desintegrar carbonatos y silicatos realizando lavados hasta neutralidad para el cambio de ácidos, 3.- Obtención del residuo a través de métodos como filtrado con malla de 10 micrones (o mayor diámetro según el propósito), o por concentrado con soluciones densas (e.g. Cl₂Zn); 4.- Montado de preparados palinológicos con diferentes productos, el más simple y económico es la gelatina glicérica (Traverse, 2007). Su análisis microscópico permite obtener información sobre la composición, edad (palinofloras) y tipo de querógeno (palinofacies), y el grado de maduración térmica, el cual se cuantifica usando escalas de color (Fig. 1) que indican el potencial de formación o generación de hidrocarburos (bitumen) para el nivel

* CICUTP-CONICET-ERAJADER, Dr. Matthei y España SN, Diamante, E31059WA, Entre Ríos, Argentina.
 † Instituto Geológico del Sur-CONICET y Universidad Nacional del Sur, Alem 1253 cuerpo 5° P.º Piso, B8000CN, Bahía Blanca, Bs As, Argentina
 E-mail: mercedi@iapg.org.ar

Apteodinium reticulatum y *Jansonina* spp. (Lámina 1), son característicos de provincias transicionales (Canadense). La Formación Picún Leufú suprayacente muestra una mayor proporción y diversidad en dinoflagelados (*Aptea notialis*, *Diacanthum argentinum*, *Paravansia mammillata*, *Pilosodinium cactosum* (Quattrochio & Sarjeant, 1992). Por ejemplo, la Zona de *D. culmula* var. *curtospina* del Titiánico tardío se define por su primera aparición hasta la primera aparición de *Aptea notialis* (Fig. 4,

Neuquina (latitud media) en ausencia de barreras significativas. Por lo tanto, el predominio de dinoflagelados proximados y corados gonyaulooides y ausencia (o baja frecuencia) de elementos continentales y la acumulación de materia orgánica tipo amofa, permite definir un depocentro en mar abierto con fondo anóxico, rodeado por un cinturón nerítico sometido a sedimentación carbonácea (F. Quintuco) y terrígena (F. Picún Leufú) (Legarreta et al., 2000; Volkheimer et al., 2011).

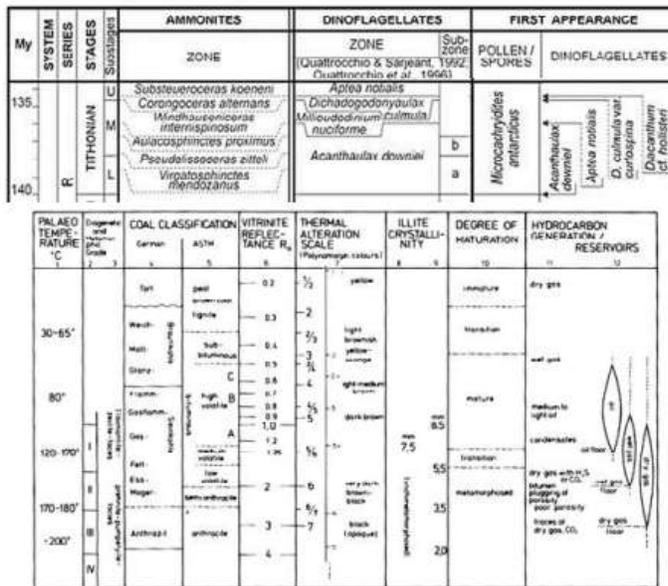


Figura 4 Correlación de biozonas de amonites y palinofloras del Titiánico comprendidos en las formaciones Vaca Muerta y Picún Leufú en Cuenca Neuquina (tomado de Quattrochio et al., 2007)

estudiado (Fig. 2). De esta forma se contribuye con información sobre una potencial roca madre y el tipo de hidrocarburo que produjo, líquido o gas (Batten 1996). Por ejemplo, el querógeno tipo I o II compuesto por amorfígeno y/o firogénico, caracterizado por palinóforos tipo fitoplancton, ricos en lípidos y cadenas alifáticas con alto contenido en hidrógeno y un grado de maduración TAG 3-5 (TAI 2 y +3), es buen productor de petróleo e indica que alcanzó una temperatura entre 80 y 170° (catagénesis, Fig. 2, Villar & Archangelsky, 1980; Batten, 1996).

La formación geológica Vaca Muerta se define como un yacimiento no convencional tipo «shale gas», pues se trata de la propia roca generadora casi impermeable, con un alto contenido de materia orgánica en arcillas muy poco porosas, denominadas vulgarmente «shales». La explotación de este tipo de depósitos donde se han originado hidrocarburos tras un extenso y largo proceso geológico (Fig. 2), requiere la aplicación de técnicas conocidas como fracturación hidráulica (también llamada fracking). Esta técnica es utilizada junto con otras en la explotación de yacimientos tradicionales o convencionales, cuando los hidrocarburos se alojaron en cuerpos arenosos u otro tipo de rocas porosas o fracturadas (roca trampa) a partir de su migración desde su roca generadora.

Es importante destacar que para detener la migración de dichos fluidos se requiere la presencia de una roca sello por arriba, y de allí la importancia de realizar estudios de las sucesiones de superficie para conocer mejor el aplamiento de unidades en subsuelo y la ubicación de posibles yacimientos de petróleo (líquido de distintas densidades) y gas, el cual por ser más liviano se ubica en general arriba de la fase líquida (véase Veiga & Orchueta, 1988; Legarreta et al., 2000). El fracking consiste en la inyección a presión de una mezcla de agua, arena y aditivos químicos para generar microfisuras más angostas que el ancho de un pelo pero suficientemente efectivas para que el fluido migre de una roca generadora no porosa. Para ello, con frecuencia es necesario contar en boca de pozo (o sea en el lugar de extracción), con palinólogos, geólogos y geofísicos quienes analizan los sedimentos que se extraen de las perforaciones, en general conocidos como «cuttings» o roca molida, de manera de poder identificar el momento en que se alcanza dicha unidad estratigráfica estimativamente alrededor de los 3000 metros de profundidad, y detener la perforación por su alto costo (Anadón et al., 2015; Gonzales et al., 2016; Pazos, 2016; Spacapan et al., 2018). Esto implica contar con especialistas entrenados para reconocer las características específicas de la unidad, como su litología, palinofloras (ver más adelante), y otros rasgos físico-químicos y geofísicos, los cuales pueden obtenerse tanto de superficie como de subsuelo preferentemente de testigos de corona para evitar contaminaciones como en el caso del cutting (Villar & Archangelsky, 1980; McGregor, 1996; Batten, 1996).

BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE ESTUDIOS PALINOLÓGICOS EN VACA MUERTA

La primera etapa de estudios en la cuenca Neuquina (Jurásico-Neógeno) como se mencionó arriba, estuvo a cargo principalmente de geólogos extranjeros contratados por empresas petroleras, en la cual se identificaron y caracterizaron unidades estratigráficas como la Formación Vaca Muerta. Los estudios paleontológicos y especialmente palinológicos sobre el Jurásico se iniciaron en la década del 60', y tuvieron un intervalo de alta producción de trabajos entre las décadas del 80' y 2000' hasta la actualidad como veremos a continuación. Su contenido palinológico caracterizado por especies terrestres y marinas fue llevado a cabo en varias contribuciones (Volkheimer & Quattrochio, 1975, 1977; Quattrochio, 1980; Quattrochio & Volkheimer, 1990; Quattrochio & Sarjeant, 1992, consultar estas citas en Martínez & Olivera, 2016). Numerosos estudios de unidades jurásicas presentan actualizaciones taxonómicas, definición de biozonas ajustando sus edades y sus correlaciones con otras unidades de la cuenca e interpretaciones paleoambientales (e.g. Quattrochio



Figura 1 Ejemplo de valores de maduración térmica de la materia orgánica en escala TAI (véase en Batten, 1996) con valores entre 1 (incoloro) a 5 (negro), con base en palinóforos procedentes de la Formación Sappington del Famenniano tardío (Devónico), suroeste de Montana. Esta formación es correlacionada con la Formación Bakken, roca generadora de cuencas productoras de hidrocarburos presentes en el subsuelo del norte de Montana y áreas vecinas en USA y Canadá (Grader et al., 2016; Di Pasquo et al., 2017).

Figura 2 Combinación de maduración térmica de la materia orgánica con otros indicadores (tomado de Batten, 1996).

et al., 2007; Volkheimer et al., 2011; Martínez & Olivera, 2016). Entre el Titiánico temprano y medio, la composición palinoflorística de la parte inferior de la Formación Vaca Muerta se caracteriza por el predominio de acritáridos y prasinoxinas sobre dinoflagelados. Su parte media en cambio, muestra una proporción similar entre ambos grupos fitoplanctónicos marinos con dinoflagelados como *Eschariophoridium pocockii*, *Hysterochaetina neuquina* y especies de *Acanthaulax* conocidos en asociaciones árticas y boreales, mientras que

Lám. 1). En la localidad de Picún Leufú, la parte inferior del Titiánico tardío corresponde probablemente a la Zona de amonites *Corongoceras alternans* mientras que la Zona de *A. notialis* (Titiánico más tardío) se basa en el rango total de la especie homónima y se correlaciona con la Zona de amonites *S. koenleri* (Fig. 4). Damborenea (1993, véase en Quattrochio et al., 2007), mencionó para la misma área, la ocurrencia de especies de bivalvos típicamente tethyanos en asociación con especies de altas latitudes y lo atribuyó a una posición intermedia de la Cuenca

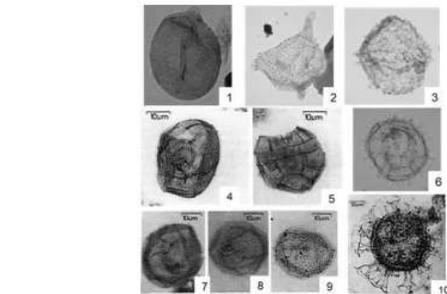


Lámina 1 En 1: *Paravansia mammillata*. En 2: *Aptea notialis*. En 3: *Lithodina jurassica*. En 4: *Eschariophoridium pocockii*. En 5: *Jansonina pallata*. En 6: *Dichadogonyaulax culmula*. En 7: *Acanthaulax aff. pallaris*. En 8: *Acanthaulax downii*. En 9: *Hysterochaetina neuquina* (tomado de Quattrochio et al., 1996, 2007; Marlin & Olivera, 2016).

DISCUSION SOBRE SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACION DE HIDROCARBUROS

La Formación Vaca Muerta tiene una amplia extensión en la cuenca Neuquina abarcando las provincias de Neuquén, Río Negro, La Pampa y Mendoza, Argentina (yacimiento petrolífero Vaca Muerta - Wikipedia, la enciclopedia libre, Anadón et al., 2015) y contiene hidrocarburos producto de la acumulación de abundante materia orgánica derivada principalmente del fito-zooplankton en un fondo anóxico-dioxico. Su soterramiento permitió preservar dichos sedimentos orgánicos, convertidos en roca generadora de hidrocarburos a partir de los procesos de diagénesis arriba mencionados. Su importancia económica se debe a su extensión y a su emplazamiento a una profundidad de explotación accesible (entre 2500 y 3000 m). Desde 2010 a la fecha, y especialmente durante los últimos años, la Argentina está ubicada en el segundo puesto de la lista de países poseedores de los mayores recursos recuperables de gas almacenado en las rocas generadoras. En la Formación Vaca Muerta ya se han perforado alrededor de 500 pozos. La experiencia adquirida en la etapa exploratoria mencionada permite dejarla atrás para ingresar de lleno en proyectos piloto, con importantes inversiones. Buenos resultados alcanzados con este

tipo de yacimiento no convencional aportan un significativo porcentaje al total de la producción del país (Anadón et al., 2015; Pazos, 2016; Spacapan et al., 2018); <http://www.shaleenargentina.com.ar/vaca-muerta>.

AGRADECIMIENTOS

A los geólogos y paleontólogos, por su perseverancia en el desarrollo de estudios científicos y técnicos, y a los organismos de ciencia y empresas por su apoyo en diferentes etapas del conocimiento pues en conjunto contribuyen a las necesidades de la sociedad.

REFERENCIAS

Anadón E.L., Casalotti V., Masarik G. & Halperin F. (2015). El abecé de los Hidrocarburos en Reservorios No Convencionales. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, Publicación de Divulgación, p. 1-20. 4a ed. www.iapg.org.ar
 Batten D.J. (1996). Chapter 26.A. Palynofacies and paleoenvironmental interpretation. B. Palynofacies and petroleum potential. En: Palynology: principles and applications, Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds), American association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v. 3, p. 1011-1084. Utah

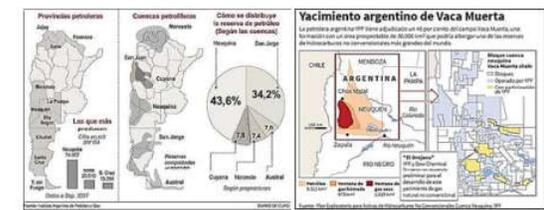


Figura 5 Distribución provincial de las cuencas sedimentarias y su producción de hidrocarburos (tomado del Instituto Argentino del Petróleo y Gas, http://www.iapg.org.ar/web_iapg/publicaciones/revista-petroleologia/)

- Di Pasquo M.M., Grader G.W., Warren A., Rice B., Isaacson P. & Doughty P.T. (2017). Palynological delineation of the Devonian - Carboniferous boundary, west-central Montana. *Palynology*, Special Issue in honor of Gordon Wood, v. 41, p. 189-220.
- González G., Desjardins P., Vallejo M.D., González Tomassini F., Kietzmann D., Gómez Rivarola L., Marcha D. & Domínguez R.F. (2016). Trasecta regional de la formación Vaca Muerta: integración de sísmica, registros de pozos, coronas y afloramientos. *Instituto Argentino del Petróleo y del Gas*, 252 p.
- Grader G.W., Isaacson P., Doughty P.T., Pope M.C. & Desantis M.K. (2016). Idaho lost river shelf to Montana Craton: North American Late Devonian stratigraphy, surfaces, and intrashelf basin. *New Advances in Devonian Carbonates: Outcrop Analogs, Reservoirs, and Chronostratigraphy*, SEPM Special Publication v. 107, p. 347-379.
- Legarreta L., Laffitte G.A. & Villar H.J. (2000). Source rocks, thermal evolution and distribution of different hydrocarbon types in the Neuquén basin, Argentina. En: Trindade, L.A.F., Macedo, A.C. & Barbanti, S.M. (ed.), *Proceedings VII Latinamerican Congress on Organic Geochemistry*, Foz do Iguazu, p. 47-49.
- Martínez M. & Olivera D. (2016). Jurassic organic-walled marine microplankton from the Neuquén basin. Distribution, biostratigraphy and paleobiogeography: A review. *Publicación Electrónica*, v. 16(2), p. 106-128.
- McGregor D.C. (1996). Chapter 28.B. Palynomorphs in petroleum and formation water: a review. En: *Palynology: principles and applications*, Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds), American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v. 3, p. 1115-1122.
- Pazos P. (2016). Vaca Muerta y algo más Reservoirs no convencionales de petróleo y gas. <http://cienciahooy.org.ar/2016/01/vaca-muerta-y-algo-mas-reservoirs-no-convencionales-de-petroleo-y-gas/>
- Quattrocchio M.E. & Sarjeant W.A.S. (1992). Dinoflagellate cysts and acritarchs from the Middle and Upper Jurassic of the Neuquén Basin, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, v. 24, p. 67-118.
- Quattrocchio M., Martínez M. & Volkheimer W. (2007). Las floras jurásicas de la Argentina. *Ameghiniana* 50º aniversario, p. 87-100.
- Quattrocchio M.E., Sarjeant W.A.S. & Volkheimer W. (1996). Marine and terrestrial Jurassic microfloras of Neuquén Basin (Argentina): Palynological Zonation. En: A.C. Riccardi (ed.), *Advances in Jurassic research*. Transtec Publications, Switzerland. *GeoResearch Forum*, v. 1-2, p. 167-178.
- Salas H. (2007). *Centenario del Petróleo Argentino*. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, www.iapg.org.ar.
- Spacapan J.B., Palma J.O., Rocha E., Leanza H.A., D'Odorico A., Rojas Vera E.A., Manceda R., Galland O., Medialdea A. & Cattaneo D.M. (2018). Maduración de las Formaciones Vaca Muerta y Agrio ocasionado por el emplazamiento de un complejo intrusivo magmático en el sector sur mendocino de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 75, p. 200-210.
- Traverse A. (2007). *Paleopalynology*. Unwin Hyman Ltd., 600 pp., London.

- Uliana M., Legarreta L., Laffitte G. & Villar H.J. (1999). Estratigrafía y geoquímica de las facies generadoras de hidrocarburos en las cuencas prolíferas de Argentina. IVº Congreso Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Actas I: 1-61, Mar del Plata.
- Veiga R.D. & Orchueta I.A. (1988). Técnicas de perfilaje para identificar niveles generadores de hidrocarburos en la Formación Vaca Muerta. *Boletín de Informaciones Petroleras*, Tercera Epoca, v. 13, p. 76-94.
- Villar H. & Archangelsky S. (1980). Recientes enfoques de la geoquímica orgánica y la palinología aplicados a estudios sobre génesis y exploración de petróleo y carbón. *Bol. Asoc. Lat. Paleobot. Palinol.*, v.7, p. 1-21, Buenos Aires.
- Volkheimer W., Quattrocchio M., Martínez M., Prámparo M., Scafati L. & Melendi D. (2011). *Palinobiotas Fósiles*. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Relatorio, p. 579-590.
- Weaver C.E. (1931). *Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina*. *Memoir of the University of Washington*, v. 1, p. 1-469.