

**XVI
RAS**

TALLERES



**SEDIMENTOLOGÍA
SIN FRONTERA**

**26 al 30 de noviembre de 2018
General Roca - Río Negro**



T-S10

AMBIENTE DE TRANSICIÓN

Carlos Daniel Arregui¹, Miguel de Moraes Lima Silveira² y Diana Cuadrado³

¹ UNCO; carlosarregui52@gmail.com

² Petrobras S.A.; miguel.silveira@petrobras.com.br

³ CRIBA-CONICET; cuadrado@criba.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Resulta difícil definir exactamente cuál es el alcance de lo que llamamos **ambientes de transición** y cuáles son sus límites, ya que la interacción entre la descarga de sedimentos acarreados desde el continente hacia las zonas costeras y su redistribución en los sectores cercanos, abarcan una enorme cantidad de interacciones no simples de clasificar. Estos ámbitos paleogeográficos son de enorme impacto en la naturaleza desde diferentes aspectos como el geomorfológico, biológico, hidrogeológico, sedimentológico, estratigráfico y por supuesto la aplicación de la resultante de todos estos aspectos en la geología del petróleo, la hidrogeología, la geotécnica, geoturismo y muchos otros aspectos de la vida humana.

¿Cuál es la medida en la que los factores externos o la dinámica propia de los ambientes de transición son los responsables de su organización a diferentes escalas?

En el esquema de la Figura 1 se muestra la mayoría de los ambientes sedimentarios relacionados con áreas o sistemas de transición, obtenido de Boyd *et al.* (1992). Dentro de esta gran diversidad de ambientes pasaremos a describir cuales son las líneas de investigación que actualmente se están trabajando para la aplicación de los conocimientos de la sedimentología y estratigrafía en la prospección y desarrollo de los hidrocarburos.

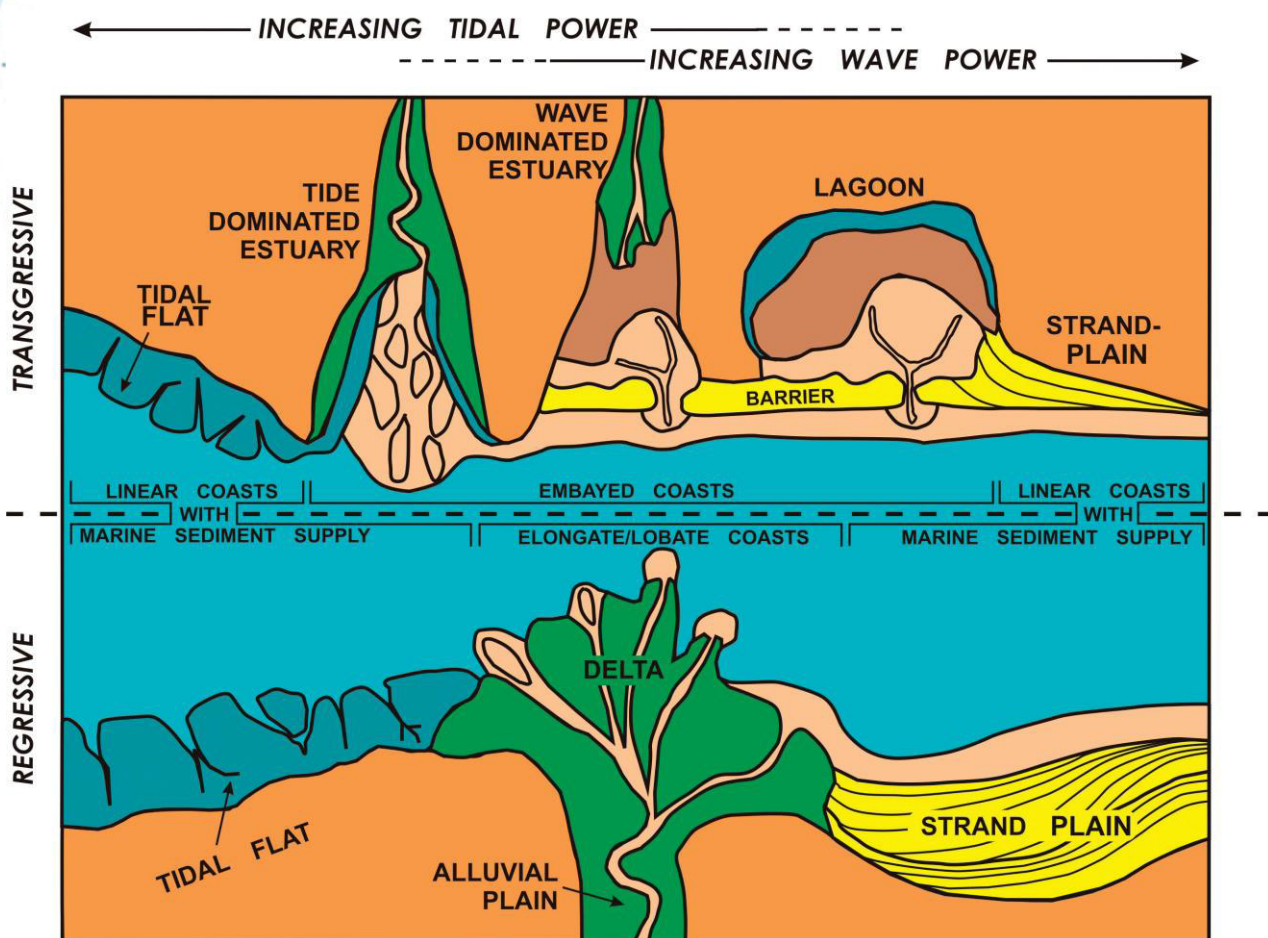


Figura 1. Principales ambientes de transición en ambientes silicoclásticos, teniendo en cuenta la migración de la línea de costa (transgresivo o regresivo).

AMBIENTES DELTAICOS

Los deltas han sido definidos como “Protuberancias en la línea de costa formadas por la desembocadura de ríos en océanos, mares, lagos o lagunas donde la acumulación del aporte sedimentario es más rápido que la redistribución producida por procesos cuencales.” (Elliott, 1986).

Estos sistemas son claramente regresivos mostrando las facies más someras localizadas al tope de las sucesiones verticales. Los períodos más favorables para el desarrollo y crecimiento con mayor eficiencia han sido siempre consideradas las regresiones normales de las etapas de nivel de base alto (HST *Highstand System Tract*), aunque se han descrito en sedimentos antiguos formas asignadas a deltas en etapas de regresión normal al inicio del incremento de nivel de base (LST *Lowstand System Tract*) y también durante

caídas del nivel de base (FSST *Falling Stage System Tract*). La adecuada interpretación de estos sistemas no es solo un ejercicio de índole científico ya que tienen enormes aplicaciones prácticas en el caso de la prospección de recursos de hidrocarburos. La localización de los elementos de los sistemas petroleros y de las dimensiones que puedan alcanzar los mismos es significativamente diferente en los tres contextos evolutivos enunciados.

El delta de *Highstand* se desarrolla en momentos en que el nivel de base alcanza su máxima expansión teniendo la oportunidad de ocupar un espacio de acomodación arealmente extendido. Está ubicado encima de las secciones transgresivas donde se concentrarían las rocas generadoras para recibir una migración vertical eficiente y estaría cubierto por nuevas sucesiones transgresivas que podrían oficiar de sellos. El delta de *Lowstand* encuentra el nivel de base en sus etapas iniciales de subida con reducido espacio de acomodación, está cubierto por el intervalo transgresivo que le garantiza sellos eficientes pero la migración hacia zonas inferiores solo se da en particulares condiciones de gradientes de presión que suelen habitualmente ser más

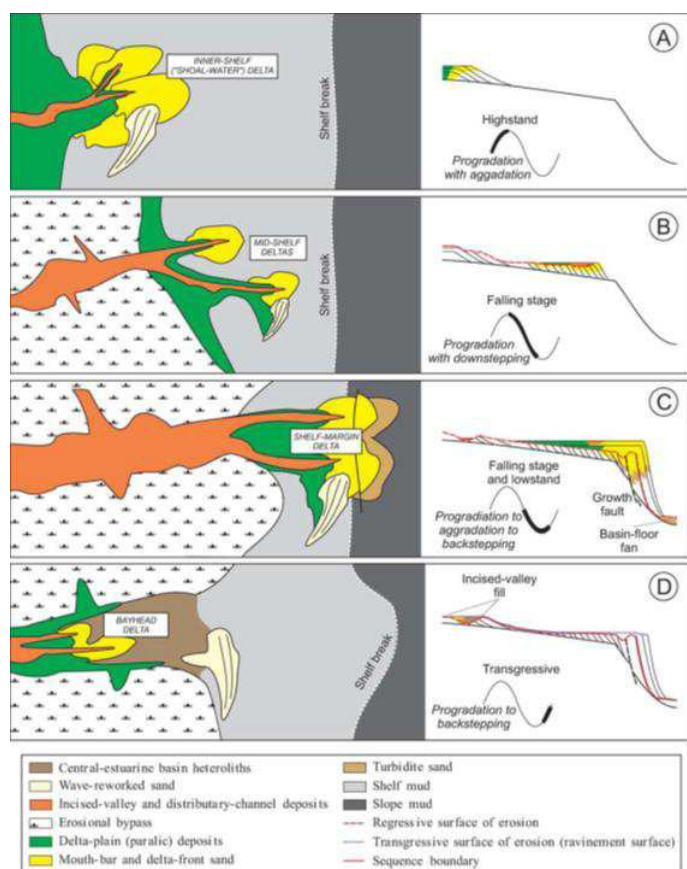


Figura.2 Deltas y su relación con variaciones del nivel de base. Porebsky y Steel (2006).

favorables hacia estratos superiores. Los deltas de Regresión Forzada (*Falling Stage*) ocurren en momentos en que la abrupta caída del nivel de base hace que la mayoría de los sistemas depositacionales están intentando alcanzar su equilibrio lo más rápidamente posible. En estas condiciones la existencia de extensos deltas progradantes no encuentra las condiciones más favorables además de

que se suelen encontrar intervalos costeros escalonados o sea parcialmente conectados. Está cubierto por los depósitos de ascenso del nivel de base que no le garantizan sellos eficientes y por último su comunicación con las secciones generadoras no siempre encuentra las vías de mayor eficiencia para su carga. Todas estas consideraciones hacen que su caracterización sea de una importancia muy grande para su adecuada prospección y definición de sus perspectivas (Fig. 1).

Trabajos recientes (Porebsky y Steel, 2003, 2006) separan lo que ellos denominan deltas dominados por aporte “*supply driven deltas*” de “*acomodacion driven deltas*” destacando, con ejemplos de deltas actuales, las condiciones de desplazamientos a lo largo de la plataforma de estos dos términos extremos.

Los deltas desarrollados durante la subida del nivel de base necesitan de un aporte de elevada persistencia para mantener su avance dada la rapidez, ocurrida en condiciones *icehouse*, de la evolución del nivel de base. Por esta razón los autores consideran más eficiente la migración de estos sistemas en la plataforma cuando el nivel del mar crece a una tasa muy baja o decrece.

Estas consideraciones sin duda deben ser tenidas en cuenta, pero debemos considerar además que gran parte del fanerozoico ocurrió en condiciones de *greenhouse* con variaciones más lentas y de menor magnitud del nivel de base.

Los estudios actuales de *greenhouse* deltas (Zhang *et al.*, 2016) permiten caracterizar sistemas deltaicos con gran desarrollo areal, generados durante etapas de elevado aporte de sedimentos y modestas velocidades de ascenso del nivel de base en etapas terminales de la subida del nivel de base (*Highstand*). Estas condiciones fueron las que prevalecieron durante el desarrollo de los depósitos deltaicos y sus sistemas marinos asociados que constituyen los espesos intervalos clásticos de las formaciones Lajas – Punta Rosada.

EJEMPLO ANTICLINAL PICUN LEUFÚ (GREENHOUSE DELTA)

En un área de 80 km² ubicada en el anticlinal de Picún Leufú (Suroeste de la cuenca Neuquina), a unos 30 km al sur de la ciudad de Zapala, fueron relevados 19 perfiles de campo en escala de detalle (1:100). A partir de los 17

tipos de facies descritas fueron agrupadas 12 asociaciones de facies asignables a subambientes depositacionales (sistemas deltaico y marino somero). También se obtuvieron mediciones de paleocorrientes y datos estratigráficos (identificación/extensión de las superficies estratigráficas, geometrías de los cuerpos de arena, etc.), clasificados como de alta, media y baja frecuencia constituyéndose en los elementos principales utilizados en la elaboración de los modelados 3D de facies.

A partir de los datos de las 953 medidas de paleocorrientes y de la distribución geográfica de las proporciones relativas de facies se determinó – además de la continentalización generalizada del tramo superior en relación al tramo inferior de la Formación Lajas, en el área del anticlinal de Picún Leufú - una diferencia en la distribución y orientación general de los sub-ambientes que componen el sistema depositacional deltaico (Fig. 3).

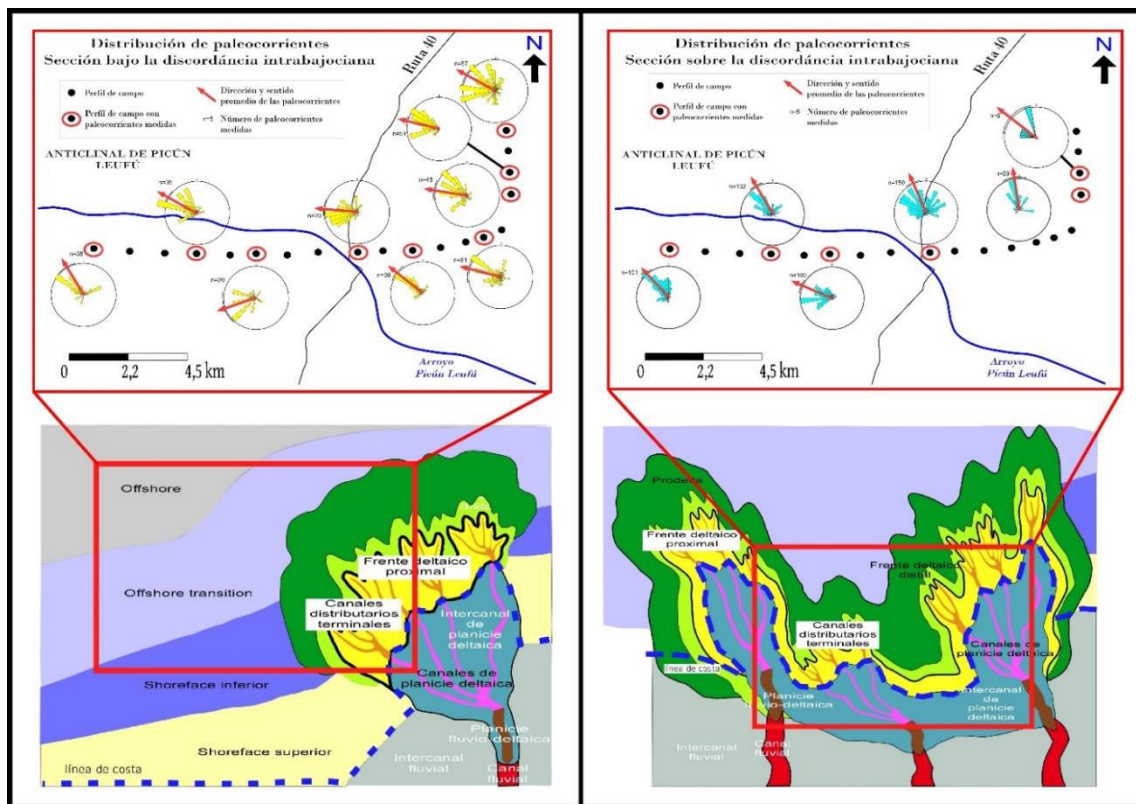


Figura 3. Distribución de paleocorrientes en las secciones inferior (izquierda) y superior (derecha) de la Formación Lajas, separadas por la discordancia intrabajociana y el modelo conceptual de distribución de los sub-ambientes deltaico y marino somero interpretado. El área de estudio está ubicada en los modelos conceptuales adentro de los cuadros de color rojo.

AMBIENTES ESTUARINOS

Los estuarios son sistemas costeros efímeros, sensibles al nivel del mar y a las fluctuaciones climáticas, definidos como sistemas transgresivos costeros con capacidad de relleno con alternancias de sedimentos marinos como continentales, según Dalrymple *et al.* (1992). Sus rellenos sedimentarios constituyen potencialmente buenos reservorios clásticos de petróleo y son económicamente importantes para la exploración y producción de hidrocarburos. Los cuerpos de arenisca generados por corrientes de marea, particularmente cuando están encerrados en intervalos impermeables de sedimentos finos, son fuentes importantes de fluidos como agua, petróleo y gas (por ejemplo, estratos mesozoicos a cenozoicos en América del Norte y el Golfo de México) (Longhitano *et al.*, 2012). La geometría y los caracteres sedimentarios de estos cuerpos de arenisca (incluyendo la fábrica de la roca, porosidad, permeabilidad y saturación) dependen de los procesos sedimentarios originales que se produjeron en entornos depositacionales específicos y de la naturaleza de la diagénesis subsiguiente (Moore, 1989). En ambientes dominados por mareas, los cambios cíclicos en la competencia de la corriente pueden generar depósitos que están organizados internamente en una serie de láminas heterolíticas o conjunto de láminas que pueden actuar como barreras, o deflectores si se someten a una transmisión eventual de fluido post-diagenética (Nemec *et al.*, 2007). Tessier *et al.* (2012) reconstruyeron el relleno del Holoceno de dos estuarios sobre la base de datos sísmicos de muy alta resolución combinados con testigos de sedimentos y dataciones.

La clasificación más común de los estuarios utilizados por los sedimentólogos es la definida por Dalrymple *et al.* (1992, 2006), donde se presenta un esquema de facies. De acuerdo con la hidrodinámica predominante en la desembocadura del estuario (olas o las corrientes de marea) se distinguen dos miembros finales, estuarios dominados por olas y estuarios dominados por mareas. En dicha clasificación se tienen en cuenta los procesos físicos que imperan en las diferentes zonas del estuario (interna, media y externa) considerando la energía procedente de los procesos marinos, como olas y corrientes, y de procesos continentales relacionados con la corriente de los ríos.

En el ambiente actual se han estudiado dos sectores dominados por mareas: el estuario de Bahía Blanca (Gómez *et al.*, 2010) y la entrada de marea de San Blas (Cuadrado y Gómez, 2011). Para reconocer las morfologías de la forma de fondo y determinar su dinámica mediante la comparación de prospecciones sucesivas se utilizó un sistema batimétrico de medición de fase (PMBS) "GeoSwath Plus" (Geo Acoustics Ltd.) con precisión centimétrica y una cobertura media de franja de 160 m. Los estudios se completaron con las mediciones de corrientes durante un ciclo de marea completo mediante un ADCP montado en un barco que opera a una frecuencia de 650 kHz. Los resultados permitieron obtener la compleja morfología de un campo de dunas y el mecanismo de movimiento de las dunas 3-D resultante. En ambos casos se encontraron dunas muy grandes (según la clasificación de Ashley, 1990), en la zona denominada de máxima energía (*tidal maximum*) según Dalrymple y Choi (2007). Este tipo de morfología no es común de encontrar en un estuario mesomareal como el de Bahía Blanca, sin embargo su formación está controlada por un estrechamiento en el fondo del canal por estratos altamente compactados y difíciles de erosionar. El control geológico afecta la dinámica conduciendo a un aumento en las velocidades de corriente de las mareas que profundiza el canal hasta los sedimentos subyacentes altamente compactados y cementados del Plioceno. El sedimento transportado forma dunas muy grandes que se caracterizan por un perfil asimétrico orientado hacia la boca del estuario, migrando en la dirección del reflujó, aunque el aporte de los ríos es despreciable.

Por otra parte, las entradas de marea o *inlets* han sido ampliamente estudiadas por ingenieros costeros y sedimentólogos (Oertel, 1975; Hayes, 1980; Komar, 1996; Bertin *et al.*, 2005) para conocer el transporte de sedimentos y la evolución morfológica resultante. En el caso de la entrada de marea del canal San Blas (sur de la provincia de Buenos Aires), es el más profundo de los tres canales que intercambian agua entre Bahía Anegada y el océano Atlántico. Esta entrada de marea tiene una persistencia histórica que sugiere su vinculación con condiciones geológicas subyacentes (Ambrosini, 1984), a diferencia de la mayoría de los *inlets* mencionados en la literatura que son el resultado de la ruptura de tormentas por procesos marinos. En el sector medio del canal San Blas (ancho de 700 m) se registra la máxima profundidad

(28 m), en un fondo plano (a lo largo de 4 km), sin sedimentos arenosos, con flancos empinados (3%) mayormente formados por rodados. Hacia el interior del *inlet* se encuentra un campo de dunas que tienen diferente sentido de migración. Sobre el flanco norte las dunas muy grandes migran hacia el interior, y sobre el flanco sur el mismo tipo de dunas migran hacia el exterior, en concordancia con las corrientes más intensas.

Por otra parte, Alsharhan y Kendall (2003) proponen el estudio del ambiente sabkha ya que una serie de grandes yacimientos de petróleo en el golfo Pérsico, los Estados Unidos y en otras partes del mundo se producen en antiguas secuencias de carbonato-evaporitas similares a los estudiados en este tipo de ambiente. Alsharhan y Kendall (2003) proponen el estudio de estos ambientes como análogos modernos para las áreas de producción de hidrocarburos en gran parte del registro geológico. Kendall *et al.* (2007) sugieren que la abundancia de cianobacterias asociadas a matas microbianas brinda grandes oportunidades para estudiar estos microorganismos como fuente de carbono y como potenciales rocas generadoras de petróleo. Siguiendo esta línea de investigación, desde hace pocos años se ha comenzado a estudiar un ambiente sabkha en un área costera restringida por la formación de una espiga de arena en la desembocadura de un canal de marea (Cuadrado *et al.*, 2015). Los sedimentos silicoclásticos arenosos que formaban parte del fondo del canal de marea actualmente son tapizados por la formación de espesas matas microbianas que generan una barrera impermeable superficial. Es interesante seguir profundizando en estos estudios para aumentar el conocimiento de potenciales nuevas exploraciones de gas e hidrocarburo.

Surgen como incógnitas a ser debatidas las siguientes preguntas:

¿Cuál sería el orden de los cambios climáticos capaces de lograr modificaciones de gran extensión areal en la distribución de las facies en deltas y estuarios?

¿Cómo los cambios de naturaleza biológica ayudarían a definir las tendencias de variación verticales y laterales de los distintos subambientes de un sistema deltaico/estuarino?

¿Los cambios hidrodinámicos observados en depósitos recientes siempre dejan su impronta en el registro geológico? ¿Cuándo lo dejan, pueden ayudar a comprender y predecir los cambios laterales y verticales de facies?

REFERENCIAS

- Alsharhan, A. y Kendall, C., 2003. Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. *Earth-Science Reviews* 61: 191–243
- Ambrosini, G.L., 1984. Geomorfología de la Isla Jabalí, departamento de Patagones, provincia de Buenos Aires. Proc. IX Congr. Geol. Arg. AGA, Buenos Aires, pp. 513–519.
- Ashley, G.M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology* 60: 160–172.
- Bertin, X., Chaumillon, E., Sottolichio, A. y Pedreros, R., 2005. Tidal inlet response to sediment infilling of the associated bay and possible implications of human activities: the Marennes-Oleron Bay and the Maumusson Inlet, France. *Continental Shelf Research* 25: 1115–1131.
- Cuadrado D.G., Pan J., Gómez E.A. y Maisano L., 2015. Deformed microbial mat structures in a semiarid temperate coastal setting. *Sedimentary Geology* 325: 106-118.
- Cuadrado, D.G. y Gómez, E. A., 2011. Morphodynamic characteristics in a tidal inlet: San Blas, Argentina. *Geomorphology* 135: 203-211.
- Dalrymple, R.W. y Choi, K., 2007. Morphologic and facies trends through the fluvialmarine transition in tide-dominated depositional systems: a schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews* 81 (3–4), 135–174.
- Dalrymple, R.W., 1992. Tidal depositional system. In: Waters, C.N., James, N.P. (Eds.), *Facies Models*. Geological Association of Canada, pp. 195–218.
- Dalrymple, R.W., 2006. Incised valleys in time and space: introduction to the volume and an examination of the controls on valley formation and filling. In: Dalrymple, R.W., Leckie, D.A., Tillman, R. (Eds.), *Incised Valleys in Time and Space*. SEPM Special Publication, vol. 85, pp. 5–12.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. y Boyd, R., 1992. A conceptual model of estuarine sedimentation. *Journal of Sedimentary Petrology* 62, 1130–1146.
- Elliott, T., 1986. Deltas. En Reading, H.G., ed., *Sedimentary Environments and Facies*: Oxford, U.K., Blackwell Scientific Publications, p. 113–154.
- Gómez, E. A., Cuadrado, D. G., y Pierini, J.O., 2010. Sand Transport on an estuarine submarine dunes field. *Geomorphology* 121: 257-265.
- Hayes, M.O., 1980. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. *Sedimentary Geology* 26, 139–156.

- Kendall, C.G.S.T.C., Shinn, G. y Janson, X., 2007. Holocene cyanobacterial mats and lime muds: Links to Middle East carbonate source rock potential: Abstract en American Association Petroleum Geologists Search and Discovery Article #900063, Houston, TX.
- Komar, P.D., 1996. Tidal-inlet processes and morphology related to the transport of sediments. *Journal of Coastal Research* 23, 23–45.
- Longhitano S.G., Mellere D., Steel R.J. y Ainsworth R.B., 2012. Tidal depositional systems in the rock record: A review and new insights. *Sedimentary Geology* 279 (2012) 2–22
- Moore, C.H., 1989. *Carbonate Diagenesis and Porosity: Developments in Sedimentology*, 46. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam (338 pp.).
- Nemec, W., Longhitano, S.G. y Messina, C., 2007. Statistical properties of tidal dune complexes. British Sedimentological Research Group Annual Meeting, Birmingham University, pp. 45–46.
- Oertel, G.F., 1975. Ebb-tidal delta of Georgia estuaries. *Estuaries Research* 2, 267–276.
- Porebski, S.J. y R. J. Steel, 2003. Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands. *Earth-Science Reviews* 62: 283–326
- Porebski, S. J., y R. J. Steel, 2006. Deltas and sea-level change: *Journal of Sedimentary Research*, 76: 390–403.
- Tessier, B., Billeaud I., Sorrel P., Delsinne N. y Lesueur P., 2012. Infilling stratigraphy of macrotidal tide-dominated estuaries. Controlling mechanisms: Sea-level fluctuations, bedrock morphology, sediment supply and climate changes (The examples of the Seine estuary and the Mont-Saint-Michel Bay, English Channel, NW France). *Sedimentary Geology* 279: 62–73
- Zhang, J., R.J. Steel, y W. Ambrose, 2016. Greenhouse shoreline migration: Wilcox deltas. *AAPG Bulletin* 100: 1803–1831

Libro de Talleres de la XVI Reunión Argentina de Sedimentología:
Sedimentología Sin Frontera. 26 al 30 de noviembre de 2018. General Roca,
Río Negro, Argentina.

Edición: Alejandro David Báez y Ricardo Gómez

Diseño Visual: Julio Bariani y Manuela Zalazar

ORGANIZAN



Asociación Argentina de Sedimentología



AUSPICIAN

