

System Tracts, Secuencias de Depósito y Megasecuencias: geometrías y modalidades de superposición

System Tracts, Depositional Sequences and Megasequences: geometries and superposition modalities

W. Martínez del Olmo

Repsol Exploración, S.A. Paseo de la Castellana, 280 - 28046 Madrid

ABSTRACT

The geometry and the areas of erosion/deposition of the System Tracts of which Depositional Sequences are made up of, and the ways in which the latter are superimposed, are controlled by several factors. These factors can be considered to be grouped in a decreasing order of relevance, as follows: 1) Configuration Factor. 2) Depositional Area Factor and 3) Progradation Factor. The first factor determines three big scale configurations, while the other two make possible the identification of Depositional Sequences according to eight basic geometries.

Key words: depositional sequences.

Geogaceta, 20 (1) (1996), 96-99
ISSN: 0213683X

Introducción

Las Secuencias de Depósito tipos 1 y 2 definidas por Vail (1987) constituyen una muy acertada simplificación o esquematización de los efectos, que con una subsidencia uniforme, los procesos climáticos y eustáticos inducen en la arquitectura y organización del registro sedimentario con ellos correlativo. Es evidente que los tipos 1 y 2 albergan problemas conceptuales chocantes con el Actualismo estratigráfico, caso de la exclusividad de ciertas facies sedimentarias en específicos System Tracts, pero no es este el único problema de tal esquematización, pues es evidente que las áreas de depósito o erosión, de condensación y los solapamientos de progradación y retrogradación de cada individual System Tract y de ellos con respecto al anterior y posterior, constituyen importantes diferenciaciones geométricas que no recogen los esquemas y arquitecturas de estos tipos 1 y 2.

Aunque la diversidad estratigráfica es tan abrumadora, que podríamos afirmar que no existen dos System Tracts iguales y por ende dos Secuencias de Depósito, la observación de muchas de ellas, base documental de este trabajo, permite una nueva y obligada simplificación que incluye seis tipos preferenciales y dos subtipos. Estos ocho modelos que intentamos describir y relacionar con las causas

que los inducen, se referirán exclusivamente a las arquitecturas de la Secuencias de Depósito y no a la distribución de las facies sedimentarias que cada System Tract individual alberga.

Metodología

Líneas sísmicas y pozos exploratorios profundos posibilitan identificar y correlacionar a escala de cuenca los System Tracts que conforman una Secuencia de Depósito (Van Wagoner *et al*, 1990; Vail y Wordnart, 1990; Martínez del Olmo *et al*, 1991). Cuando los puntos de observación están suficientemente espaciados, los espesores, áreas de depósito-erosión y áreas donde alcanzan la condensación, plataforma o cuenca, son fácilmente identificables. La reconstrucción geométrica de estas observaciones puede hacerse a muy diferentes escalas estratigráficas: System Tracts, Secuencias de Depósito y Grupos de Secuencias de Depósito o «Supersecuencias». Esta última escala de observación permite relacionar los dispositivos estratigráficos, que afectan a largos períodos de tiempo, con los diferentes contextos tectónicos que los albergaron.

Las ideas y conclusiones que a pequeña o gran escala, System Tracts, Secuencias de Depósito y «Supersecuencias» se describen, provienen de aplicar esta metodología al Cretácico y Terciario

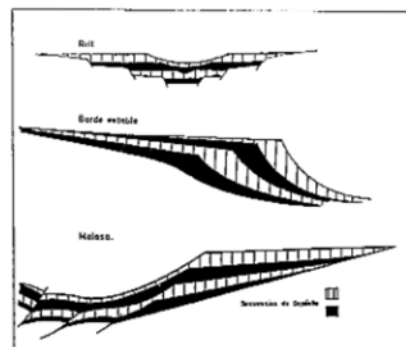


Fig. 1.- Configuraciones de gran escala: Rift, centrífuga bidireccional. Borde Estable, centrípeta. Molasa, centrífuga unidireccional.

Fig. 1.- Megasequences configurations in Rift settings, areas of thermal subsidence and molassic environments.

de las cuencas subandinas de Colombia y Venezuela, al Mesozoico y Neógeno del Prebético oriental, Golfo de Valencia y al Neógeno de las cuencas del Guadalquivir-Golfo de Cádiz (Martínez del Olmo *et al*, 1994a, 1994b; Martínez del Olmo, 1996; Riaza y Martínez del Olmo, 1996).

Este amplio y disperso lugar de observaciones ha provisto la más o menos precisa definición geométrica de aproximadamente ochenta Secuencias de Depósito y doscientos System Tracts. Cifras y contextos que, por su volumen y diversi-

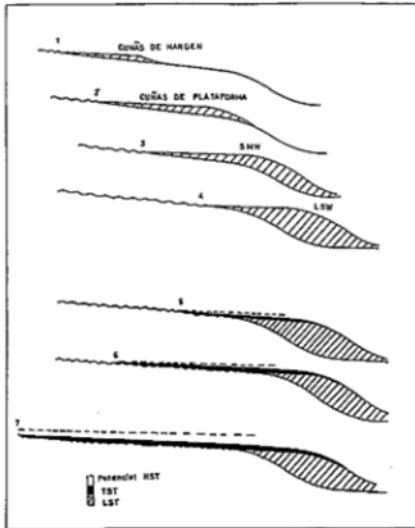


Fig. 2.- Factor área de depósito: 1-7: construcción del margen; 2-5 y 6: construcción de la plataforma; 3-4: destrucción de la plataforma

Fig. 2.- Depositional Area Factor. 1-7: margin construction; 2-5 & 6: shelf construction; 3-4: shelf destruction.

dad, significan una base de datos y observaciones no despreciable.

Conceptos de partida

En su concepción original (Vail, 1987) el hecho diferencial de los System Tracts es el estadio o tendencia del nivel marino: bajando, ascendente y alto. Para un intervalo de tiempo tan corto como el que identifican muchos System Tracts, la subsidencia de la plataforma debe considerarse uniforme y es así como las polaridades sedimentarias regresiva y transgresiva de los Cortejos Sedimentarios deben entenderse relacionadas con el efecto que, en el volumen de sedimentos y en el volumen donde distribuirlos, sean capaces de generar las modificaciones del nivel marino. La cantidad de aportes sedimentarios dependerá de variados factores, tales como clima o poder hidráulico del área emergida y topografía del continente, para siliciclásticos especialmente, y condiciones ecológicas, para la producción de carbonatos, cuando de estos se trate.

No es nada probable que cambios moderados del nivel marino sean capaces de cambiar, de modo global, los factores que condicionan la cantidad de sedimento, y mucho menos, que estos sean sincrónicos con el cambio de polaridad sedimentaria que significa el paso de uno a otro System Tract. Por el contrario, el volumen donde distribuir el sedimento si

que podemos entenderlo directamente relacionado con los cambios de nivel marino. Una bajada de nivel marino tiene a su disposición un enorme volumen, la plataforma y la cuenca. Un ascenso provocará un cambio de espacio tanto más limitado cuanto más modesto sea y tanto más montañosa sea el área a inundar. Una estabilización del nivel marino no modificará el espacio disponible que se había creado en el ascenso marino que le antecede.

Los registros sedimentarios y los procesos tectónicos muestran una frecuencia de cambio claramente desproporcionada. En una época tectónica, compresiva o distensiva, se realizan multitud de cambios eustáticos que conceptualmente caracterizan los System Tracts y las Secuencias de Depósito. Si el ritmo tectónico, a escala de cuenca o de grandes segmentos de la cuenca, imprime carácter a los sedimentos, este habrá que buscarlo a la escala de las agrupaciones de multitud de Secuencias de Depósito o «Supersecuencias», y no en las puntuales y locales desviaciones que una tectónica sinsedimentaria puede imprimir al sedimento de uno o varios System Tracts: espesores anómalos, agradación de facies, cerros sedimentarios, etc...

Los Cortejos de Nivel Bajo (LST) se inician por un descenso de nivel marino cuya magnitud física generará una mayor o menor superficie a erosionar; tan solo el extremo margen, la plataforma interna o externa, e incluso el talud. El incremento de aporte sedimentario coincide con un volumen relativamente infinito donde este puede ser distribuido y el límite erosión-sedimentación variará desde el margen al talud en función de la magnitud del descenso y el tiempo que éste tarde en estabilizarse. Es así como la magnitud del descenso permite modificar el esquema original de Vail (1987), Wordnart y Vail (1991), con la introducción de descensos aún más moderados que los del tipo Self Margin Wedge (SMW). Son los depósitos y geometrías que podríamos llamar Cuñas de Margen, Plataforma Interna y Externa. Todos caracterizan una condensación sedimentaria que se realiza sobre segmentos, progresiva y respectivamente más externos de la plataforma. Las curvas globales de Haq *et al* (1987) y la base de datos que manejamos vienen a indicarnos que este tipo de descensos moderados es el más frecuente de los registrados. Los descensos destructivos de la plataforma son ciertamente poco frecuentes e incluso ellos evidencian que las magnitudes reales del descenso son bastante más modestas de lo a primera vista imaginado; extensividad del Prograding

Complex, que representa la estabilización, sobre grandes segmentos de la plataforma media-interna.

Los System Tract Transgresivos (TST) coinciden con un ascenso del nivel marino que expande el volumen donde distribuir el sedimento que alcance la línea de costa. Este aumento del espacio disponible podría ser suficiente para explicar el hecho más característico de estos TST, que no es otro que el delgado espesor de sus depósitos sedimentarios sobre extensos segmentos de la plataforma interna y externa. Desde un punto de vista global, no podemos hacer coincidir una disminución del poder hidráulico del área emergida, arranque de sedimento, con los cambios del nivel marino, más aún si conceptualmente entendemos estos como glacioeustáticos, pues esta concepción los haría coincidir con reactivaciones erosivas provocadas por incremento del deshielo. Además, en el extremo margen de la cuenca el espesor de los TST aumenta radicalmente, signo de que el problema no es de cantidad de sedimento.

La caracterización de la magnitud de un ascenso eustático en base a la agresividad del «onlap» costero es un método

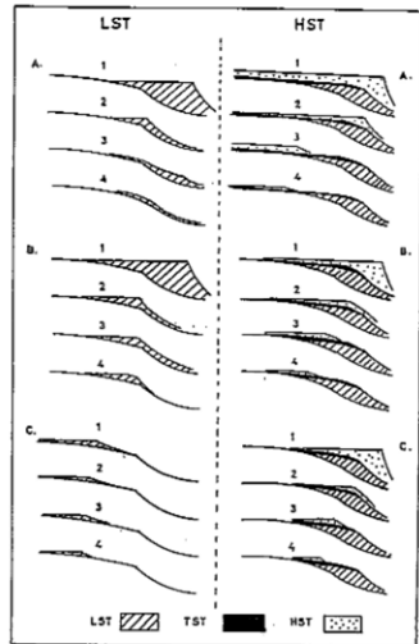


Fig. 3.- Factor de progradación: ascensos y descensos de nivel marino importantes (A), moderados (B) y mínimos (C), combinados con la duración del estadio de nivel y la alimentación en sedimento; 1: duradero y abastecido; 2: duradero y desabastecido; 3: breve y abastecido; 4: breve y desabastecido.

Fig. 3.- Progradation Factor. Magnitude of sea level variations combined with the duration of each sediment input.

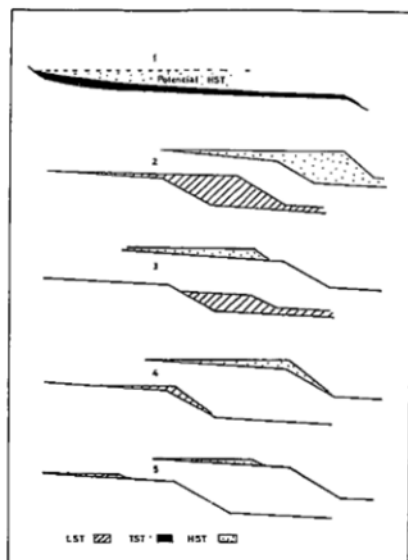


Fig. 4.- Área de depósito y progradación; 1: propician la construcción del margen; 2: progradación de taludes; 3: diferenciación de dos taludes; 4: agradación o progradación mínima; 5: cunas de la plataforma.

Fig. 4.- Depositional Area and progradation. 1: Margin construction; 2: Slope progradation; 3: Development of two slopes; 4: Aggradation; 5: Shelf wedges.

muy peligroso pues la eficiencia de una transgresión está controlada por dos factores: la magnitud del propio ascenso y la topografía del área a inundar. Extensas llanuras fluviales son el ejemplo más característico de predisposición a transgresiones muy eficaces que no se corresponden con ascensos de magnitud notable.

Los Cortejos TST son muy delgados y no contribuyen por sí mismos a la construcción de las plataformas, pero de su eficiencia depende muchas veces dicha construcción, ya que el Cortejo HST que les sucede tendrá muchas posibilidades de generar tal construcción a partir del inicio y progreso de la colmatación regresiva.

Los System Tracts de Nivel Alto (HST) se inician en el momento en que el impulso transgresivo antecedente sufre la estabilización. No modifican entonces el volumen donde distribuir el sedimento e inequívocamente muestran una polaridad sedimentaria regresiva o progradante. Este cambio de polaridad puede así ser entendido sin necesidad de un cambio en el perfil de equilibrio alcanzado por los ríos en el momento transgresivo máximo que les antecede. Más aún, cuando de sedimentos carbonatados se trate, ya que es difícil comprender un significativo cambio ecológico, entre el ascenso eustático

y la estabilización, en todas las latitudes del planeta.

Un Cortejo Sedimentario tipo HST corresponde conceptualmente a una estabilización del nivel marino ascendente que le antecede, por lo que el borde deposicional de sus depósitos marinos no debe ser extensivo respecto a los sedimentos transgresivos. Si así fuese, hay que admitir que en su fase inicial, el HST es también depositado en ascenso del nivel marino. En este caso, el cambio de polaridad transgresiva a regresiva (discontinuidad mfs) sería la consecuencia de la aminoración del volumen donde depositar el sedimento que provoca la ralentización del ascenso eustático. De cualquier forma, la fase regresiva (HST) no puede retrogradar, sobre grandes segmentos a la transgresiva (TST).

Geometrías de System Tracts y Secuencias de Depósito

La configuración geométrica de las Secuencias de Depósito depende de una reducida serie de procesos que, incidiendo sobre los System Tracts individuales, conforman su principal y más distintivo carácter. Estas condiciones inherentes a cada System Tract se proponen como Factores Determinantes. Los tres que a continuación describiremos no nos llevarán a la diversidad de organizaciones y dispositivos que encierran las cuencas sedimentarias, pero son tan decisivos que muchas otras causas pueden ser concebidas como introductoras de matices que, sumados a la arquitectura básica inducida por el Factor Determinante, acabarán por proporcionar la maravillosa diversidad estratigráfica. 1) Factor de Progradación. Considerado de tercer orden por definir la organización interna de los System Tracts regresivos, el volumen y la distribución de sus depósitos. 2) Factor Área de Depósito. Considerado de segundo orden por incidir sobre cada individual System Tract. 3) Factor de Configuración. Considerado de primer orden por afectar a un elevado número de Secuencias de Depósito.

Factor de Configuración. La continuidad de los procesos tectónicos impone diferencias geométricas en el volumen subsidente que recibe los sedimentos, esto obliga a las Secuencias de Depósito a adoptar tres configuraciones de gran escala, que por su correlación con procesos distensivos o compresivos y tipos de subsidencia, podemos llamar: borde estable, rift y molasa.

La subsidencia térmica de los bordes

continentales provoca una configuración progradante de los taludes y retrogradante de los márgenes de las Secuencias de Depósito que sobre ellos se instalan. Durante la subsidencia tectónica inicial el dispositivo es doblemente centrífugo para márgenes y taludes, ambos retrogradan hacia los dos bordes del rift. Un surco compresivo diferencia una configuración centrífuga unidireccional (retrogradación) de márgenes y taludes (Fig. 1).

En estas grandes configuraciones que afectan a numerosas Secuencias de Depósito, es frecuente que algunas de éstas rompan el estilo del gran grupo por causa de los factores determinantes de 2º y 3º orden: transgresiones muy eficaces, cambios eustáticos muy efímeros, ausencia de aportes sedimentarios, etc... modificaciones de menor escala, no introducidas en el dibujo.

Factor Área de Depósito. La magnitud de un cambio eustático ocasiona en los System Tracts de Nivel Bajo y Transgresivos una distribución paleogeográfica diferencial de sus depósitos. La cantidad del descenso hará que el sedimento correlativo quede atrapado en plataforma interna, media, externa, talud o cuenca. La magnitud o eficacia de un ascenso controlará el «onlap» extensivo y el borde del siguiente depósito de Nivel Alto (HST) que es el que realmente tendrá posibilidades de colmar el volumen sedimentario de la plataforma (Fig. 2).

Ascensos de magnitud o eficiencia importantes propician la construcción del margen y la plataforma, mientras que los descensos importantes focalizan su destrucción, la progradación del talud y la colmatación de la cuenca. Es así como podemos significar dos grandes tipos de Secuencias de Depósito, las Constructoras y Destructoras del margen y plataforma, aproximadamente coincidentes con los tipos 1 y 2 de Vail (1987) y las «forced regression» de Posamentier *et al.* (1993) para el segundo tipo.

Factor de Progradación. En los System Tracts Regresivos, lo prolongado o breve del estadio de nivel y las posibilidades de alimentación en sedimento, especialmente en los HST, constituyen una asociación cuyas variables combinatorias definirán el tipo «back y foresteeping» (Mitchum y Van Wagoner, 1991) de los System Tracts y las modalidades de superposición de unos y otros.

Si combinamos descensos y estabilizaciones prolongadas o breves con exceso o déficit de sedimento, obtenemos 24 geometrías que pueden sintetizarse en 4:

progradación y agradación del talud, diferenciación de dos taludes y creación de cuñas de plataforma (Fig. 3).

Geometrías finales

La combinación de las diferenciaciones básicas impuestas por Área de Depósito y Progradación acaban por caracterizar cinco motivos preferenciales: 1) Construcción del margen durante los HST merced a la eficiencia de transgresiones previas. 2) Progradación del talud durante HST y LST. 3) Diferenciación de un segundo talud externo, progradante en LST y retrogradante en HST. 4) Agradación de plataforma y talud. 5) Depósito de suaves cuñas de sedimento en plataformas (Fig. 4).

Si consideramos que la magnitud del cambio eustático, la cantidad de sedimento y la duración del estadio de nivel, significan que cada System Tract sea voluminoso o reducido y progradante o retrogradante, respecto al anterior, podemos esquematizar ocho tipos que representan las geometrías básicas de las Secuencias de Depósito (Fig. 5). Se observa que ninguna de estas configuraciones es la divulgada por Vail (1987), pues muy acertadamente, el citado esquema representa una arquitectura híbrida entre las muchas posibles.

Estos ocho tipos de Secuencias de Depósito pueden significarse como:

Constructoras del margen (C): Un episodio de progradación (C1P). - Dos episodios de progradación (C2P). - Con dos taludes (C2TA y C2TB), significativo el talud de nivel alto (A) o el de nivel bajo (B).

Destructoras del Margen (D): - Un episodio de progradación (D1P). - Dos episodios de progradación (D2P). - Con dos taludes (D2TA y D2TN), prominente el de nivel alto (A) y ninguno significativo (N).

Conclusiones

La arquitectura de una Secuencia de Depósito es condicionada por las características individuales y las posibilidades de superposición de los tres System Tracts que la conforman. Los factores determinantes de estas combinaciones geométricas pueden especialmente ser relacionados con la eficiencia o magnitud

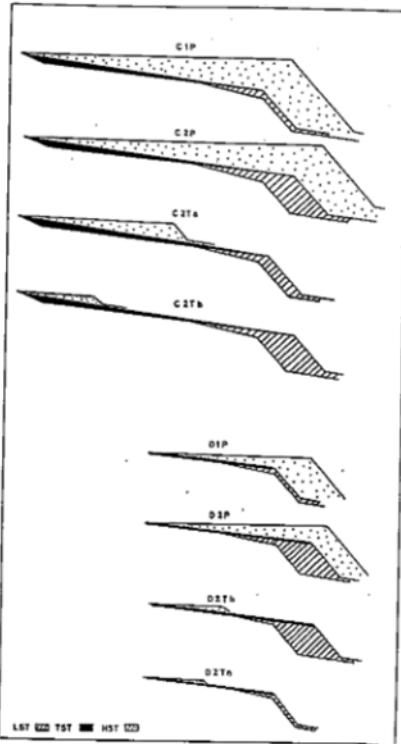


Fig. 5.- Ocho tipos básicos de Secuencia de Depósito: constructoras (C) o destructoras (D) del margen con una o dos (1P y 2P) System Tracts progradantes y diferenciando dos taludes (2TA, 2TB y 2TN).

Fig. 5.- Basic types of Depositional sequences. C: Constructive; D: Destructive; 1P: One progradational system tract; 2P: Two progradational system tracts; 2T: Two differentiated slopes.

del cambio eustático que define el área de depósito y la resultante de la interacción entre la duración del estadio o tendencia de nivel y la cantidad de sedimento, que definen el volumen sedimentario y las modalidades de superposición de los System Tracts. Se obtienen así ocho arquitecturas básicas que caracterizan la construcción o destrucción del margen y otras diferenciaciones geométricas de menor entidad, tales como la creación de uno o dos Cortijos progradantes y uno o dos taludes prominentes.

Estas diferenciaciones no pueden entenderse relacionadas con la actividad tectónica del área receptora del sedimento, ya que la frecuencia de los cambios eustáticos y climáticos es mucho más elevada que la de los largos procesos tectónicos.

Durante las etapas de subsidencia acelerada, distensiva o compresiva, el motor tectónico modifica la geometría de la cuenca a mayor ritmo que las usuales velocidades de sedimentación y ello acaba por diferenciar tres grandes configuraciones que afectan a numerosas Secuencias de Depósito: configuraciones centrífugas tipo rift y molasa, que respectivamente caracterizan una marcada retrogradación bi y unidireccional de márgenes y taludes, y configuración centrípeta o de borde bajo subsidencia térmica, que caracteriza la progradación de márgenes y taludes. Estas grandes «configuraciones tectónicas» son modificadas por procesos eustáticos y climáticos de alta eficacia que usualmente afectan a un número limitado de Secuencias de Depósito.

Referencias

- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R. (1987): *Science*, 194: 1121-1132.
- Martínez del Olmo, W., Aguirre, J. y Fernández Ortigosa, F. (1991): *I Congr. Grupo Español del Terciario*. Vic: 206-209.
- Martínez del Olmo, W., Méndez A. y Conesa, J. (1994): *V Simp. Cuencas Subandinas*. Venezuela: 85-107.
- Martínez del Olmo, W., Méndez, A., De Andrea, R., Conesa, J. y Martínez Cabañas, W. (1994): *V Simp. Cuencas Subandinas*. Venezuela: 108-121.
- Martínez del Olmo, W. (1996): Tertiary basins of Spain. *Spec. Publ. Univ. Cambridge*: 55-67.
- Mitchum, R.M. Jr. y Van Wagoner, J.C. (1991): *Sedim. Geol.* 70: 131-160.
- Posamentier, H.W., Allen, G.P., James, D.P. y Tesson, M. (1993): *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 11: 1687-1709.
- Riaza, C. y Martínez del Olmo, W. (1996): Tertiary basins of Spain. *Spec. Publ. Univ. Cambridge*: 330-338.
- Vail, P.R. (1987): *Amer. Assoc. Petro. Geol. Spec. Publ. Edit. A.W. Bally*: 27 (11):11.
- Vail, P.R. y Wordnart, W.W. (1990): *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Gulf Coast Section*: 379-388.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M. Jr., Campion, K.M. y Rahmanian, V.D. (1990): *Amer. Assoc. Petro. Geol. Methods in Exploration*. 7:55.
- Wordnart, W. Jr. y Vail, P.R. (1991): *Spec. Publ. Micro-Strat. Edit. Londres*.