

Caracterización de «System Tracts» a partir de sondeos de exploración de hidrocarburos

Identification of System Tracts and Depositional Sequences from hydrocarbon exploration wells

W. Martínez del Olmo

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

ABSTRACT

Wells drilled for hydrocarbon exploration provide plentiful lithostratigraphic information which, combined with the flooding and shallowing parasequences obtained from well log interpretation, allow the characterization of System Tracts and Depositional Sequences. This interpretation method requires no sound skills on sedimentology nor on well log analysis, and its results can be more efficient than those obtained from seismic interpretation.

Key words: well log, depositional sequences.

*Geogaceta, 20 (1) (1996), 100-103
ISSN: 0213683X*

Introducción

Una Secuencia de Depósito consta de tres «System Tracts», Cortejos o Episodios, que además de ordenados temporalmente, contienen sedimentos con una polaridad definida. Dos de ellos, el primero (SMW/LSW) y el último (HST) contienen cortejos litológicos de polaridad regresiva o progradante, mientras que el System Tract intermedio (TST), define sedimentos transgresivos o retrogradantes (Vail, 1987).

La respuesta sedimentaria al estado o tendencia del nivel marino es también condicionada por otros procesos no eustáticos que harán que las parasecuencias de inundación y somerización alberguen otros matices tales como la agradación y las progradaciones tipo «forestepping y backstepping» (Van Wagoner *et al.*, 1990). Matices o características que no llegan a modificar la polaridad sedimentaria que conceptualmente define los System Tracts.

Un sondeo de hidrocarburos alberga tanto información geológica directa, descripción y análisis de muestras, como la indirecta proporcionada por los parámetros y constantes físicas que registran las diagráfias de pozo. Ambos tipos de información hacen del sondeo una sección estratigráfica vertical, tan susceptible de interpretación como una de superficie.

Las diagráfias de pozo miden variaciones en la vertical de la Resistividad, Velocidad sónica, Densidad, Porosidad, Diferencia de potencial, Buzamiento, Fracturación, etc... y Radiactividad natural. Estas variaciones inducidas por la litología y por los

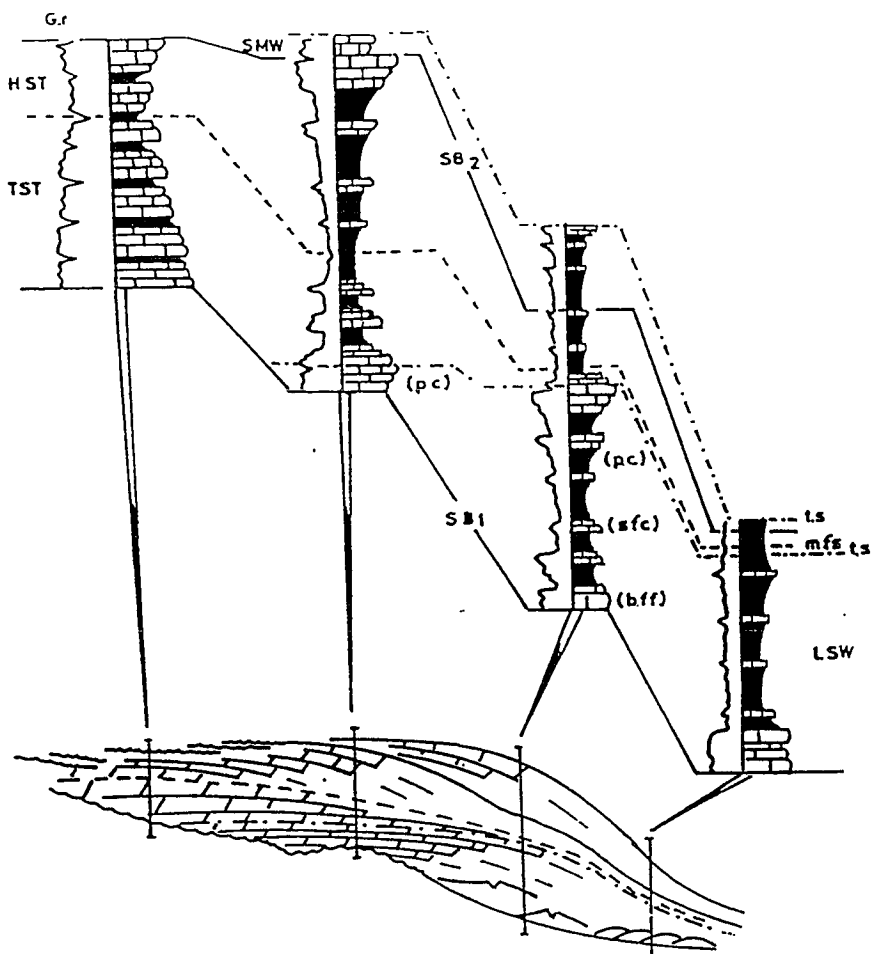


Fig. 1.- Respuesta conceptual del log de radiactividad natural (G.r.) en diferentes posiciones de una Secuencia de Depósito de tipo 1 y 2.

Fig. 1.- Gamma ray log response from different paleogeographies belonging to type 1 and 2 Depositional Sequences.

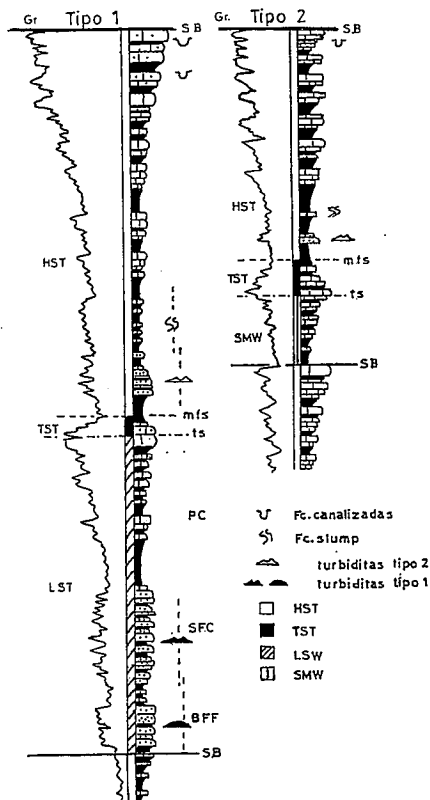


Fig. 2.- Secuencias de Depósito tipo 1 y 2 desde un perfil de radiactividad natural.

Fig. 2.- Conceptual type 1 and 2 Depositional Sequences on gamma ray log response.

fluidos contenidos en la porosidad, proporcionan la base física que traduciremos a polaridades sedimentarias y que unidas a la descripción litoestratigráfica, constituirán la base de la interpretación estratigráfica secuencial.

Por su capacidad de definición vertical, la escasa influencia de los fluidos y el calibre de pozo, el perfil de Radiactividad Natural (G.R.) es el que mejores resultados proporciona para la interpretación secuencial. Sus variaciones pueden traducirse a contenido de arcilla cualquiera que sea la litología base. La variación en vertical, que puede ser observada a escala métrica (secuencia elemental) y decamétrica-hectométrica (parasecuencia), puede ser traducida respectivamente como: granocreciente o decreciente en formaciones siliciclásticas y arcillosas e inundación o somerización en formaciones carbonatadas. Cuando la definición no es puntual, sino que afecta a una parasecuencia, progradación-regresión y retrogradación-transgresión son fácilmente identificables.

La preferencia por el perfil G.R. no implica que otras diagráfias no cooperen con la interpretación en los tramos del pozo en

que formaciones litológicas complejas, niveles radiactivos, etc... hagan necesario su concurso. De hecho, puede afirmarse que un juego completo de diagráfias proporciona casi tanta información litológica como la provista por la directa observación de campo.

Secuencias de depósito y diagráfias de pozo

El conocido esquema de Vail (1987) es una muy acertada simplificación de una Secuencia de Depósito iniciada por un descenso de nivel marino notable o moderado (tipos 1 y 2). Aunque existen numerosísimas variantes a estos dos tipos de «Depositional Sequences», ellos no hacen sino modificar la geometría y localización paleogeográfica del grueso del registro sedimentario de cada System Tract. Las numerosas configuraciones que pueden surgir según la magnitud y duración del estadio de nivel, la cantidad y tipo de sedimento a distribuir y la topografía subaérea y submarina que ha de acogerlo, no son un obstáculo para la interpretación, pues aunque modifiquen la geometría, espesor y localización de cada System Tract, e incluso su más rápida o lenta condensación, ni cambian la polaridad sedimentaria individual, ni introducen modificación en la superposición temporal de los tres System Tracts. Es así, como a pesar de lo simplificado, partiremos de tal esquema para expresar la respuesta de un perfil G.R. cortando diversas posiciones paleogeográficas de una tal Secuencia de Depósito.

Las secuencias y parasecuencias definidas por el perfil G.R. y la lito y bioestratigrafía, no solo mostrarán las polaridades sedimentarias y discontinuidades estratigráficas que caracterizan y limitan los System Tracts (Vail, 1987), también mostrarán las relaciones entre aporte sedimentario y ritmo eustasia-subsidencia (Van Wagoner *et al*, 1990) y las primeras indicaciones paleogeográficas provistas por los espesores y facies de los System Tracts: espesor y arcillosidad basal de las secuencias genéticas, superposición de facies condensadas (Wordnart *et al*, 1991), y todas aquellas que provee la correlación de tres-cuatro, etc... pozos cortando una Secuencia de Depósito desde el margen a la cuenca (Martínez del Olmo, 1994 y 1996).

Podría decirse que esta figura inicial resume toda la base metodológica de la Estratigrafía Secuencial desde pozo, ya que si a ella aplicamos datos, correlación e interpretación geológica, como usualmente hacemos con las observaciones de superficie, llegaremos a la interpretación buscada. A pesar de ello, dado el objetivo metodológico de esta comunicación, trataremos de ex-

presar las más usuales dificultades que surgen desde los sondeos para la identificación de System Tracts y sus discontinuidades límite (Fig. 2).

1.1. System Tracts de Nivel Bajo

Los Cortejos de Nivel Bajo no se corresponden únicamente con los dos tipos descritos por Vail (1987), aquellos que abreviamos como LSW y SMW y que denominamos cuñas de cuenca y de talud. En realidad existen múltiples tipos que están directamente relacionados con la magnitud y duración del descenso eustático con ellos correlativo. Pero dado que es necesario esquematizar, podríamos decir que ampliando a cuatro tipos, seríamos capaces de recoger las variaciones de localización paleogeográfica, facies y espesores que caracterizan sus depósitos.

La magnitud del descenso es correlacionable con la cantidad de erosión, el volumen de sedimento a distribuir y el segmento paleogeográfico donde depositarlo. Se obtienen así esos cuatro tipos básicos que denominamos cuñas de margen (CM), cuñas de plataforma (CP), cuñas de talud (SMW) y cuñas de cuenca (LSW)

Las dos primeras (CM y CP) alcanzan su condensación distal sobre la plataforma del HST previo y se suelen distinguir por la escasa potencia de sus registros y por el contraste energético, más arcilloso, que el HST que les precede. El aspecto final que entonces las caracteriza es una brusca arcillosidad superpuesta al techo de una parasecuencia tipo HST.

Las cuñas de talud (SMW) pueden llegar a ser muy extensivas sobre la plataforma previa y es así como sus segmentos internos serán difíciles de diferenciar de las anteriores. Solo la información provista por pozos en paleogeografías tipo talud-cuenca, espesores, relaciones energéticas y superposición de facies condensadas, llegarán a diferenciar si se trata de unas u otras.

Las cuñas de cuenca (LSW) son fáciles de identificar cuando el pozo corta las tres conceptuales agrupaciones de facies descritas por Vail (1987) BFF, SFC y PC. Si no es así, y los pozos solo cortan al borde deposicional interno, los canales turbidíticos (SFC) y el complejo progradante (PC) pueden ser fácilmente confundidos con el talud del HST previo, sobre todo si este es de tipo descompensado o «forestepping», pues también este tipo de System Tracts incluye turbiditas de pie de talud (Martínez del Olmo, 1994). También es preciso observar que el complejo progradante de un LSW puede llegar a ser muy extensivo sobre la plataforma previa, de forma que podemos confundirlo con uno de los tres tipos ante-

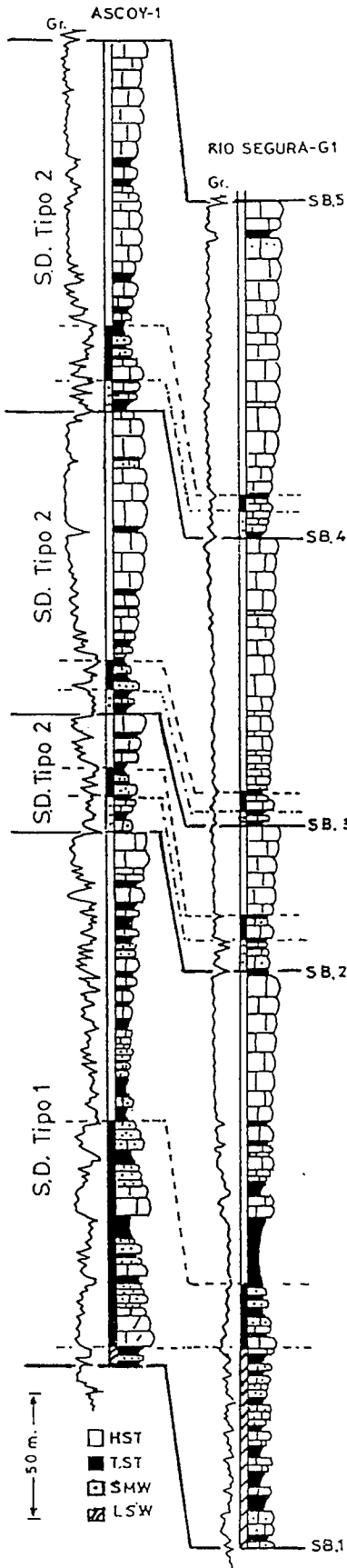


Fig. 3.- Ejemplo de interpretación y correlación del Barremiense-Aptiense.

Fig. 3.- Well correlation and interpretation of the Barremian-Aptian Supersequence.

riores.

Se entiende así que un solo pozo difícilmente puede llevarnos a caracterizar el tipo de Episodio de Nivel Bajo que reconocemos, y que solo la correlación margen-cuenca de varios pozos, y los criterios de superposición de facies con el HST precedente, nos llevarán a la caracterización final.

1.2. System Tracts Transgresivos

Los Cortejos transgresivos (TST) están siempre conformados por un reducido número de secuencias genéticas granodecrecientes que constituyen una delgada parasecuencia de inundación. Sea por la continuada ampliación del volumen sedimentario donde distribuir el sedimento que provoca la inundación del área emergida y quizás por la disminución del volumen de aportes que alcanza la línea de costa, lo más característico de estos TST es su reducido espesor sedimentario. Nada pues que agregar al dibujo de Vail (1987), sobre su extensión y condensación, pero si hacer notar que no es acertada la relación escalar de tal dibujo, pues salvo en el extremo margen interno, el espesor del Cortejo Transgresivo es sensiblemente igual o superior al regresivo (HST) que le sucede. En el resto del área de depósito los espesores son enormemente desproporcionados.

Cualquiera que sea la posición paleogeográfica en que observemos el TST, excepto en la condensación de plataforma media, externa o talud, la superficie de inundación máxima (m.f.s.) es muy visible y característica en el perfil G.R.: cambio de polaridad sedimentaria coincidente con picos de arcillosidad máxima que son el resultado de la superposición de las facies distales transgresivas y regresivas y de frecuentes fenómenos de anoxia.

La identificación de la superficie transgresiva (t.s.) puede ser más problemática cuando, en plataforma, el TST se apoya sobre uno de tipo HST, caso bastante frecuente. Dos causas originan esta dificultad. Una es la superposición de facies energéticas transgresivas sobre otras también energéticas regresivas en las que es difícil definir su polaridad sedimentaria, pues por su excesiva proximidad, no diferencia unas secuencias genéticas regresivas de base arcillosa. La segunda dificultad radica en que en estas posiciones el HST previo suele incluir secuencias canalizadas (granodecrecientes) que son difíciles de separar de las genuinas secuencias de inundación.

Aunque la indeterminación de donde colocar la superficie transgresiva no suele incluir un espacio mayor a los 10-15 m, la dificultad es evidente, pero es casi siempre resuelta porque tal superficie suele ir acom-

pañada de picos muy radiactivos (fosfatos, paleosuelos, etc...) y niveles endurecidos, que suelen ser fácilmente identificables en G.R., Sónico, Densidad, etc...

1.3. System Tracts de Nivel Alto

Los Cortejos HST son de muy diversa arquitectura y tipo, tantos como podamos imaginar en lo que se refiere a: magnitud de la progradación sobre el TST que le precede, sistemas tipo rampa, plataforma-talud, cantidad de la progradación de fluviales y fluvio-deltáicos, espesores sedimentarios, etc... pero si queremos simplificar, todos ellos podemos referirlos a tres modelos básicos: sistemas tipo rampa y sistemas plataforma-talud con exceso o defecto de material sedimentario.

En general los Cortejos HST constituyen el más llamativo y sencillo modelo secuencial de un pozo. Espesas parasecuencias de «tipo deltáico» que solo a su techo suelen perder el ritmo estratocreciente.

Los sistemas tipo rampa son fáciles de identificar, pues desarrollan secuencias genéticas cortas y de base poco arcillosa. Los sistemas tipo deltáico bien alimentado (forestepping), ocasionan una alta velocidad de progradación que se traduce en taludes inestables y de acusada pendiente. Este tipo de taludes y el exceso de material sedimentario acaba por alimentar sistemas turbidífticos de pie de talud que progradan a idéntica velocidad que todo el sistema. Son turbiditas que caracterizan una gran continuidad horizontal y un escaso desarrollo vertical, y que pueden inducir a confundir estos Cortejos HST con los de Nivel Bajo (Martínez del Olmo *et al*, 1994 y 1996).

La diferenciación de estos sistemas turbidífticos de los relativos a un LST es que invariablemente se sitúan en el segmento distal de un HST y desde luego, inmediatamente encima de una discontinuidad m.f.s. No existe así confusión posible entre unas turbiditas y otras a partir de los registros y datos de pozo.

Los Cortejos HST mal nutridos en sedimento (backstepping) se caracterizan por incluir secuencias elementales arcillosas y granocrecientes que se agrupan en una parasecuencia energético decreciente (Van Wagoner *et al*, 1990). Son Cortejos de reducido espesor y notable arcillosidad que pueden ser confundidos con los System Tracts de Nivel Bajo tipo CM, CP y SMW. Los criterios de superposición de System Tracts y de nuevo la individualización de la discontinuidad basal m.f.s. serán argumentos definitivos de fácil uso.

Las espesas y vistosas parasecuencias que constituyen los HST que inicialmente creímos segregar como de una única polari-

dad sedimentaria, suelen engañarnos con cierta facilidad. Es decir, las llamativas parasecuencias progradantes, fáciles a primera vista, suelen incluir pequeñas secuencias «opuestas» al ritmo energético creciente que las define. Estas esporádicas secuencias granodecrecientes son debidas a dos causas:

- 1.- Facies canalizadas en el segmento más somerizante.
- 2.- Pequeños o poco eficaces pulsos transgresivos que se corresponden con genuinos TST.

La diferenciación de esta última importante posibilidad es una cuestión que resolveremos con la correlación de pozos, pues si los potenciales TST son correlacionables en varios pozos ciertamente distanciados y se localizan por debajo del segmento más somerizante del original HST la probabilidad de que constituyan genuinos Cortejos Transgresivos y no facies canalizadas es muy alta (Fig. 3).

Un método que suele despejar dudas consiste en dibujar un esquema de distribución de facies considerando un único HST. Si tal esquema es confuso o complicado, pues obliga a introducir numerosos cambios de facies, en especial en la plataforma media-externa de un tal HST: cinturones siliciclásticos externos, facies canalizadas, etc... lo más probable es que ellos estén motivados por una errónea interpretación secuencial y que lo correcto sea la segregación de nuevas y menos evidentes Secuencias de Depósito.

Estos comentarios no son ni más ni menos que la consecuencia de un motivo conceptual antes expresado. Los Cortejos Transgresivos son muy delgados y en las ocasiones en que están promovidos por ascensos eustáticos moderados, hecho muy usual, son incapaces de diferenciar un Cortejo sedimentario fácil de reconocer.

Secuencias de depósito en facies continentales

Las «Depositional Sequences» de tipo 1 y 2 definidas por Vail (1987) incluyen un tipo preferencial de sedimento continental, que no es otro que el relativo a la progradación de la llanura de inundación fluvial o deltáica de un System Tract HST. Pero podemos preguntarnos que ocurre cuando el momento eustático es transgresivo o de bajada. Lo primero que se nos ocurre, es que en estos casos retrogradarán y progradarán de forma semejante a las llanuras deltáicas. Si esto es verdad, lo primero que debemos notar es que las llanuras de inundación que sabemos que progradan, están comunicadas o abiertas y ciertamente próximas, a las orillas marinas. Esta observación permite

diferenciar dos grandes tipos de sedimentos continentales: los depositados en cuencas aisladas, muy distanciadas o elevadas con respecto a las orillas marinas (intracontinentales) y los depositados en llanuras de inundación conectadas y próximas al océano.

Para los primeros es por el momento impensable que las oscilaciones de un alejado océano dejen su huella en la organización sedimentaria promovida por la actividad tectónica del frente de arranque del sedimento. Tales sedimentos se organizan entonces en dos grandes megasecuencias que sin grandes problemas conceptuales podemos llamar rift y molasa y que incluyen reactivaciones energéticas que creemos de génesis tectónica y quizás, climática. Rift y molasa son espesas parasecuencias retrogradantes y progradantes que equivalen en tiempo a decenas de Secuencias de Depósito marinas promovidas por un lejano océano.

El segundo tipo de sedimentos muestra cambios energéticos que parecen poder correlacionarse con los System Tracts de facies marinas. Es evidente que no es seguro que esta interpretación sea correcta, pues no hemos conseguido el necesario control bioestratigráfico, pero cualquiera que sea la relación causa-efecto, lo cierto es que las diagráfias de pozo son capaces de identificar secuencias elementales canalizadas que se agrupan en parasecuencias de energía decreciente y creciente, que respectivamente correlacionamos con potenciales TST y HST. Las llanuras de inundación retrogradan y progradan al mismo ritmo que la plataforma interna (Fig. 4).

Conclusiones

La aceptación inmediata y casi unánime de las «Depositional Sequences» se consiguió gracias a innumerables trabajos anteriores que habían mostrado la ordenación de los sedimentos en secuencias de somerización y profundización, que en ocasiones, estaban limitadas por visibles y menos visibles discontinuidades sedimentarias. Sin discutir la génesis, no es el objeto de esta nota, lo cierto es que la ordenación temporal, las discontinuidades limitantes y la polaridad sedimentaria, se han convertido en una necesidad estratigráfica.

Si los sondeos de hidrocarburos son una columna de campo, no hay motivo alguno para que no contengan la información geológica que pueda ser tratada según los métodos de la Estratigrafía Secuencial, otra cosa muy distinta es como usar y traducir esta información.

Si las diagráfias de pozo traducen tamaño de grano, mineralogía, tipo de matriz,

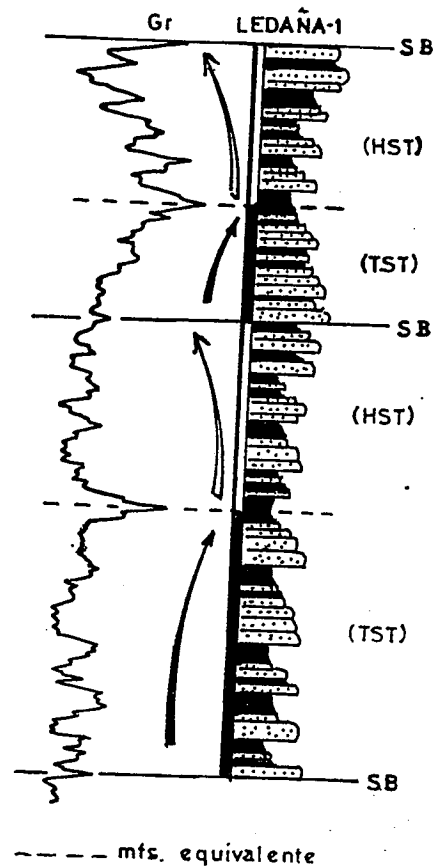


Fig. 4.- Progradación y retrogradación de las facies fluviales «Escucha y Utrillas».

Fig. 4.- Progradational and retrogradational parasequence sets in Albian fluvial facies.

densidad, porosidad, arcillosidad, etc... no hay ningún motivo conceptual que impida que puedan caracterizar las agrupaciones de secuencias elementales que constituyen los System Tracts. Es más, en muchos casos, como los relativos a formaciones arcillosas, dolomíticas y evaporíticas, las diagráfias de pozo son mucho más precisas que las difíciles observaciones de superficie y su interpretación no requiere conocimientos especializados en sedimentología o diagráfias.

Referencias

- Martínez del Olmo, W. (1994) V. Simpos. Cuencas Subandinas. Venezuela: 1-19.
 (1996) Tertiary basins of Spain. Univ. Cambridge. Edit. P. Friend y C. Dabrio
 Vail, P.R. (1987): Amer. Assoc. Petrol. Geol. Atlas of seismic stratigraphy. 27 (11): 11.
 Vail, P.R. y Wordnart, W.W. (1990): Soc. Econ. Pal. Min. Gulf Coast section: 379-388.
 Van Wagoner *et al.* (1990): Amer. Assoc. Petrol. Geol. Met. Explor. Series 7:55.
 Wordnart, W.W. y Vail, P.R. (1991): Micro-Strat. Edit. Londres.