

LA SUBSIDENCIA DE LA SUBCUENCA LOMAS DE OLMEDO

A PARTIR DE DIAGRAMAS TIEMPO-PROFUNDIDAD

Héctor R. Fraga

Instituto de Física Rosario, CONICET

Rosario, República Argentina

RESUMEN

Por medio de diagramas tiempo-profundidad se discriminó la subsidencia total de la Subcuenca Lomas de Olmedo en subsidencia por carga y termotectónica. Los diagramas se construyeron a partir de datos de perforaciones. La subsidencia total se obtuvo luego de realizar la decompactación de las formaciones presentes, a través de criterios geológicos y ecuaciones matemáticas, en función de la variación en la relación porosidad-profundidad. La subsidencia por carga, se calculó a partir de modelos corticales isostáticos, de acuerdo con Airy. La subsidencia termotectónica resultó de la diferencia entre la subsidencia total y la subsidencia por carga.

Los diagramas tiempo-profundidad permitieron relacionar cambios en la velocidad de subsidencia con el paso de fases, de synrift (extensión cortical) a drift (enfriamiento térmico). Remarcado esto por efectos magmáticos y/o una ingresión marina.

ABSTRACT

The total subsidence of Lomas de Olmedo sub-basin was discriminated by means of the time-depth plots in the load and thermotectonic subsidence. The plots were prepared from drilling data. The total subsidence was obtained after doing the decompaction of the different layers, using geological and mathematical concepts, mainly as a function of the variation of porosity with depth. The load subsidence was calculated from the isostatic crustal Airy model.

The thermotectonic subsidence was obtained from the difference between the total subsidence and the load subsidence.

The time-depth plots permitted to relate changes in the subsidence velocity with the phases changes, of synrift (crustal extension) to drift (thermal cooling). It remarked by both magmatic effects and/or a marine ingression.

#### INTRODUCCION

La subsidencia puede englobar a uno o varios mecanismos que posibilitan su inicio y posterior desarrollo, dando como resultado el hundimiento de un sector de la superficie terrestre y originándose, de este modo, una cuenca sedimentaria.

Los mecanismos que provocan la subsidencia tendrán mayor o menor importancia en función de la génesis y el estado evolutivo en que se encuentre la cuenca, como tales se pueden mencionar: atenuación cortical, termotectonismo, flexión de la litosfera o una combinación de estos factores en el espacio y en el tiempo (Dickinson, 1983). Entre los procesos secundarios se encuentran: la conducción horizontal del calor en la corteza, la carga sedimentaria y el comportamiento térmico de las rocas que colmatan la cuenca (Royden y otros, 1983). Entonces, independientemente del mecanismo que la origina, la subsidencia es el resultado de la disipación de tensiones en la corteza.

Una forma de analizar la subsidencia es a partir de técnicas estratigráficas cuantitativas, que permiten la construcción de diagramas tiempo-profundidad a partir de datos de perforaciones, tales como litología, espesores y edades formacionales. Datos adicionales como por ejemplo, velocidades sísmicas, mapas isobáticos o valores de porosidad son siempre útiles. Estos diagramas permiten visualizar fundamentalmente los movimientos descendentes del basamento en diferentes intervalos del tiempo geológico y separar de la subsidencia to-

tal, la subsidencia por carga y la subsidencia termotectónica, en función de las causas principales que las originan.

La Subcuenca Lomas de Olmedo, que se desarrolla principalmente en la provincia de Salta, tiene forma alargada, con rumbo general NE-SW y responde a un orientectónico, de estilo extensional. Entre los factores predominantes en su origen y evolución se pueden mencionar el ascenso de materiales sublitosféricos, una atenuación cortical y una consecuente subsidencia.

La subsidencia de la subcuenca se analizó por medio de la construcción de diecisiete diagramas tiempo-profundidad, a partir de otras tantas perforaciones realizadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF). De todos ellos, se seleccionó el correspondiente al pozo Lomas de Olmedo Este X-1 (LOE X-1) (Fig.1) por considerarlo representativo de la historia subsidente de Lomas de Olmedo.

#### DIAGRAMAS TIEMPO-PROFUNDIDAD

La construcción de los diagramas implica partir de datos actuales y realizar una retropredicción, en busca de reconstruir en forma aproximada, la dinámica del proceso de subsidencia en una cuenca sedimentaria, desde el momento de su formación hasta la actualidad.

El número de variables en los modelos naturales es grande y difícil de cuantificar, por ello se trabajó con modelos simplificados basados en dos hipótesis fundamentales:

1- Hipótesis de masa constante, supone que desde su depositación hasta la actualidad, las formaciones no sufren ni pérdida ni ganancia de materia.

2- Se consideró a las formaciones de manera unitaria, donde las características litológicas, porosidad, densidad, etc. se mantienen uniformes en todo su espesor.

Los diagramas tiempo-profundidad están integrados por cuatro

curvas:

a- Curva de subsidencia de pozo: se obtiene en forma directa a partir de los espesores formacionales medidos en las perforaciones.

b- Curva de subsidencia total: resulta de efectuar la corrección por compactación de los espesores de las formaciones y grafica el movimiento real del basamento o del fondo de la cuenca.

c- Curva de subsidencia por carga: corresponde a la subsidencia causada por la depositación de las sucesivas formaciones en una cuenca. Representa entre el 55% y 65% de la subsidencia total.

d- Curva de subsidencia termotectónica: implica todos aquellos procesos tanto térmicos (enfriamiento cortical y del manto superior) como tectónicos (fallamiento y formación de bloques) que ocurren durante la formación y evolución de una cuenca. Representa entre el 45% y 35% de la subsidencia total.

#### SUBSIDENCIA TOTAL

##### Corrección por compactación

La subsidencia total se obtuvo luego de realizar la decompactación de las formaciones presentes en la perforación, a través de criterios geológicos (litología, ambientes deposicionales, etc.) y ecuaciones matemáticas. Es evidente, que el espesor actual de una formación no es idéntico al espesor original de la misma en el momento de su depositación, pues este último era mayor y a través del tiempo, en función de su litología y profundidad de soterramiento, sufrió una compactación progresiva hasta alcanzar el espesor actual. Entonces, para poder realizar la retropredicción se debe llevar a cabo, paso a paso, la decompactación de las distintas formaciones de la perforación en estudio.

En este trabajo la decompactación se efectuó en función de la

variación de la relación porosidad-profundidad, técnica también aplicada en el estudio de otras cuencas (Fraga y Nocioni, 1987). En un trabajo previo Introcaso y Gerster (1985), realizaron diagramas tiempo-profundidad para las cuencas del Salado, Colorado, del Golfo de San Jorge, y Laboulaye pero en todos estos casos para realizar la decompactación utilizaron la relación densidad-profundidad.

Para obtener los espesores formacionales en distintos tiempos geológicos se aplicó la siguiente ecuación:

$$S = \sum_i \frac{(1 - \phi_i) T_f}{(1 - \phi'_i)} \quad (1) \quad \begin{array}{l} \text{Steckler y Watts (1978)} \\ \text{Watts y Steckler (1981)} \end{array}$$

S: Espesor inicial (o a una determinada edad)

Tf: Espesor actual

$\phi_i$ : Porosidad actual

$\phi'_i$ : Porosidad inicial al momento de su depositación o a una determinada edad.

De la ecuación (1) surge que Tf es un dato que se obtiene de la perforación, en tanto  $\phi_i$  y  $\phi'_i$  son incógnitas que se calculan por medio de ecuaciones.

#### Cálculo de la porosidad

La porosidad ( $\phi$ ) de un sedimento está en función directa de su litología, donde los factores más importantes son: 1- la granulometría y forma de sus clastos y 2- su profundidad de soterramiento.

En este caso se tomaron tres materiales como básicos: arenas, pelitas y calcáreos y todos los sedimentos diferentes a los tres mencionados se asemejaron a aquellos que mejor los representan. La porosidad de las formaciones se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

Para pelitas:

$$\phi = \frac{0,7}{1 + 0,001 \times Z} \quad (2) \quad \text{Horowitz (1976).}$$

Para arenas:

$$\phi = 0,38 \times e^{-5 \times 10^{-5} \times Z} \quad (3) \quad \text{Horowitz, (1980} \\ \text{en Hardenbol y} \\ \text{otros, 1981).}$$

Para calcáreos:

$$\phi = 41,73 \times e^{-Z/2498} \quad (4) \quad \text{Schmoker-Halley} \\ \text{(1982).}$$

en (3) y (4)  $e = 2,71828$

La profundidad (Z) se tomó desde la boca de pozo hasta la mitad del espesor total de la formación. Como no todas las formaciones están integradas por uno solo de los tres materiales básicos, entonces en base a criterios geológicos como ubicación de la perforación en relación a la cuenca, ambientes de depositación y a datos de trabajos preexistentes (Mingramm y otros, 1979; por ejemplo) se estableció el porcentaje de cada material en las formaciones mixtas, por ejemplo 40% de pelitas y 60% de arenas, obteniéndose un promedio ponderado para la porosidad de estas formaciones.

La porosidad inicial ( $\phi'_i$ ) de las distintas formaciones se estableció como la correspondiente a una profundidad igual a la mitad del espesor actual de cada formación en particular.

Una vez calculados los valores de  $\phi_i$  y  $\phi'_i$  se reemplazaron en (1), se obtuvieron los espesores decompactados y con ellos la curva de subsidencia total (Fig.1). En ella se aprecia que no necesariamente los sedimentos más antiguos sufrieron mayor porcentaje de compactación, sino que dicho porcentaje estará en función de la litología, donde las arcillas alcanzan los mayores valores (13,5%) de decompactación con relación a su espesor actual. También, es muy notorio el incremento de la velocidad de subsidencia en el límite Cretácico-Terciario, expresado ello por un brusco cambio en la pendiente de la curva de subsidencia total. Hecho que también se refle

DIAGRAMA TIEMPO-PROFUNDIDAD B

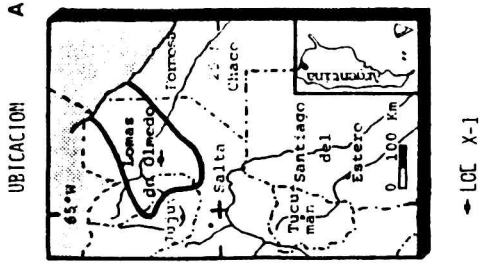
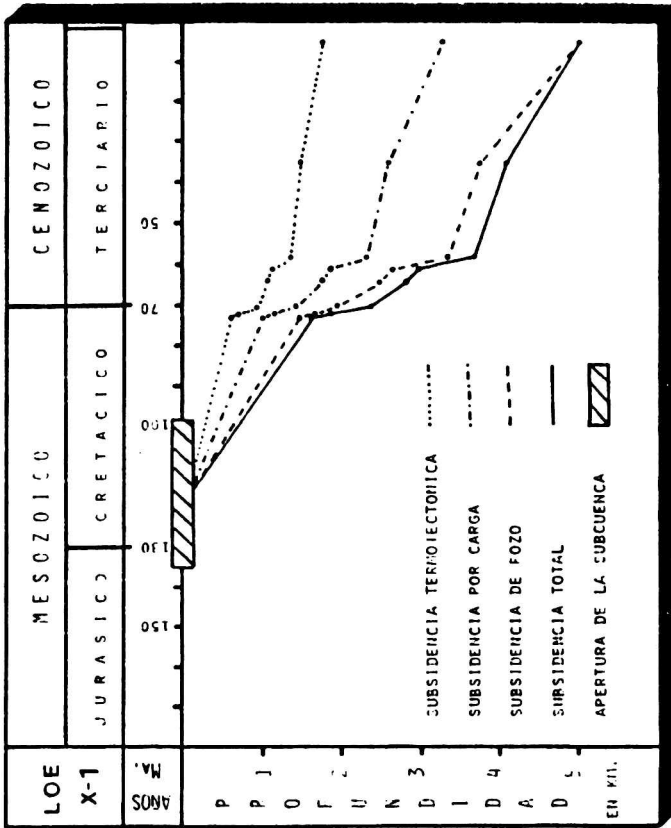


Figura 1 - A- Ubicación y situación relativa de la Subcuenca Lomas de Olmedo. B- Diagrama tiempo-profundidad del pozo Lomas de Olmedo Este X-1 (YPF).

ja en las demás curvas del diagrama.

#### SUBSIDENCIA POR CARGA

La subsidencia por carga implica el hundimiento de una cuenca como consecuencia del aumento de la carga sedimentaria, causado por la depositación de nuevos sedimentos. Esto condiciona una respuesta isostática en relación con el incremento de la presión litostática.

Para los cálculos se utilizó un modelo en el cual la carga es balanceada isostáticamente de acuerdo con la idea de Airy. En este tipo de cargamento, la litosfera responde solo a cargas inmediatamente por sobre ella. La reconstrucción corresponde a un simple balance de masas entre dos columnas en un instante T1 antes de la depositación del paquete sedimentario y en un instante T2 una vez finalizada la depositación, teniendo ambas columnas el mismo nivel de compensación.

Para el cálculo de la subsidencia por carga se utilizó la fórmula:

$$H_c = \sum S \frac{\nabla_f}{\nabla_m} \quad (5)$$

$H_c$ : Subsidencia por carga

$S$ : Espesor de la formación a una determinada edad

$\nabla_f$ : Densidad de la formación a una determinada edad

$\nabla_m$ : Densidad del manto = 3,3 gr/cc

De esta ecuación  $S$  es un dato que se calculó al realizar la decompactación de los estratos y  $\nabla_f$  se obtuvo a partir de la ecuación:

$$\nabla_f = \phi_i \cdot \nabla_w + (1 - \phi_i) \nabla_g \quad (6)$$

$\phi_i$ : porosidad de la formación a una determinada edad. Calculada en (1).



$\nabla_w$ : densidad del agua = 1,028 gr/cc

$\nabla_g$ : densidad de grano = 2,65 gr/cc

La curva de subsidencia por carga (Fig.1), como ocurre también en las otras curvas, muestra un incremento en la velocidad de subsidencia para el límite Cretácico-Terciario. Esto remarcado por una ingresión marina proveniente del N. de Bolivia y S. de Perú (Mingramm y otros, 1979), con características de mar somero.

#### SUBSIDENCIA TERMOTECTONICA

La subsidencia termotectónica se obtiene como resultado de restarle a la subsidencia total, la subsidencia por carga.

La cuantificación de la subsidencia debida exclusivamente a uno de los efectos ya sean estos, térmicos o tectónicos es difícil de obtener en forma separada, por ello se habla en general de subsidencia termotectónica.

Autores como Royden y otros, (1980) y Hardenbol y otros, (1981) proponen una serie de curvas de subsidencia para distintos grados de inyección litosférica, solamente como consecuencia de efectos térmicos. La comparación de estas curvas con la curva de subsidencia termotectónica hallada permitiría estimar la correspondiente componente térmica, en función de que los efectos térmicos tendrían un comportamiento homogéneo en toda la cuenca y no así los procesos tectónicos.

La curva termotectónica para Lomas de Olmedo (Fig.1) se corresponde con una curva de enfriamiento, si no se considera el tramo comprendido entre los 74-58 Ma, que como ya se dijo, está influenciado por una ingresión marina.

### CONCLUSIONES

Del análisis de los diagramas tiempo-profundidad para la subcuenca Lomas de Olmedo, y en particular del correspondiente al pozo LOEX-1 (Fig.1) se destaca un incremento en la velocidad de subsidencia, expresado por una típica inflexión en la curva de subsidencia, que se inicia en el Campaniano-Maastrichtiano (74-70 Ma) y marca para este ambiente extensional, el paso de la fase de synrift (extensión cortical) a la de drift (enfriamiento térmico). Una ingresión con características de mar somero, remarca la mencionada inflexión. El avance generalizado de los mares sobre el continente durante este período, al menos para América del Sur, queda corroborado por la presencia de ingresiones marinas atlánticas en las cuencas Chaco-paranaense, del Colorado, Salado, Golfo de San Jorge y Neuquén extrandino.

El magmatismo del grupo Salta, de acuerdo con Galliski y Viramonte, (1985), se puede dividir en tres fases: Estado de pre-rift (entre 130 y 100 Ma); Estado de rift inicial (entre 80 y 75 Ma) y Estado de continuación del rift (entre 65 y 60 Ma).

Estas fases se pueden comparar con la apertura de la subcuenca y con dos pulsos de aumento en la velocidad de subsidencia marcada en el diagrama (Fig.1) por la curva de subsidencia termotectónica. Al comparar a ésta con curvas de inyección litosférica (Royden y otros, 1980 y Hardenbol y otros, 1981) surge para la subcuenca un rápido enfriamiento litosférico durante el Cretácico superior.

Los diagramas tiempo-profundidad resultan una herramienta aceptable para visualizar análisis regionales y para discriminar en forma tentativa procesos globales, pero a la hora de las conclusiones éstas deben ser analizadas detenidamente y con criterio. Desde ya que la certeza en las interpretaciones dependerá de la cantidad y calidad de los datos utilizados.

Agradecimientos

A CONICET por el apoyo financiero parcial (PID N°3-073400-85).  
A YPF por la información y colaboración brindada. Al Ing. A. Introcaso y al Dr. V. Ramos por las sugerencias aportadas.

## BIBLIOGRAFIA

- Dickinson, W.R., 1983: Evolución de la tectónica de placas de cuencas sedimentarias (I); Geología. Comunicación YPF, 30-36.
- Fraga, H., Nocioni, A., 1987: Estudio de la subsidencia en las cuencas de Santa Lucía (Uruguay), Macachín y Laboulaye (Argentina) mediante diagramas tiempo-profundidad; X Congreso Geológico Argentino. Actas II, 301-304.
- Galliski, M.A., Viramonte, J.G., 1985: Cretaceous paleorift in Northwestern Argentina petrological approach; In final Symposium of Project IGCP 120 "Magmatic Evolution of the Andes". Ed. F. Herve and F. Munizaga. Comunicaciones N° 35, 89-92.
- Hardenbol, J., Vail, P.R., Ferrer, J., 1981: Interpreting paleoenvironments, subsidence history and sea-level changes of passive margins from seismic and biostratigraphy; Oceanologica Acta N° SP, 33-34.
- Horowitz, D.H., 1976: Mathematical modeling of sediment accumulation in prograding deltaic systems; Exxon Production Research Company, 105-119.
- Introcaso, A., Gerster, R., 1985: Análisis de la evolución de las cuencas sedimentarias del Salado y Colorado en Argentina; Rev. de Geofísica 41, 3-22.
- Mingramm, A., Russo, A., Pozzo, A., Cazau, L., 1979: Sierras Subandinas, in Seg. Simp. Geol. Reg. Arg. Acad. Nac. Cienc. Vol. 1, 95-137.

- Royden, L., Sclater, J.G., Von Herzen, R.P., 1980: Continental margin subsidence and heat flow: important parameters in formation of petroleum hydrocarbons; AAPG Bulletin 64, 173-187.
- Royden, L., Horvath, F., Nagymarosy, A., Stegena, L., 1983: Evolution of the Pannonian basin system. 2 Subsidence and thermal history, Tectonics, Vol. 2 - 1, 91-137.
- Schmoker, J.W., Halley, R.B., 1982: Carbonate porosity versus depth: a predictable relation for south Florida; AAPG Bulletin 66 - 12, 2561-2570.
- Steckler, M.S., Watts, A.B., 1978: Subsidence of the Atlantic-type continental margin off New York; Earth Planet. Sci. Lett. 41, 1-13.
- Watts, A.B., Steckler, M.S., 1981: Subsidence and tectonics of Atlantic-type continental margins; Oceanologica Acta N° SP, 143-153.