

**MODELOS GRAVIMETRICOS ALTERNATIVOS QUE JUSTIFICAN LA ALTA GRAVEDAD
EN LA CUENCA DEL GOLFO DE SAN JORGE**

**Antonio Nocioni
Instituto de Física Rosario - CONICET
Rosario - Argentina**

RESUMEN

Se interpreta sobre la base de datos gravimétricos y sísmicos, un perfil continental norte-sur en la cuenca intracratónica e infracratónica del Golfo de San Jorge.

Existen valores gravimétricos positivos en la parte central del perfil que concuerdan con la zona de mayor espesor sedimentario de la cuenca. Las anomalías gravimétricas aumentaron considerablemente al ser corregidas por el efecto gravimétrico de los sedimentos hasta el basamento técnico y/o hasta el probable basamento cristalino.

Para justificar estas anomalías se proponen tres modelos gravimétricos que involucran ascenso de materiales calientes desde la discontinuidad núcleo-manto, atenuación cortical y subsidencia.

ABSTRACT

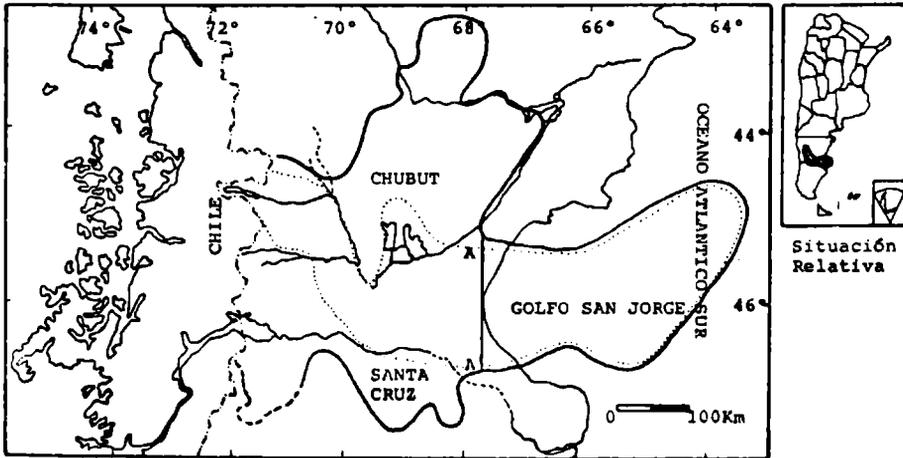
A continental North-South profile on the intracratonic-infracratonic San Jorge basin was interpreted from gravimetric and seismic data.

In the central part of the profile positive gravimetric values were found over the region of maximum thickness of the sedimentary cover. The gravimetric anomalies increased considerably when corrected for the gravimetric effect of the sedimentary filling down to the technical and/or probable crystalline basement.

Three gravimetrics models proposed involves: uplifting of hot anomalous material from the core-mantle discontinuity followed by crustal attenuation and subsidence.

1. INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es reinterpretar con mayores datos y a la luz de modernos enfoques sobre tectónica, los resultados gravimétricos sobre la cuenca del Golfo de San Jorge. Dicha cuenca se encuentra ubicada en el golfo homónimo de la Patagonia Argentina, entre los paralelos 43° y 47° de latitud sur, abarcando gran parte de la meseta que comprende a las provincias del Chubut y Santa Cruz. (Ver fig.1)

Referencias

— : Límite de cuenca
 : Área útil petrolera
 A—A' : Traza del perfil

Fig. Nº 1: Ubicación de la cuenca del Golfo de San Jorge (tomado de Turic y otros, 1981).

Diversos mecanismos han sido propuestos para explicar la formación de cuencas sedimentarias sobre cortezas atenuadas. McKenzie (1978), propuso un mecanismo de extensión cortical. Bally y otros (1981), señalaron que un fallamiento lístrico normal, a menudo, durante la formación de "rifts", involucra un fenómeno de extensión con cierta atenuación cortical. Se ha propuesto también que el "doming" provocado por ejemplo por expansión térmica, eleva la parte superior de la corteza que luego de ser erosionada (atenuada), desciende formando "rifts" ante el ulterior enfriamiento. Artyushkov (1973), discutió la cantidad de descenso.

Bott (1976) e Introcaso y Ramos (1984), consideraron que el ascenso

de materiales astenosféricos hasta niveles corticales inferiores, provocaría estados de tensiones en el fondo de la corteza, que son disipados en forma plástica por la corteza inferior dúctil y por fallamiento directo en la corteza superior frágil, produciéndose así la atenuación cortical tanto en la discontinuidad de Mohorovicic (en adelante "Moho") como en la de Conrad.

2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Lesta (1974), señaló que por sus características de cuenca totalmente continental sin episodios marinos hasta el cretácico superior o el terciario más bajo, sería una cuenca típicamente intracratónica. Su génesis responde a un estilo netamente extensional.

La columna estratigráfica en términos generales, está representada por un basamento metamórfico-granítico de edad precámbrica-eopaleozoica, el cual se encuentra fracturado escalonadamente. Sobre este se asienta un complejo efusivo porfirítico del jurásico medio superior, a continuación suprayacen sedimentitas continentales del jurásico superior - cretácico y sedimentitas continentales y marinas cenozoicas.

El espesor del paquete sedimentario se estima en más de 8.000 m.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1. Confección del mapa isoanómalo de Bouguer (Mapa isogálico)

En primer lugar se elaboró el mapa de isoanómalas de Bouguer (calculado con el sistema de referencia del año 1930, y densidad 2.0 gr/cm^3 para la corrección por masa) a partir del plano de gravedad relativa de Yacimientos Petrolíferos Fiscales que fueron vinculadas a la antigua red Nacional (G. obs. = 979.705,0 mGal), con datos de estaciones de un perfil gravimétrico norte-sur de la Universidad de Buenos Aires en las cercanías del meridiano 67° longitud oeste.

Sobre dicho mapa se trazó un perfil en las proximidades del meridiano $67^\circ 36'$ longitud oeste, con una extensión aproximada de 200 Km integrado por diez estaciones, separadas con una equidistancia de 20 km.

3.2. Determinación de la densidad del paquete de sedimentos y del basamento

Para cuantificar el efecto gravimétrico producido por los sedimentos es necesario calcular la densidad tanto del paquete de sedimentos co-

mo del basamento.

Se analizaron alrededor de diez perfiles de la zona, en las cuales se asimilaron los distintos estratos sedimentarios de cada perfil a losas horizontales, obteniéndose un valor promedio de velocidad de onda sísmica de cada losa y su espesor correspondiente.

Con los valores de propagación de ondas de compresión (ondas P), de cada estrato y empleándose gráficos de velocidades de propagación de ondas longitudinales en función de la densidad según (Nafe-Drake, 1958; Woollard 1959; Gardner y otros, 1974), se obtuvieron tres valores distintos de densidades para cada valor de propagación de ondas "P". Con los valores de densidades obtenidos del gráfico y los valores de espesores de los perfiles, se realizó un promedio ponderado con los estratos de cada perfil.

Se calculó la densidad del paquete de sedimentos hasta el basamento técnico y hasta el probable basamento cristalino, obteniéndose valores de 2.25 gr/cm^3 y 2.32 gr/cm^3 respectivamente, utilizando la relación de $(V_p - \sigma)$ de Nafe-Drake (1958). Se adoptó para el basamento técnico una densidad de 2.63 gr/cm^3 y para el probable basamento cristalino una densidad de 2.70 gr/cm^3 , sobre la base de las siguientes velocidades de ondas sísmicas $V_p=5.5 \text{ Km/seg}$ y $V_p=5.9 \text{ Km/seg}$ respectivamente; por consiguiente el contraste de densidad en ambos casos fue de -0.38 gr/cm^3 .

3.3. Cálculo del efecto gravimétrico producido por los sedimentos.

Para cuantificar dicho efecto se utilizó el programa de computación "Método gravimétrico directo" Talwani-Ewing (1960), Jimenez de la Peña (1972), modificado por Guspi, (información no publicada, 1984). Este programa permite calcular la anomalía gravimétrica originada por un cuerpo de forma cualquiera.

Fue calculado el efecto gravimétrico producido por los sedimentos hasta el basamento técnico y hasta el probable basamento cristalino, utilizando como base, las isóbatas de basamento de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, para definir la geometría del depósito sedimentario (ver fig. 2)

Referencias

- : A_g observada
- A_g observada y corregida por el efecto gravimétrico de los sedimentos hasta el probable basamento cristalino, utilizando como densidad diferencial:
- : -0.18 gr/cm^3 en base a Woollard, 1959
- .-.- : -0.27 gr/cm^3 en base a Gardner y otros, 1974
- : -0.32 gr/cm^3 en base a Nafe-Drake, 1958
- (a) : Probable basamento cristalino
- (b) : Basamento Técnico
- ..(1).. : Efecto gravimétrico de los sedimentos hasta el probable basamento cristalino
- ..(2).. : Efecto gravimétrico de los sedimentos hasta el basamento técnico

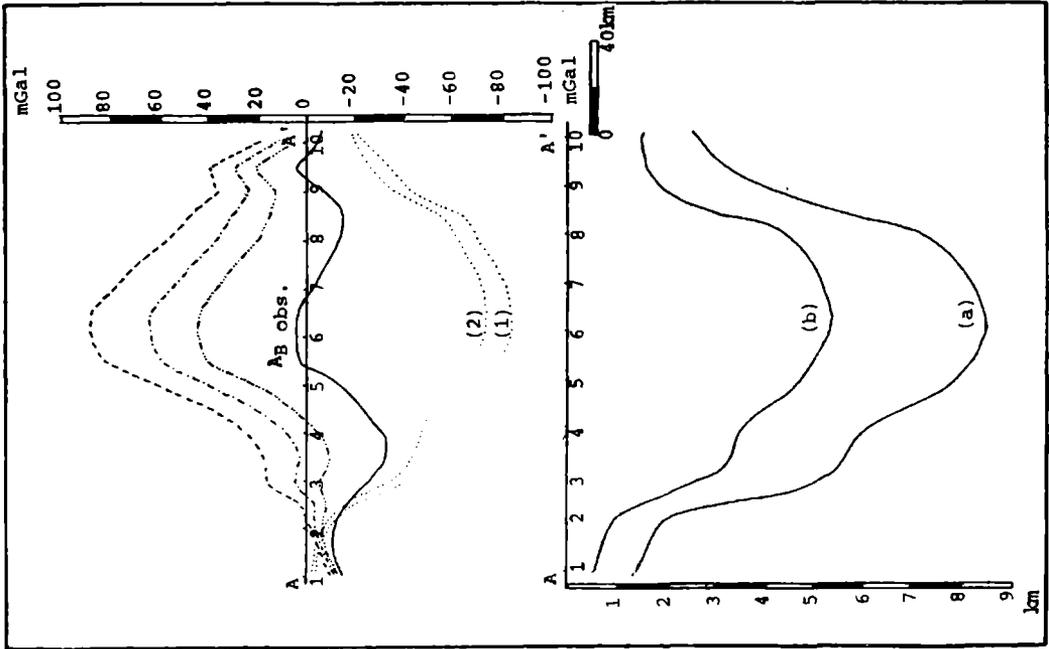
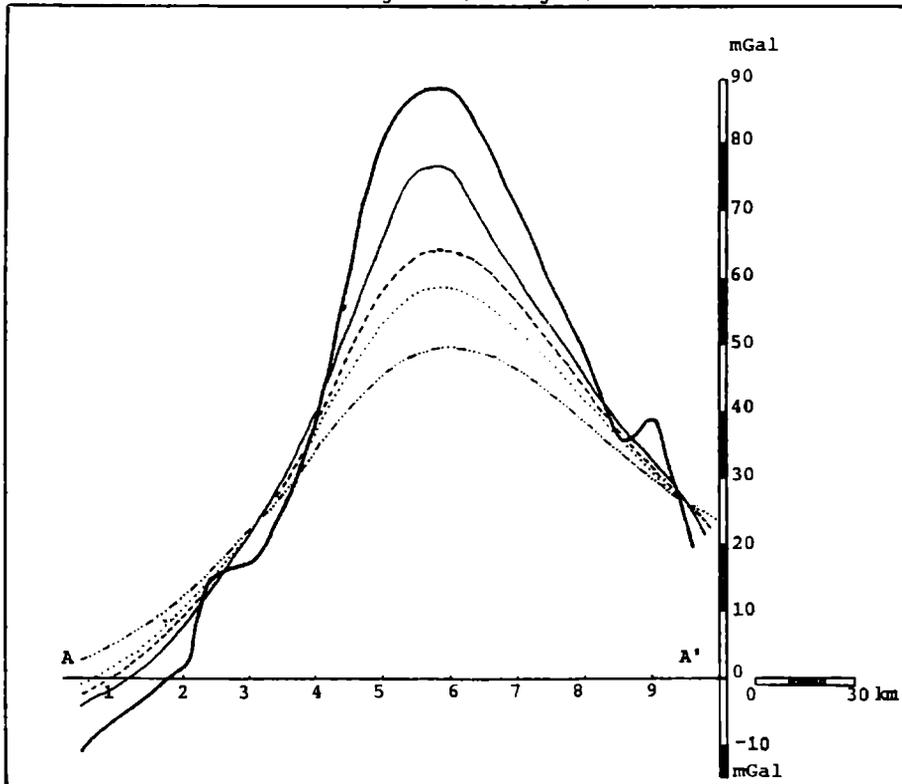


Fig. N° 2: Resultados gravimétricos sobre el perfil NS de la cuenca del Golfo de San Jorge, considerando el paquete de sedimentos hasta el probable basamento cristalino (ver en fig. 1 la ubicación del perfil)

3.4. Separación de Anomalías Regionales y Locales

Para efectuar dicha separación se utilizó un programa de computación (Pacino-Introcaso, 1984) de prolongación ascendente, que minimiza las anomalías de corta longitud de onda y permite obtener una razonable anomalía regional, la que posteriormente se utilizará para modelar el perfil.

Se prolongaron los valores de Anomalías de Bouguer observadas y corregidas por el efecto gravimétrico de los sedimentos a 10, 15, 20 y 30 Km de altura. La anomalía prolongada a 20 km sirvió como orientación para la elección de la anomalía regional (ver fig. 3).



—: A_B Observada y corregida por el efecto gravimétrico de los sedimentos

—: Prolongada a 10 Km Referencias : Prolongada a 20 Km
 - - - - -: Prolongada a 15 Km - · - · - ·: Prolongada a 30 Km

Fig. N° 3: Prolongación ascendente de la A_B observada y corregida por el efecto gravimétrico de los sedimentos hasta el probable basamento cristalino

4. MODELOS GRAVIMÉTRICOS

Los altos valores gravimétricos encontrados en la parte central de la cuenca no concuerdan con lo que sería dable esperar en una cuenca llena de sedimentos livianos, por tal motivo se investigó la presencia de posibles masas anómalas emplazadas tal vez en altos niveles corticales, los que causarían el exceso gravimétrico observado (Introcaso, 1980).

Al basarnos en los estudios sísmicos a nivel de Moho en la cuenca del Colorado, realizado por Ewing y otros (1963) y en los trabajos de Bott (1964); Introcaso (1980); Artyushkov (1983); Introcaso y Ramos (1984); Introcaso y otros (1986) entre otros, nos parece razonable admitir al menos como alternativa una atenuación cortical para la cuenca.

Los modelos gravimétricos justifican satisfactoriamente a las Anomalías de Bouguer observadas, mediante atenuaciones en Moho y Conrad.

Las características de los modelos se fijaron a partir de datos mundiales generales y en particular, en la elección realizada por Introcaso y Ramos (información no publicada, 1986) para la cuenca del Colorado:

* Espesor cortical: 33 Km; *Espesor litosférico: 100 Km; *Corteza superior frágil: espesor:16.5 Km-densidad: 2.70 gr/cm³; *Corteza inferior dúctil: espesor:16.5 Km-densidad: 2.90 gr/cm³; *Densidad del manto litosférico: 3.34 gr/cm³; *Densidad del manto sublitosférico: 3.40 gr/cm³; *Densidad del material anómalo del manto: 3.30 gr/cm³

4.1. MODELO N° 1

Artyushkov (1983), consideró que en la discontinuidad manto-núcleo se produce fusión parcial y diferenciación de los materiales. Como producto de esta diferenciación, los materiales más densos se hundén y se acumulan en el núcleo, mientras que los materiales livianos (manto anómalo), se desplazan rápidamente hacia arriba, disminuyendo su velocidad de emersión al alcanzar la base de la litosfera.

Durante éste movimiento, el manto anómalo liviano se acumula en las zonas donde la base de la litosfera ha sufrido una elevación conformando una trampa de material liviano sobrecalentado.

Este proceso tendría lugar en regiones donde ha habido un incremento en la temperatura del manto y como consecuencia un decrecimiento en el espesor litosférico (Lyubimova, 1960). Como resultado de este mecanismo, la corteza encima de la trampa sufriría un levantamiento isostático ("doming"). La amplitud de este ascenso estaría determinada por la cantidad y temperatura del material liviano entrampado.

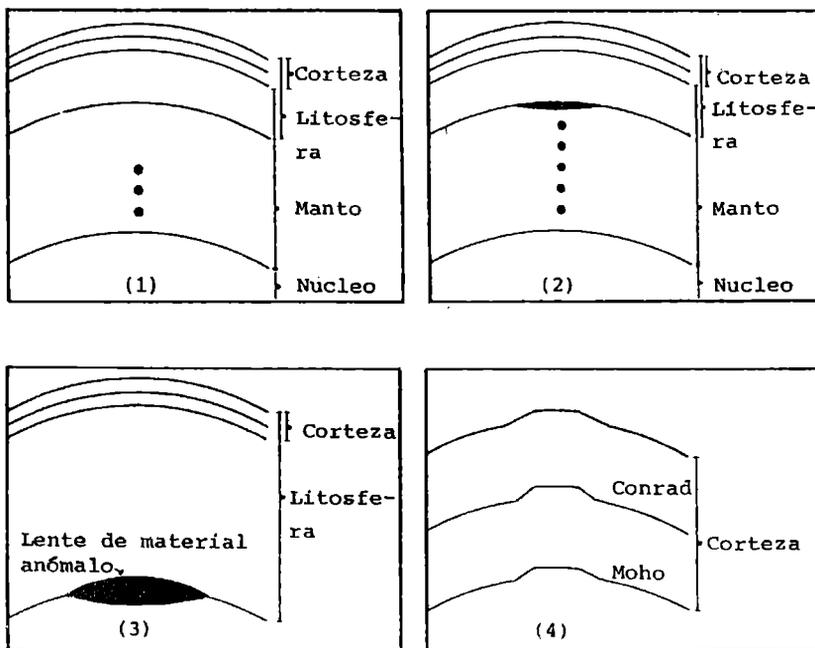
Si la trampa está localizada por algunos cientos de millones de años en un área remota desde el ascenso de materiales livianos dentro del

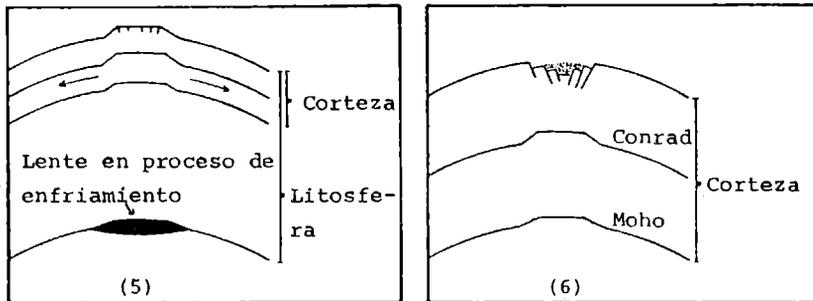
manto superior, no se produciría la realimentación de la lente, por tal motivo, ésta, durante el proceso de enfriamiento, se comprimiría y tendería a desaparecer. Este proceso abarcaría lapsos de tiempo no inferiores a los 100 Ma.

En este caso la corteza localizada encima de la lente subside y los sedimentos se acumulan formando una cubeta sedimentaria, la que posteriormente se agrandaría por ejemplo por flexión ante la carga litostática. La intensidad de compactación del manto anómalo en la trampa, es un factor que contribuye a la subsidencia de la cuenca.

Los indicadores de manto anómalo, de los que lamentablemente carecemos deberían ser los siguientes: a) Incremento en la conductividad eléctrica (Shatz y Simmons, 1972); b) Baja velocidad de ondas elásticas (Artyushkov, 1983); c) Baja viscosidad; d) Otro indicador significativo sería la alta temperatura (aproximadamente 1000 a 1200°C), que parecería haber estado presente en el momento de apertura de la cuenca, tal como lo muestran los diagramas geohistóricos.

Ante la falta de datos geofísicos compatibles con los puntos anteriormente enunciados, se propone para la cuenca el siguiente esquema genético - evolutivo. (Ver fig. N° 4)





- (1) : Se inicia la diferenciación en la discontinuidad núcleo-manto. Este proceso se repetiría aproximadamente cada 200 Ma. Artyushkov (1983)
- (2) : Ascenso de materiales livianos hasta la base de la litosfera.
- (3) : El material liviano fuertemente calentado se propaga por su escasa viscosidad, por la base de la litosfera. Al encontrar una cavidad se formaría una lente de material anómalo.
- (4) : La corteza ubicada sobre la lente tendería a realizar un levantamiento isostático (doming).
- (5) : Erosión subaérea y enfriamiento de la lente, la cual tendería a desaparecer, produciéndose una liberación de tensiones en forma dúctil en la corteza inferior y por fallecimiento directo en la corteza superior. Bott (1976); Introcaso y Ramos (1984).
- (6) : Reacomodación de los bloques en subsidencia conformando la etapa primitiva de la cuenca. Posteriormente una vez desactivada la anomalía calórica sublitosférica, el llenado de sedimentos en la cuenca produciría flexión y ésta se agrandaría (Beaumont, 1978).

Fig. N° 4: Esquema genético - evolutivo propuesto para la cuenca del Golfo de San Jorge.

La anomalía de Bouguer fue corregida, al igual que para los próximos modelos que veremos, eliminando el efecto gravimétrico de los sedimentos que descansan por sobre el probable basamento cristalino. La densidad diferencial asumida fue calculada con la relación de Nafe-Drake, (1958) (Ver fig. N° 5)

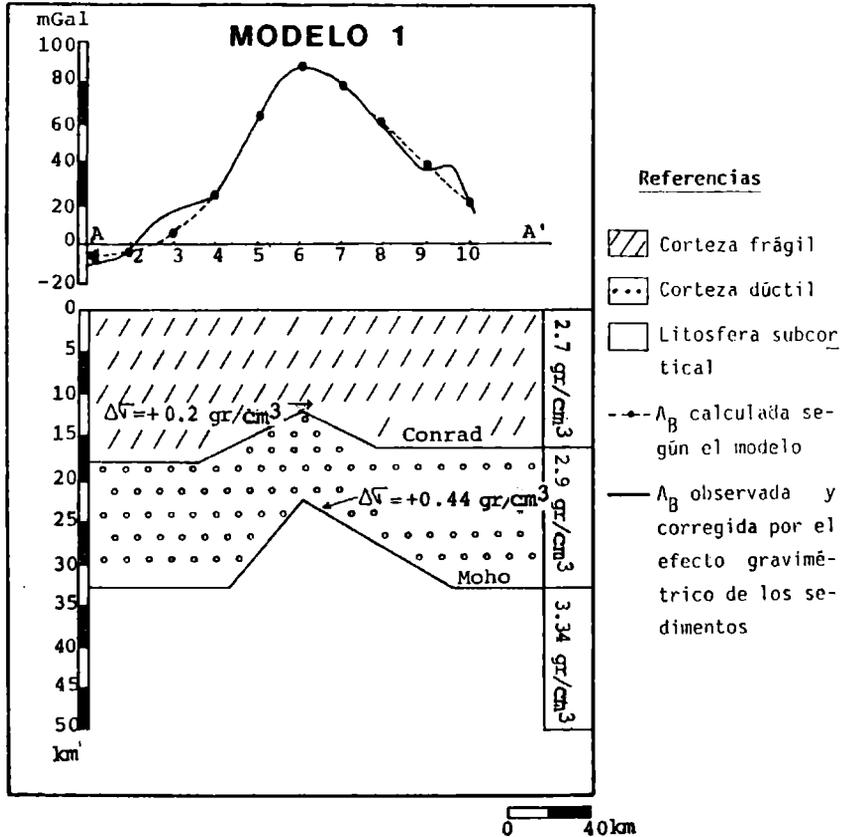


Fig. N° 5: La anomalía de gravedad se justifica en este modelo mediante "antirraíces" en Moho y Conrad.

El modelo exhibe:

- * Una cuña de material anómalo en el nivel de Moho con una densidad diferencial en exceso de $+0.44 \text{ gr/cm}^3$.

- * Una cuña de material de corteza inferior ubicada en la discontinuidad de Conrad, con una densidad diferencial en exceso de $+0.20 \text{ gr/cm}^3$

- * Una pequeña raíz en el nivel de Conrad, ubicada en el norte del perfil, con una densidad diferencial en defecto de -0.20 gr/cm^3

4.2. MODELO N° 2

Con el objeto de destacar que la influencia gravimétrica de los materiales anómalos subcorticales no cambia substancialmente las principales conclusiones, se preparó el "Modelo N° 2", que justifica a la anomalía de Bouguer normalizada, atenuando a la corteza en Moho y Conrad tal como ocurre con el modelo N° 1.

El modelo supone además la presencia de una lente de material anómalo en la base de la litosfera (con una densidad diferencial en defecto de -0.04 gr/cm^3 para la parte superior de la lente y una densidad de -0.10 gr/cm^3 para la parte inferior), y de un delgado conducto vertical que conecta a la lente con niveles de fondo de la corteza con una densidad diferencial de -0.04 gr/cm^3 (ver fig. N° 6)

Mayores detalles de este modelo que involucra diferenciación de materiales riolíticos en la corteza alta serán publicados próximamente.

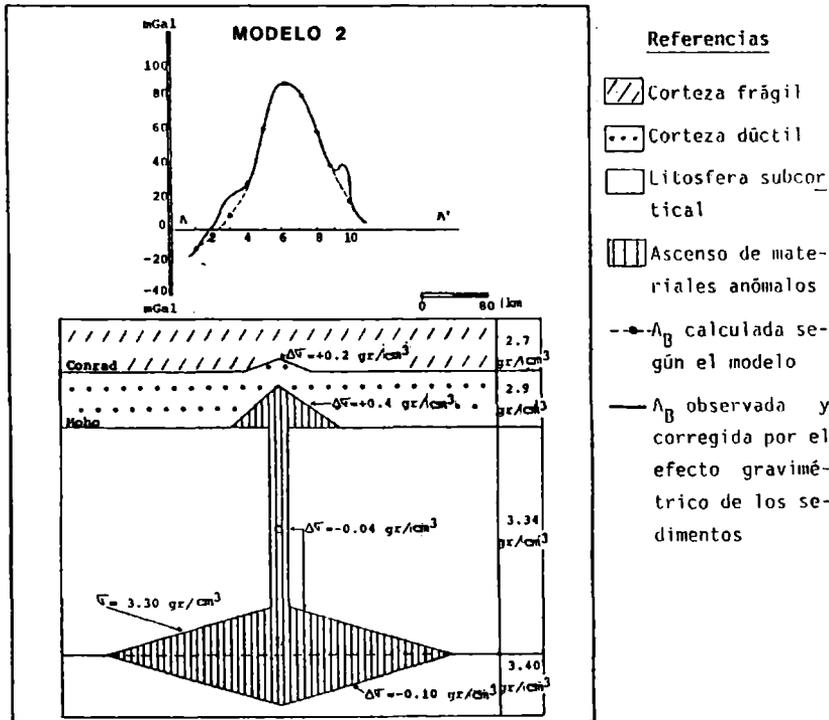


Fig. N° 6: La anomalía de gravedad se justifica en este modelo, mediante una mayor atenuación en Moho y Conrad que absorbe además los efectos negativos de la lente "L" y del conducto "C".

4.3. MODELO N° 3

Este modelo se basa en el ascenso de materiales calientes hasta niveles corticales inferiores atravesando la litosfera. Ellos serían responsables del atenuamiento cortical (ver fig. N° 7)

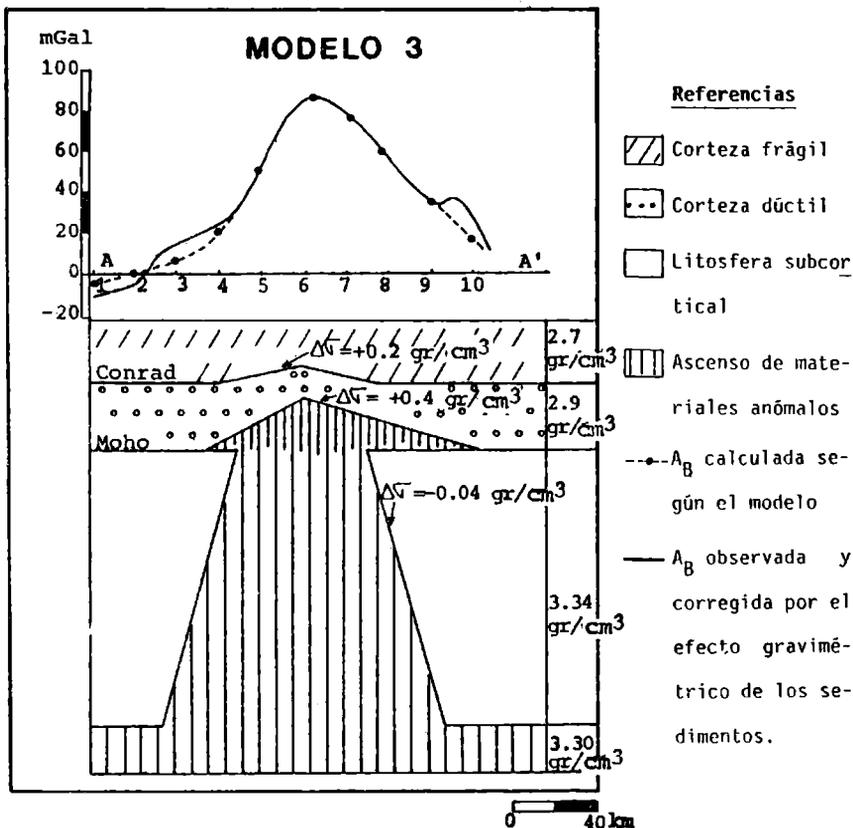


Fig. N°7: La anomalía de gravedad se justifica en este modelo, mediante atenuación en Moho y Conrad que balancea además el efecto gravimétrico negativo de la cuña anómala ubicada entre 33 Km y 100 Km de profundidad.

Del análisis de los tres modelos se desprende que:

1. La sola presencia de masas anómalas intracorticales con densidad diferencial en exceso, justifica satisfactoriamente a la A_B observada.
2. La existencia de materiales anómalos subcorticales es de menor significación gravimétrica no alterando las principales características corticales.

5. CONCLUSIONES

La cuenca del Golfo de San Jorge lejos de ser considerada un aulacógeno, como las fosas del Salado y Colorado, ha sido clasificada como intracratónica e infracratónica.

Se propone concordantemente un mecanismo vinculado con el ascenso de materiales calientes provenientes de la discontinuidad nucleo-manto, que llegarían a la base de la litosfera en donde al encontrar una cavidad, formarían una lente de material anómalo con importantes efectos sobre la litosfera suprayacente y sobre la corteza (Modelo N° 1).

La anomalía de gravedad, luego de eliminados los efectos de los sedimentos, toma valores positivos significativos.

Los siguientes efectos: Atenuación en Moho y Conrad, justifican principalmente a la anomalía de gravedad mientras los efectos anómalos subcorticales son de menor significación gravimétrica como ha sido demostrado con los modelos N° 2 y N° 3.

6. Agradecimientos: A Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Y.P.F.), por haber cedido la mayor parte de los datos utilizados.

Al Ing. Antonio Introcaso por la lectura crítica del manuscrito y las sugerencias aportadas.

7. BIBLIOGRAFIA

- Artyushkov, E.V., 1973: Stresses in the lithosphere caused by crustal thickness inhomogeneities; Jour. of Geoph. Res. (78) 32, 7675-7708.
- Artyushkov, E.V., 1983: Geodynamics Developments in Geotectonics; Editorial Elsevier, Holanda.
- Bally, A.W., Bernoulli, D., Davis, C.A.L., Montadert, L., 1981: Listric normal faults; Acta Oceanológica 26° Cóngrs Geologique International, 4, 87-101.
- Beaumont, C., 1978: The evolution of sedimentary basins on a viscoelastic lithosphere: Theory and examples; Geophys. J.R. Astr. Soc. 55, 471-497.
- Bott, P., 1964: Formation of sedimentary basins by ductile flow of isostatic origin in the upper mantle; Nature, 201, 1082-1094.
- Bott, P., 1976: Formation of sedimentary basins of graben type by extension of the continental crust; Tectonophysics, 36, 77-86.
- Ewing, M., Ludwig, J., Ewing, J., 1963: Geophysical investigations in the submerged Argentine coastal plain from Buenos Aires to Península de Valdes; Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull. 74, 275-292.

- Gardner, F., Gardner, W., Gregory, R., 1974: Formation velocity and density; *Geophysics*, 39, (6), 770-780.
- Introcaso, A., 1980: Resultados gravimétricos sobre la cuenca del Golfo de San Jorge; *Geofísica Internacional*, 19 (3), 221-238, México.
- Introcaso, A., Ramos, V., 1984: La cuenca del Salado: Un modelo de evolución aulacogénica; *Nov. Cong. Geolog. Arg.* 3, 27-46.
- Introcaso, A., Diez Rodríguez, A., Fraga, H., Nocioni, A., Gerster, R., Pacino, C., 1986: Geophysical modelling procedures of sedimentary basins; *Instituto de Física Rosario*, 1-25.
- Jimenez de la Peña, P., 1972: Cálculo automático de la anomalía gravimétrica creada por estructuras de tres dimensiones; *Revista de Geofísica*, 31 (1-4), 199-210, México.
- Lesta, P., 1974: Exploración de la Patagonia continental Argentina; *Comunicación Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, 8, 20-41.
- Lyubimova, A., 1960: The transfer of heat escitons in the earth's shell; *Trudy Inst. Fiz. Zemli*, 11, U.R.S.S.
- McKenzie, D., 1978: Some remarks on the development of sedimentary basins; *Earth Planet Sci. Letters*, 40, 25-37.
- Nafe-Drake, J., 1958 ver Grant-West, P., 1965: Interpretation theory in applied geophysics; *Geophysics* 20 (6), 77-97
- Pacino, C., Introcaso, A., 1984: Prolongación ascendente de campos potenciales en el dominio espacial; *Instituto de Física Rosario*; 1-42.
- Schatz, J., Simmons, G., 1972: Thermal conductivity of earth materials at high temperatures; *Jour. of Geoph. Res.* 77, 6966-6983.
- Talwani, M., Ewing, M., 1960: Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape; *Geophysics*, 25 (1), 203-225.
- Turic, M., Garrasino, F., Pombo, R., Bianchi, J., Dibenedeto, J., 1981: Cuenclas sedimentarias en la Argentina; *Gerencia General de Exploración, Yacimientos Petrolíferos Fiscales*, 26-33.
- Woollard, G.P., 1959: Crustal structure from gravity and seismic measurements; *Jour. of Geoph. Res.*, 64 (10), 1521-1544.