

Perfil longitudinal de anomalías de gravedad entre las ciudades de Rosario (Santa Fe) y Victoria (Entre Ríos), República Argentina, para fines prospectivos

/Gravity anomalies longitudinal profile between Rosario (Santa Fe) and Victoria (Entre Ríos), Argentina, for prospective purposes.

María Cristina Pacino, Gonzalô Luis Melano, Alexis Daniel Haberkorn

Página
11

ESING

Ph.D. Ingeniería, Directora Escuela de Agrimensura (F.C.E.I.A – UNR), Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.³
mpacino@fceia.unr.edu.ar

¹ Ingeniero Agrimensor – F.C.E.I.A., Profesional Independiente, Rosario, Argentina. gonzalomelano@hotmail.com
² Ingeniero Agrimensor – F.C.E.I.A., Profesional Independiente, Rosario, Argentina. haberkorn_alexis@hotmail.com

³ Fecha de recepción del artículo: 08/09/2015 Fecha de aceptación de artículo: 08/10/2015

Resumen

La cuenca Chaco-Paranaense es una cuenca intracratónica desarrollada dentro de la plataforma sudamericana desde el Paleozoico, que presenta una potente columna de sedimentos. Si bien esta gran cuenca sedimentaria ha sido objeto de numerosos estudios geofísicos, poco ha sido desarrollado sobre el río Paraná, que a la latitud 33º Sur tiene un ancho de aproximadamente 70 Km. Con el objeto de determinar la profundidad de basamento en este sector de la cuenca se confeccionó un perfil gravimétrico que une las localidades de Rosario y Victoria, en sendas márgenes del río Paraná. Para ello se midieron valores de gravedad en 20 estaciones con gravímetros Lacoste & Romberg y Scintrex que fueron posicionadas con equipos GPS de doble frecuencia. El perfil fue extendido lateralmente utilizando la base de datos gravimétricos de Argentina, lo que permitió analizar la anomalía regional. Para la inversión del perfil gravimétrico se consideraron valores clásicos de densidad que, por otra parte, coinciden

con la información proveniente de pozos de exploración en la cuenca, y se utilizaron dos procedimientos diferentes, obteniéndose en ambos casos idénticas conclusiones. El resultado de esta interpretación pretende ser el puntapié inicial para la búsqueda de nuevos yacimientos en la zona, enfocando la atención en recursos de tipo no convencional.

Palabras clave

Gravimetría, Anomalía gravitacional, Perfil gravitacional.

Abstract

The Chaco-Parana basin is an intracratonic basin developed in the South American platform since Paleozoic era, having strong sedimentary column.

Despite many geophysical studies have been carried out about this basin, very little has been done over the Paraná River, which is 70 Km wide

Para citar este artículo / To cite this article

M. C. Pacino, G. L. Melano, A. D. Haberkorn. Perfil longitudinal de Anomalías de Gravedad entre las ciudades de Rosario (Santa Fe) y Victoria (Entre ríos), República Argentina, para fines prospectivos. Revista Ingenieros Militares, No.10, pp 11. 2015.

at 33° South latitude. Aiming the determination of the basement depth in this zone, a gravity profile was developed linking Rosario and Victoria cities, at both margins of the river. For that, 20 gravity values were determined using La Coste & Romberg and Scintrex gravimeters. The location of stations was obtained by double frequency GPS measurements. The profile was laterally extended using the gravity data base of Argentina in order to analyze the regional anomaly. Classical density values were used for the gravity profile inversion. These values are coincident with those from exploration wells. Two different procedures were performed having similar conclusions from both of them.

Keywords

Gravimetry, Gravity anomaly, Gravitational profile.

Introducción

El presente artículo da cuenta de un trabajo final de Agrimensura en el que se pretende incursionar en una rama no tradicional de la carrera: la prospección geofísica, definida como el conjunto de técnicas físicas y matemáticas aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y el estudio de yacimientos o sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, etc.), a través de observaciones efectuadas en la superficie de la tierra. Algunos de los métodos utilizados en la exploración son: el magnetométrico, el radiométrico, el sísmico y el gravimétrico, entre otros. Cada uno de ellos se basa en alguna magnitud física susceptible a ser cuantificada. Para el caso del método gravimétrico en particular, la magnitud física que se mide es la fuerza de gravedad.

Gran parte del trabajo consistió en determinar con gran precisión el valor de esa fuerza, que es variable para cada punto del espacio, y compararla luego con los valores teóricos que surgen de un modelo llamado de "Tierra Normal". La diferencia entre el valor de gravedad medido y el calculado para un mismo

punto se conoce como "Anomalía". El correcto tratamiento de estas anomalías permite inferir las características de la masa que las produce. No obstante, resulta conveniente convalidar los resultados de esta interpretación con información geológica u otros datos geofísicos que converjan a una misma solución. Cuanto mayor sea la información con que se cuente, más acertado será el modelo predicho.

Ubicación geográfica de la zona de estudio y breve caracterización geológica

Este trabajo se desarrolló en la llanura Chaco-Pampeana, a lo largo de la llamada conexión física Rosario-Victoria, constituida por un camino que se extiende a lo largo de casi 70 Km en una zona de islas interconectadas por una serie de ocho puentes, vinculando las ciudades de Rosario y Victoria que se ubican en sendas márgenes del río Paraná Figura 1.

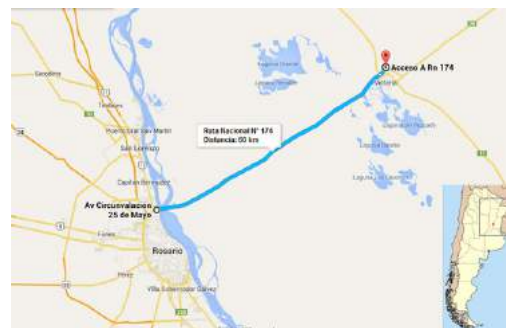


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

De acuerdo con [1], la llanura Chaco-Pampeana, en sentido amplio, es parte de una gran cuenca que, desde el Mioceno, recibió sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma continental atlántica. El conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas que rellenan esta cuenca está integrado por varios ciclos sedimentarios que abarcan desde el Paleozoico hasta nuestros días. El Paleozoico presenta desarrollo de facies continentales, litorales y también marinas y glacio-marinas, mientras que en el Mesozoico existen registros de sedimentitas

fluviales y eólicas del Triásico al Jurásico Medio, y basaltos toléuticos del Jurásico Superior a Cretácico Inferior que las cubren. Estos basaltos actúan como factor confinante de los acuíferos termales profundos alojados en esos sedimentos fluviales y eólicos infrayacentes. En el Cretácico Superior y en el Terciario pueden definirse nuevos episodios sedimentarios, entre los que se identifican depósitos fluviales, intercalados con sedimentos marinos y loésicos. Durante fines del Terciario y todo el Cuaternario se disponen nuevos elementos fluviales y loésicos, que hacia el sudeste se interdigitan con depósitos estuáricos.

La cuenca sedimentaria tiene un espesor total variable. Desde el punto de vista estructural, presenta un registro de varias fases de deformación superpuestas y recurrentes, que condicionaron el desarrollo del marco tectónico complejo que afecta la mayoría de las secuencias geológicas preservadas.

El basamento cristalino de edad precámbrica-paleozoica temprana forma el sustrato donde se apoyan los depósitos que integran la columna estratigráfica de la cuenca Chaco Paranense. No aflora en el área considerada, pero ha sido encontrado en el subsuelo en varias perforaciones hidrogeológicas tales como las realizadas en las ciudades de Colón y Concepción del Uruguay localizadas sobre el río Uruguay.

En la zona próxima al perfil realizado existe una perforación profunda en Nogoyá que fue realizada por YPF para prospección petrolera. El pozo Nogoyá ubicado a 40 km al este del perfil, en la provincia de Entre Ríos, se perforó hasta los 2088 m. Si bien esta perforación no alcanzó el basamento muestra que la cuenca es profunda y se puede esperar un espesor superior a los 4000 metros. Además, por las características de las unidades perforadas se prevé que la cuenca presente una alta conductividad eléctrica.

Metodología

El método gravimétrico

La ley de la Gravitación Universal predice que la fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas M_1 y M_2 separados una distancia R , es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, es decir:

$$F = \frac{GM_1 M_2}{R^2} \quad (1)$$

Siendo M_1 , M_2 las masas de los dos cuerpos, en kilogramos.

R es la distancia entre las dos masas, en metros
 G es la constante de Gravitación Universal

$$(\cong 20/3 \times 10^{-8} \text{ unidades c.g.s.})$$

Si la Tierra fuera esférica, homogénea y fija, la gravedad sería la misma en cualquier lugar de su superficie. Sin embargo, en la realidad estas condiciones no se cumplen y resulta necesario considerar la forma irregular de la Tierra, achatada en los polos, aproximadamente elipsoidal, debido en parte por el movimiento de rotación y por la distribución irregular de la masa. En consecuencia, la gravedad real es función de las posibles variaciones de estas condiciones.

En honor a Galileo, la gravedad real –o gravedad observada- suele expresarse en Gals, siendo 1 Gal = 1 cm/seg².

La gravedad teórica para un determinado punto sobre el elipsoide, en cambio, es el valor que surge de un modelo terrestre que conserva los parámetros geométricos del elipsoide utilizado por el sistema de referencia, al cual se agregan parámetros físicos como la masa terrestre y su velocidad de rotación.

Para el elipsoide WGS84, la gravedad teórica puede calcularse de acuerdo con la siguiente expresión:

$$y = 9,7803267714 \frac{1 + 0,00193185138639 \operatorname{sen}^2 \varphi}{\sqrt{1 - 0,00669437999013 \operatorname{sen}^2 \varphi}} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (2)$$

Donde y es la gravedad teórica y φ es la latitud del punto.

La gravedad real es aquella que se obtiene a partir de mediciones en puntos ubicados en cualquier lugar del espacio. En general, estos puntos no se ubican sobre el elipsoide de referencia, por lo cual dichos valores no pueden ser comparados directamente. Para poder compararlos es necesario recurrir a "reducciones" que contemplen la desigual influencia de la rotación, altitud y masa entre las estaciones de medición y sus correspondientes puntos sobre el elipsoide.

Sin entrar en mayores consideraciones sobre estas reducciones [2], [3], [4], puede establecerse que en función de las características de la zona en estudio es suficiente recurrir a dos de ellas:

La reducción de Aire Libre (RAL), o reducción por altura, permite "trasladar" el valor de gravedad observado a la superficie de referencia y su valor para una aproximación esférica se obtiene en función de la altitud del punto de medición H como:

$$RAL = +0,3086 H \text{ mGal/m} \quad (3)$$

Siendo 1 mGal = 1 Gal/1000

La reducción simple de Bouguer (R_b), o reducción simple por masa, tiene en cuenta la densidad de la masa interpuesta entre el punto de medición y la superficie de referencia. Para un valor promedio $d = 2,67 \text{ g/cm}^3$, la reducción simple de Bouguer puede calcularse en función de la altitud del punto de medición H como:

$$R_b = -0,1119 H \text{ mGal/m} \quad (4)$$

Comparando el valor de gravedad real - afectado por las apropiadas correcciones- con el valor de gravedad teórico se obtendrán para cada punto las anomalías gravimétricas:

Donde g_{obs} es la gravedad observada, RAL la reducción de aire libre, R_B la reducción simple

Anomalía de Aire Libre

$$AAL = g_{obs} + RAL - \gamma$$

Anomalía simple de Bouguer

$$AB = g_{obs} + RAL - R_B - \gamma \quad (5)$$

de Bouguer y la gravedad teórica.

Instrumentos para medir la gravedad: El gravímetro

Para la adquisición de los valores de gravedad se utilizan instrumentos denominados Gravímetros. Existen fundamentalmente dos tipos de gravímetros: los absolutos y los relativos.

Los gravímetros absolutos permiten obtener valores de gravedad utilizando el mecanismo de péndulos o un sistema de caída libre. Son muy sensibles y requieren condiciones de gran estabilidad para su correcto funcionamiento.

Los gravímetros relativos detectan variaciones de gravedad entre puntos. Para conocer los valores de gravedad absoluta debe partirse de un punto de gravedad conocida e ir incorporando las diferencias de gravedad medidas, de manera análoga ha como se procede en una nivelación geométrica.

El principio básico de funcionamiento de estos gravímetros consiste en una masa m suspendida de un resorte tal como se muestra en la figura 2, la cual produce una elongación de la longitud del resorte x, esta elongación es producida por la fuerza actuante sobre la masa, que es la fuerza de la gravedad mg. La fuerza ejercida por la gravedad se ve compensada por una fuerza de reacción ejercida por el resorte, kx, a partir de la cual se puede establecer que:

$$k x = mg \quad (6)$$

Siendo k la constante de restitución del resorte, x la elongación, m la masa del cuerpo y g la aceleración gravitacional.

Cuando este sistema es trasladado de un emplazamiento a otro, conlleva un cambio de la gravedad Δg , que producirá un cambio en la elongación del resorte, Δx , de manera tal que:

$$k \Delta x = m \Delta g \quad (7)$$

Uno de los gravímetros más reconocidos del mercado es el de la casa LaCoste & Romberg,

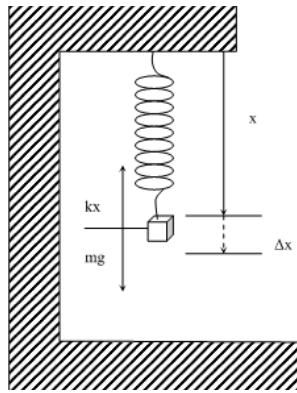


Figura 2. Principio básico de funcionamiento de un gravímetro de equilibrio de resorte vertical.

cuyo diseño básico es el que se observa en la figura 3. Consta de una viga goznada mediante un muelle amortiguador, la cual va sujeta mediante un resorte de longitud cero, que es el elemento sensible del dispositivo. La forma de actuar sobre el resorte en este tipo de gravímetro es mediante una palanca, cuyos movimientos son medidos por un tornillo micrométrico sobre el cual se actúa directamente, hasta que el resorte se encuentre en su posición de equilibrio. El principio de funcionamiento de este gravímetro se conoce como astatización, y consiste en igualar el momento de la gravedad con el momento del resorte, lo cual produce un aumento de la sensibilidad del gravímetro y se traduce en mediciones muy precisas de los incrementos de la gravedad. La lectura se obtendrá directamente a través del propio tornillo, y corresponde al número de



Figura 3. Gravímetro Relativo LaCoste & Romberg

vueltas requeridas para alcanzar la posición de equilibrio. Los cambios en la gravedad finalmente son hallados multiplicando las diferencias en el dial por la constante del gravímetro, que es propia de cada instrumento y su valor está determinado por el fabricante. Esta construcción es una de las más precisas que se tiene en la actualidad, y uno de los gravímetros con menor periodo de lectura, pudiéndose obtener incrementos de la gravedad medidos con precisión del microgal. Los gravímetros LaCoste & Romberg son construidos con metales con un bajo comportamiento térmico, y por su diseño es uno de los micro gravímetros más ligeros del mercado.

El gravímetro Scintrex CG-5 Autograv (Figura 4) es otro gravímetro relativo del tipo lineal, que se diferencia fundamentalmente del mencionado LaCoste & Romberg por ser automático. Su diseño incluye una serie de microprocesadores, los cuales posibilitan la automatización de las mediciones y su procesamiento en tiempo real, además de sensores de vibración que permiten analizar la estabilidad del sector de medición. El gravímetro CG-5 mide a una frecuencia de 6 Hz durante un período de tiempo definido por el usuario, el cual como mínimo es de 1 segundo [5], [6].

Puede utilizarse de dos formas: modo levantamiento para la adquisición de mediciones discretas, y modo cíclico para el registro continuo de datos. El elemento sensor se basa en un sistema elástico de cuarzo fundido en el cual la fuerza gravitacional sobre la masa de prueba es balanceada por un resorte y una pequeña fuerza electrostática restauradora.



Figura 4. Gravímetro Scintrex CG-5

Adquisición de datos

La adquisición de la información gravimétrica y altimétrica se realizó en varias etapas: en primer lugar, se procedió a la materialización de las estaciones. Teniendo en cuenta la longitud del tramo y las características de la zona se convino en distribuir los puntos a una distancia aproximadamente constante de 3 km, al costado del terraplén por el que pasa la ruta para que los queden lo más cercanos posible al nivel del terreno natural, y cerca de los alambrados a fin de garantizar su permanencia en el tiempo. Resultaba importante además que las estaciones se ubicaran suficientemente alejadas de la ruta para evitar las vibraciones debidas al tránsito.

La segunda campaña consistió en la determinación de las variaciones de gravedad entre cada uno de los puntos. El método empleado fue el de tramos cerrados o rulos, que consiste en iniciar las mediciones en un punto determinado y finalizar el recorrido volviendo a medir dicho punto, cosa que permite compensar luego de cada cierre la influencia de la deriva del instrumento. Además, se trató de completar cada tramo en un intervalo de dos horas, en las cuales se considera que dichos efectos se comportan de manera lineal. En cada punto ocupado se tomaron tres lecturas, durante un tiempo no mayor a 5 minutos, y con la condición de que la diferencia entre las mismas sea menor a los 0.03 mGal, que es la tolerancia admitida por el programa de cálculo. En el cálculo se tuvo en cuenta además la corrección por marea [7].

El paso posterior fue la determinación de las alturas. Se consideró suficiente determinar alturas elipsoidales h con GPS y transformarlas luego en alturas sobre el nivel medio del mar aplicando un modelo de geoide [8].

Para ello se utilizaron con dos receptores GPS Geodésicos doble frecuencia marca Trimble, modelo R6. A fin de optimizar los tiempos pero sin perder de vista la importancia de los controles, la tarea se desarrolló de la siguiente forma:

Se dividió la zona de trabajo en dos tramos.

Los primeros 9 puntos se ubicaban a menos de 30 km de la estación permanente U.N.R.O. con lo cual el procesamiento de los vectores se haría directamente entre el móvil y dicha estación tomada como base. Desde el punto P10 en adelante, las distancias entre los puntos y U.N.R.O. superaban los 30 km, y las observaciones demandarían demasiado tiempo para alcanzar las precisiones requeridas. Para resolver este inconveniente se dejó el segundo receptor como base, fijo en un punto de la ciudad de Victoria. Dicho punto, contaría con al menos 5 horas de medición continua, y una vez geo-referenciado con U.N.R.O., sería considerado punto base para el procesamiento de los vectores siguientes [9]. Esto daba la posibilidad de efectuar un control cruzado entre los puntos P10 al P19 al comparar las alturas obtenidas desde U.N.R.O. y desde la base de Victoria. Antes de retirar la base se efectuó otra medición en un punto Nodal de la red de Nivelación de Primer Orden del Instituto Geográfico Nacional de Argentina (I.G.N.), cuya nomenclatura es N134 (Figura 5). La medición estática en dicho punto fue de 20 minutos.



Figura 5. Nodal Nº 134, ubicado en la plaza San Martín de la Ciudad de Victoria

con U.N.R.O. y los procesados con el punto Base (Geo-referenciado) están en un promedio de 10 cm, y el máximo valor no supera los 17 cm, es decir que cumplen con las precisiones buscadas. Por simplicidad, se consideraron como definitivas las coordenadas procesadas con U.N.R.O.

Con miras a insertar y vincular estas mediciones en la base de datos gravimétricos existentes y poder extender el perfil medido para conocer el contexto regional, se midieron luego cuatro puntos adicionales, dos en cada una de las márgenes del río Paraná. Además, se realizó la conexión del perfil medio con la red gravimétrica nacional en el Nodal Rosario. Figura 6 utilizando un gravímetro Scintrex y se remidieron algunas estaciones con este gravímetro a modo de verificación.



Figura 6. Medición con gravímetro absoluto Scintrex sobre el Nodal del Rosario

Finalmente, se transformaron las alturas elipsoidales medidas en alturas ortométricas utilizando el modelo de geopotencial EGM08 [10] y se calcularon las anomalías de Aire Libre y de Bouguer en todas las estaciones. Los resultados finales se detallan en Tabla 1.

Resultados

Modelado gravimétrico e interpretación

La interpretación de las anomalías de campo potencial consiste en revelar las leyes de distribución de las anomalías medidas en la superficie terrestre y establecer la relación de estas leyes con los objetivos del trabajo y con

los procesos geológico-tectónicos [11].

Los resultados de la interpretación dependen de la complejidad de la estructura investigada y de la intensidad con que la misma haya sido estudiada geológica y geofísicamente. Si la información es limitada se establece solamente la relación de las anomalías con los complejos de rocas existentes en la región y se determina la probable disposición de los elementos tectónico-estructurales (zonas de fracturas, pliegues anticlinales y sinclinales, distintos cuerpos minerales, etc.). Esta interpretación se denomina cualitativa, y revela la naturaleza del campo.

En condiciones favorables, además de la interpretación cualitativa, y mediante procedimientos de cálculo, se pueden determinar los parámetros complementarios de los cuerpos que originan las anomalías: forma, tamaño, profundidad y densidad. Esta interpretación se denomina cuantitativa y determina los parámetros de los cuerpos cuya naturaleza se ha establecido.

La interpretación cualitativa es la etapa primera y fundamental, que se realiza siempre a partir de todos los datos disponibles para la zona estudiada. Se establecen los factores geológicos probables, se determina la posición de los distintos elementos estructurales, se fijan las zonas para realizar mediciones más detalladas, y se designan las anomalías para la interpretación cuantitativa. Esta última no siempre se efectúa, sino que está supeditada al carácter y disponibilidad de la información.

Un modelo es una representación abstracta, conceptual, gráfica o visual, de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar, simular, explorar y predecir esos fenómenos o procesos. El modelo permite determinar un resultado final a partir de datos y parámetros de entrada.

En este caso, los datos de entrada están constituidos por las anomalías gravimétricas calculadas a lo largo del perfil, mediante las cuales se tratará de inferir la profundidad del basamento.

Tabla 1. Datos de medición y cálculos efectuados

Nombre	Latitud	Longitud	h	N	H	G Teórica	G Observada	A. A.L.	A. Bouguer
N127	-32.956780	-60.655682	41.836	17.060	24.776	979562.649	979546.960	-8.043	-10.816
CostaRos	-32.873080	-60.688360	44.918	17.140	27.778	979555.749	979541.067	-6.110	-9.220
Peaje	-32.865950	-60.650730	26.559	17.100	9.459	979555.162	979544.472	-7.771	-8.830
P01	-32.862851	-60.630305	25.774	17.070	8.704	979554.907	979543.657	-8.564	-9.538
P02	-32.851094	-60.601197	25.638	17.040	8.598	979553.939	979540.640	-10.645	-11.608
P03	-32.837661	-60.573643	25.182	17.010	8.172	979552.833	979537.568	-12.743	-13.658
P04	-32.824099	-60.546123	25.155	16.990	8.165	979551.716	979535.317	-13.880	-14.794
P05	-32.809075	-60.519803	25.924	16.970	8.954	979550.480	979532.713	-15.004	-16.006
P06	-32.796653	-60.492227	24.603	16.940	7.663	979549.458	979531.927	-15.166	-16.024
P07	-32.784200	-60.464295	25.314	16.920	8.394	979548.433	979531.582	-14.261	-15.201
P08	-32.770735	-60.436781	25.803	16.900	8.903	979547.326	979531.073	-13.505	-14.502
P09	-32.752694	-60.413313	24.560	16.890	7.670	979545.842	979530.452	-13.023	-13.882
P10	-32.737869	-60.386548	24.577	16.870	7.707	979544.624	979529.999	-12.247	-13.110
P11	-32.723402	-60.359507	24.768	16.860	7.908	979543.435	979528.793	-12.201	-13.087
P12	-32.711509	-60.330771	25.234	16.840	8.394	979542.458	979527.259	-12.608	-13.548
P13	-32.696608	-60.304105	24.809	16.820	7.989	979541.233	979524.635	-14.133	-15.027
P14	-32.679512	-60.279485	24.272	16.810	7.462	979539.829	979522.711	-14.815	-15.651
P15	-32.665716	-60.252652	23.149	16.790	6.359	979538.697	979521.936	-14.798	-15.510
P16	-32.651863	-60.225423	23.546	16.790	6.756	979537.559	979519.976	-15.498	-16.255
P17	-32.632955	-60.202179	24.618	16.790	7.828	979536.008	979516.941	-16.651	-17.527
P18	-32.612761	-60.180796	23.624	16.800	6.824	979534.351	979515.693	-16.552	-17.316
P19	-32.592312	-60.157063	42.772	16.810	25.962	979532.674	979511.400	-13.262	-16.168
N134	-32.621819	-60.157902	74.723	17.125	57.598	979535.094	979505.530	-11.789	-18.237

Se utilizaron dos programas de cálculo: Geomodel y Geosoft. El método en ambos casos consiste en buscar un modelo de la corteza terrestre que produzca anomalías de Bouguer similares a los valores medidos. Trabajando en dos dimensiones, tendremos la opción de insertar a nuestro modelo cuerpos de diferentes densidades, cambiar su forma, modificar su tamaño y posición, tanto gráfica como numéricamente.

En este estudio se propuso la existencia de un solo cuerpo que está constituido por el complejo sedimentario. Para este tipo de cuencas, la profundidad del techo o límite superior del cuerpo se toma a partir del geoide (cota 0 m), y el contraste de densidad usual para esta zona es -0.19 g/cm^3 , lo que implica que la densidad del bloque sedimentario es 0.19 g/cm^3 menor que la del basamento, estimada en 2.67 g/cm^3 [12].

Con estos parámetros se crea un cuerpo sencillo, y el software compara la anomalía que produciría dicho cuerpo con la que se tiene como dato. El trabajo consiste en realizar un proceso iterativo de modificaciones del cuerpo hasta que las dos gráficas anteriores se asemejen entre sí, es decir que finaliza cuando el operador considere suficiente la aproximación.

En Figura 7, se muestra el modelo definitivo determinado con el software Geomodel. En verde se representa la capa sedimentaria, cuya densidad promedio es 2.48 g/cm^3 , inferior a la del basamento que figura de color blanco. En el eje de las ordenadas se representa la progresiva del perfil, expresada en kilómetros, y en el eje de las abscisas se tienen por un lado las anomalías gravimétricas expresadas en miligGal (arriba), y por otro las profundidades del basamento expresadas en kilómetros (abajo). El valor de Misfit (cuantificación de la diferencia entre ambas curvas) es 0.62, que se considera bueno.

Como complemento, se extendió el perfil hacia ambos extremos utilizando los datos existentes (67 km hacia el Suroeste y 8 km hacia el Noreste) y se calculó nuevamente la profundidad del basamento. Como era de esperar, para el sector de estudio los resultados prácticamente coinciden, pero a su vez puede visualizarse un salto importante en la zona cercana a la barranca rosarina. Este efecto puede atribuirse a la presencia de una falla tectónica, que es justamente por la cual fluye el río Paraná. El valor de Misfit (2.75) es mayor que el anterior, lo cual evidencia la menor aproximación dado el salto mencionado. El resultado se muestra en Figura 8.

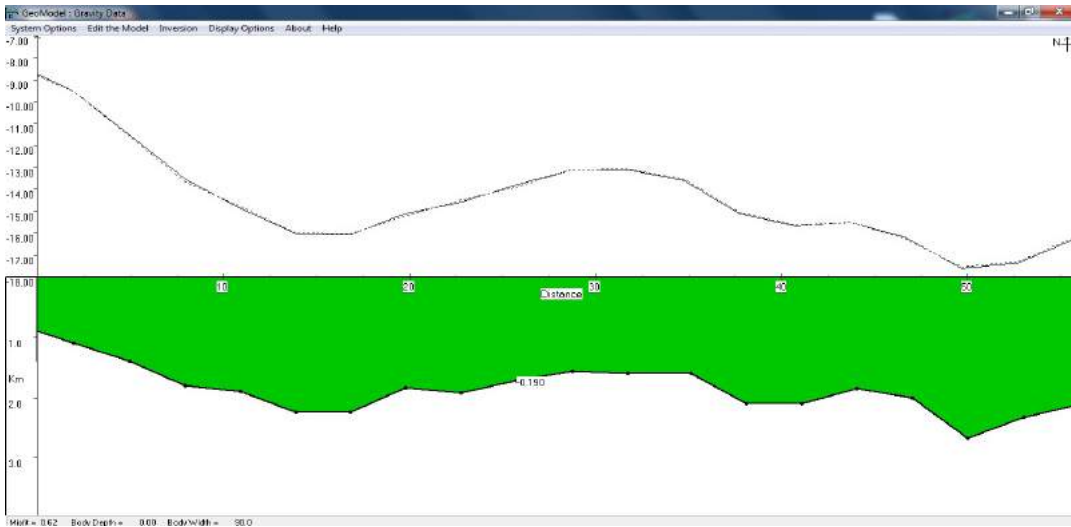


Figura 7. Modelo definitivo determinado con el software Geomodel

A modo de comprobación se utilizó el software Geosoft para generar un nuevo modelo a partir de los datos y parámetros ya ingresados en el caso del Geomodel. Si bien los resultados en cuanto a la forma del perfil obtenido y las profundidades máximas son similares, la disposición de los pliegues resulta un poco más exagerada, Figura 9.

Conclusiones

Los avances tecnológicos aplicados a la

búsqueda y extracción de petróleo y gas no convencionales, conocidos como *shale oil* y *shale gas*, han volteado la mirada de empresas petroleras hacia zonas que hasta hace un tiempo no parecían ser demasiado atractivas desde un punto de vista económico. A partir de ello, y considerando además el agotamiento de los recursos convencionales, es que se han intensificado los esfuerzos en localizar nuevas zonas productivas tanto en Argentina como en el resto del mundo. Un ejemplo de ello lo constituye el sector de la cuenca Chaco-Paranaense escogida para el presente estudio.

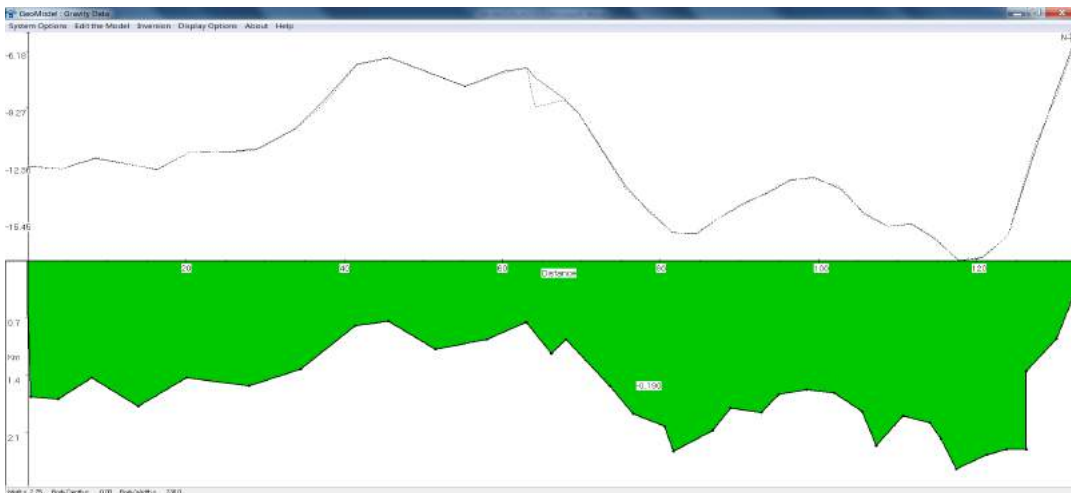


Figura 8. Modelo extendido determinado con el Geomodel

Los datos gravimétricos obtenidos en un total de 20 puntos que conforman el perfil, han permitido estimar la profundidad del basamento a lo largo de los 60 km abarcados por el estudio, llegando a un valor máximo de 2.68 km en las inmediaciones de la ciudad de Victoria. Este dato es determinante cuando se pretende estimar la existencia de yacimientos,

considerando que implica condiciones de presión y temperaturas necesarias para la conversión del kerógeno en hidrocarburos. En función de ello, se detectaron dos zonas en las cuales sería conveniente intensificar los estudios, ubicadas en las progresivas 15 km y 50 km.

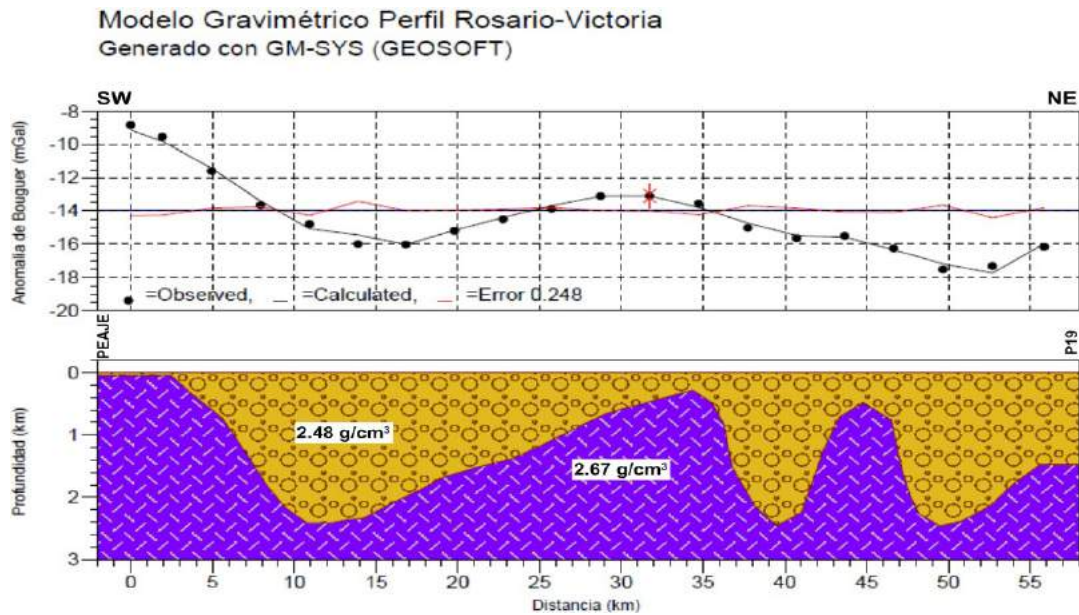


Figura 9. Modelo determinado con el software Geosoft.

Respecto a las precisiones alcanzadas, puede afirmarse que se trabajó en torno a la décima de miliGal en gravimetría, y planialtimétricamente debajo de los 30 cm, más que suficiente para los objetivos de este trabajo.

En el caso de que se decida intensificar la investigación, se sugiere realizar un estudio, ampliando la zona hacia ambos lados del perfil y trabajando con curvas de isoanómalas, análogas a las curvas de nivel pero que indican puntos de igual anomalía gravimétrica. El inconveniente de esta tarea sería el traslado de un sitio a otro dentro de la zona de islas. No obstante es posible recurrir a la aereogravimetría para agilizar el trabajo de campaña. Con esta información se tendría idea no sólo el espesor de las capas sino también del área involucrada y por tanto del volumen.

Luego, identificando las zonas de mayor interés se utilizaría el método sísmico, que consiste en producir artificialmente vibraciones y ver de qué manera se comportan luego de propagarse a través de las rocas. Este método tiene no solo un alto costo económico sino también un gran impacto ecológico, de manera que un pozo de exploración que ayude a determinar fehacientemente las densidades superficiales en el sector sería indispensable para consolidar el modelo y refinar los resultados. Por último se deberían encarar las perforaciones, que son en definitiva las que confirmarán al 100% la presencia o no del yacimiento.

La modelización que se muestra en este estudio es una de las infinitas interpretaciones posibles que se realizaron y se puede considerar una primera interpretación y aproximación con los datos existentes.

Referencias

- [1] G.A. Chebli, M.E. Mozetic, E.A. Rosello, y M. Bülher. "Cuencas sedimentarias de la llanura Chacopampeana." En *Geología Regional Argentina, En: Caminos*, E. (Ed), Subsecretaría de Minería de La Nación, Servicio Geológico Minero, Instituto de Geología y Recursos Naturales, Anales, Buenos Aires, 1999, 29: pp.627-644.
- [2] B. Hofmann-Wellenhof, and H. Moritz. *Physical Geodesy*. Springer eds., 2006, pp.403. ISBN 978-3-211-33545-1.
- [3] A. Introcaso. "Geodesia Física". *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. FCEIA-*, vol. Esp. N°1, pp. 128, ISSN 1666-115X. 2006.
- [4] W. Torge. *Gravimetry*. De Gruyter Eds, 1989. 465 pp.
- [5] S. Miranda, A. Herrada, M. C. Pacino. "Nuevos estándares en las correcciones de gravedad: estudio de caso para una red local en San Juan, Argentina". *Revista Geofísica IPGH*, vol. 63, pp. 59-80. ISSN 0252-9769. 2012.
- [6] S. Miranda, A. Herrada, M. C. Pacino. "Respuesta instrumental del gravímetro Scintrex Autograv CG-5 (s/n 40484) en modos continuo y relevamiento". *GEOACTA*, no. 38, vol. 1, pp. 1-14. ISSN 1852-7744. 2013.
- [7] A. Martín Furones, A.B. Anquela Julián, J. Padín Devesa. 2012. "Correcciones por efecto de marea a observables geodésicos y gravimétricos de alta precisión". Disponible en: <http://www.upv.es/unigeo/gacg/index/proyectos/proy1/marea>
- [8] D. Blitzkow, A. C. Matos, J. D. Fairhead, M. C. Pacino, C. Lobianco. 2012. "The progress of the geoid model for South America under Grace and EGM08". IAG Series: Geodesy for Planet Earth, Vol. 136, Parte 3, pp. 893-899, ISBN 978-3-642-20338-1, DOI: 10.1007/978-3-642-20338-1_75, geoi ISSN 0939-9585, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Ed.
- [9] E. Huerta, A. Mangiaterra, G. Noguera. "GPS posicionamiento satelital". UNR Editora – 2005, pp. 98.
- [10] N. K. Pavlis, S. A. Holmes, S. C. Kenyon, J. K. Factor. "The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)" *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012,) vol.117, ISSUE B4. 2012.
- [11] A. Udías Vallina y J. Mezcuca Rodríguez. Fundamentos de geofísica. Editorial Alhambra S.A., Madrid. 1986, pp. 419.
- [12] L. Cabanillas, G. Carstens, J. P. Lovecchio, P. A. Marshall, L. Rebori, J. C. Soldo, E. Vallejo, G. Vergani. "Petróleo y gas en la Argentina: cuencas productivas" vol. 23 no. 134, 2013.