

ESTRUCTURA E HISTORIA GEOLÓGICA DEL SUBSUELO SANTAFESINO

POR EL Dr. FRENQUELLI.

De la mayor importancia es el conocimiento del subsuelo en cualquier parte se considere, no solo desde el punto de vista de la geología pura sino y especialmente desde el punto de vista de las aplicaciones económicas, sea que se trate de establecer los cimientos de un edificio o excavar canales, trincheras o galerías subterráneas, ya que se trate de la bonificación de terrenos estériles mediante foñaduras o mezclas con otras tierras o abonos minerales que el subsuelo puede suministrar, ya de la investigación de yacimientos de metales, carbones fósiles, petróleo o aguas potables.

Particularmente desde este último punto de vista es que se ha explorado el subsuelo de la grandiosa llanura argentina porque la consecución de aguas potables buenas o aptas para el ganado y la agricultura en muchas regiones de la Pampa representa un problema de solución apremiante.

Gracias al gran espíritu de iniciativa de los argentinos, toda esta inmensa región ha sido acribillada por perforaciones, algunas de las cuales, como las de San Cristóbal y Tostado, sobre el borde noroeste de la provincia de Santa Fe, las que, alcanzando una profundidad de metros 1384.40 y metros 1590, respectivamente, se pueden contar entre las grandes perforaciones hasta ahora excavadas por mano de hombre.

Pero, sobre el litoral santafesino, faltan grandes perforaciones, capa-

ces de mostrarnos la estructura geológica del subsuelo hasta profundidades considerables. Sin duda se debe especialmente a la vecindad del gran Río Paraná y de su afluente el Río Salado. Estos ríos, suministrando directamente las aguas necesarias a la economía, o indirectamente mediante obras hidráulicas o mediante su influencia sobre el nivel piezométrico, hacen innecesarias, en sus zonas marginales, excavaciones profundas. En todas partes la capa freática se halla a pocos metros de profundidad, suministrándonos, por lo común, aguas potables buenas y abundantes.

Sin embargo, para un estudio geológico en relación con aplicaciones útiles podemos contar con el subsidio de varias perforaciones, especialmente de aquellas excavadas por el Ferrocarril provincial de Santa Fe en Estación Río Salado (cinco perforaciones de metros 36, 36.50, 37.20, 40.75, 46.90), en Santa Fe-Cambios (metros 32), en Humboldt (metros 42.40) y al Desvío Arrión (metros 164).

En base a estas perforaciones el subsuelo del litoral santafesino nos proporciona datos muy interesantes para el conocimiento de la estructura y de la historia geológica de la llanura argentina.

Desde arriba hacia el fondo de las perforaciones mayores consta de las formaciones siguientes:

A — formación pampeana — cuaternaria.

B — formación araucana y

C — formación entrerriana, piloncenas.

D — formación paranaiana, miocena.

La formación pampeana, aquí como por toda la superficie de la Pampa, se extiende a guisa de mantillo sobre los terrenos más antiguos e inmediatamente debajo de la tierra vegetal (humus) y de capas delgadas e incostantes de formación muy recientes (post-pampeano).

Como en todas partes se compone de tierras arcillosas pardas o pardorrojizas, en parte muy porosas y ténues, en parte algo más compactas y coherentes.

Las primeras fueron acumuladas por los vientos durante fases de clima relativamente árido y fueron justamente comparadas al loess del Rhin (por Heusser y Claraz, Doering, Steinmann, etc.) con el cual guardan analogías de origen, textura, color y edad, pero no de composición mineralógica y química, como tampoco por lo que se refiere a la fuente de origen de sus materiales constitutivos. En efecto, aunque las dos rocas son de acumulación eólica, de textura migajosa, de color pardo más o menos claro, obscuro o rojizo y de edad cuaternaria, el loess alemán proviene del material fino de las morrenas bálticas o alpinas y el loess pampeano de los materiales de disgregación meteórica de las rocas, eruptivas y sedimentarias, de los Andes y de los relieves peripampeanos (Sierras de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, San Luis, Catamarca, Sierras preandinas del Norte, etc.). Así que, mientras el loess alemán está formado en su mayor parte de partículas de cuarzo sumamente finas, el loess pampeano se compone especialmente de silicatos hidratados amorfos y solubles en ácidos y en álcalis (zeolitas según Bude) mezclados con menor proporción de partículas de cuarzo, silicatos normales cristalizados, (plagio-

clases, micas, piroxenos, hornblenda, turmalina, zircon, epidoto, andalusita, anortita, etc.) y especialmente de partículas desgarradas de vidrio volcánico (cenizas volcánicas). Estas, a veces, forman bancos, de hasta metro y medio de espesor, que se destacan por su color blanco entre las capas pampeanas. Además el loess de nuestras regiones contiene una sensible proporción de óxidos libres (al estado coloidal) de silicio, de hierro y especialmente de aluminio (hidrargilita), faltando en el loess alemán.

La presencia de estos óxidos, que forman la característica principal de la terra roxa del Brasil (laterita), es decir de la capa de descomposición superficial y local (capa eluvial) de las rocas antiguas (granitos especialmente) bajo un clima tropical, demuestra que el loess pampeano se depositó bajo fases interglaciales de clima cálido. En cambio, el loess alemán, según las recientes investigaciones de Soergel, parece haberse acumulado durante las fases glaciales, de clima frío.

Las segundas representan depósitos de cuencas fluvio-lacustres o palustres y se sedimentaron con el concurso de las aguas (limos). Forman lentes, más o menos delgadas y extendidas, pardas o, a veces, verdosas, que se intercalan a diversas alturas entre los bancos anteriores de sedimentación eólica. A menudo existe una alternancia muy regular entre bancos de loess y lentes de limo, demostrando que el clima seco y cálido, bajo cuyo régimen se acumuló el loess pampeano, fué interrumpido por fases de clima húmedo y lluvioso con formación de innumerables esteros, lagos y pantanos en las depresiones del suelo y en las cuencas fluviales de la llanura.

Sobre el litoral santafesino la formación pampeana no adquiere el espesor que alcanza en otras regiones: este varía de 3 a 5 metros. Por hallarse nuestra región entre los bordes de grandes ríos y sometida, por el pasado, a grandes inundaciones,

daciones, los bancos de loess más antiguos (ensenadense y belgranense) han sido sucesivamente destruidos. En las barrancas de la ciudad de Santa Fe (Iglesia de San Francisco), de Guadalupe y especialmente de Santo Tomé y Sauce Viejo, las que pueden venir en subsidio a los datos proporcionados por las perforaciones, persisten restos discontinuos de estos pisos pampeanos más antiguos (cuaternario inferior y medio). Son substituidos en su mayor parte por limos en cuyos niveles inferiores (preensenadense y prebelgranense o ensenadense cuspidal) en que hallamos restos de *Promacrauchenia*, *Toxodon* y *Mastodon*; en los superiores (prebonaerense o lujanense) encontramos *Lagostomus*, *Cervus*, *Palaolama*, *Equus*, *Toxodon*, *Panochtus*, *Mastodon*, etc., a veces (margen del Salado al norte de Esperanza) junto con restos humanos.

En vez, el loess superior (bonaerense) por su edad más reciente (cuaternario superior), ha sufrido en menor escala los efectos de la erosión y, por ende, persiste casi en todas partes, como un manto, interrumpido sólo por la incisión de los cauces actuales. Contiene escasos restos fósiles de *Gliptodontids*, de *Megatherium* y de *Arctotherium*, género fósil que comprende los osos más grandes hasta ahora conocidos.

Los fangos recientes (post-pampeanos) en el cauce de los arroyos actuales (Cululú, Cululusito, La Prusiana, etc.) pero pertenecientes a una fase anterior más lluviosa, en que los mismos arroyos llevaban caudales mucho mayores, contienen moluscos terrestres y de agua dulce (*Littoridina Parchappi* d'Orb., *Pianorbis peregrinus* d'Orb., *Ampullaria canaliculata* d'Orb., *Succinea meridionalis* d'Orb., *Bulinulus sporadicus* d'Orb., *Scolodonta Semperi* Doer.) a veces en crecida cantidad.

La formación araucana es escasamente representada en las perforaciones, formando un banco de are-

niscas cuarzosas estéril, gris verdosa, homogénea, de escasa coherencia y de reducido espesor (de 2 a 3 metros). Representa restos de antiguos médanos continentales que se formaron al final del plioceno, cuando sobre la región se extendió un régimen de clima desértico. En algunos puntos, debajo del anterior, se observan lentes de arcilla verde, que corresponden a un régimen palustre estépico, determinado por movimientos tectónicos y cambios climáticos que modificaron el régimen fluvial del período precedente. Durante las grandes bajantes del Río Salado, lentes muy extendidas de estas arcillas afloran al pie de las barrancas desde la altura de Santa Fe, hacia el sur: en las barrancas de Sauce Viejo contienen drusas de yeso cristalizado y nódulos de limonita concrecional, en abundancia.

La formación entrerrriana, que, por sus evidentes analogías con algunas capas de la serie sedimentaria de Patagonia, en otras circunstancias llamamos "neopatagónica", se compone de dos niveles distintos: uno superior, formado por arenas fluviales, y uno inferior de arenas de médanos costaneros.

Las arenas fluviales (piso rionegrense) son estratificadas en capas delgadas irregulares y más o menos fuertemente impregnadas de hidróxido de hierro. A veces estos óxidos cementan tan fuertemente las arenas que las transforman en arenisca de cemento ferruginoso, resistente e impermeable. Sus espesores varían desde 1.20 hasta 9 metros.

La formación subyacente de médanos costaneros (piso entrerrriense) se compone de arenas de cuarzo, sueltas, blancas o grisáceas, con la característica estratificación entrecruzada de los arenales. También son de espesor variable (de 5 a 10 metros) y hasta pueden faltar en relación a la irregularidad de los depósitos de sedimentación eólica.

Las arenas ocráceas fluviales y la parte cuspidal de las arenas de mé-

danos se descubren al pié de las barrancas del Río Salado, en las mismas localidades recordadas, pero sólo durante las mayores bajantes del río.

También la formación paraniana (que en otras ocasiones llamamos "paleopatagónica" o "mesopotamónica") se compone de dos niveles superpuestos: uno superior, fluvial (piso mesopotamiense) y otro inferior, marino (piso paranense).

En las perforaciones santafesinas el mesopotamiense está formado por una serie de capas de arena cuarzo por materiales arcillosos verduzcos, alternando a veces con capas de arcilla plástica verde o con estratos de gravas y cantos rodados de arenisca, calcedonia, meláfiro, marga endurecida, etc. Rodados discoidales de marga endurecida (rodados margolíticos) se hallan también distribuidos en las capas de arena junto con fragmentos de maderas silificadas. Las capas de cantos rodados contienen también fragmentos de huesos de mamíferos en aquel estado de fosilización (notable impregnación de óxido de hierro y de sílice) característico para los fósiles de este piso. El espesor de este nivel oscila alrededor de 15 metros.

El paranense, en el cual terminan las perforaciones practicadas en nuestra región, se compone de arcilla homogénea, compacta, de color verde muy oscuro. Examinado en las perforaciones de Estación Río Salado y en otras fuera del Litoral (Seeber, Aldao, Cotagaita, etc.) se presenta constituido de dos partes: una superior (paranense superior) con caracteres de sedimentos de costa (nerítico) y otro inferior (paranense inferior) con caracteres de sedimentos de alto fondo (batial).

En efecto mientras las arcillas de este último, sin fósiles, recuerdan los fangos (tipo blauschlick) de algunos fondos oceánicos actuales, el paranense superior contiene bancos de moluscos que viven solo en proximidad de las costas (Ostrea, Venus, Arca, Pecten, Crassatellites, etc.):

a veces en fragmentos mezclados a detritus de playa, otras en perfecto estado de conservación.

En las grandes perforaciones de San Cristóbal y Tostado estas arcillas mostraron espesores de 232 y 162 metros, respectivamente. Notables espesores mostraron también en todas las perforaciones practicadas en la llanura argentina, de modo que aparecen como sedimentos de un amplio mar interno que ocupó toda el área de la pampa actual. Pero en el subsuelo santafesino debe presentar espesores reducidos porque muchas circunstancias nos inducen a considerar que el litoral paranense se hallaba sobre el borde oriental de esta cuenca.

En efecto, las perforaciones de Rosario y de Buenos Aires no hallaron esta formación; y mientras en Estación Río Salado se perforó por un espesor de m. 4 sin alcanzar el fondo, más al sur, al Desvío Arjón, presentó un espesor de apenas tres metros, descansando sobre una mucho más espesa formación de materiales arcillosos colorados y a veces yesíferos, análogos a aquellos que forman el subsuelo profundo de Rosario, Buenos Aires y de todas las demás regiones pampeanas.

Estos sedimentos, poco conocidos, son probablemente de origen continental y de edad oligocena.

La serie de formaciones que acabamos de recordar presenta íntimas analogías con la serie de terrenos que forman las barrancas paranenses en Entre Ríos. Especialmente si estudiamos la estructura de estas barrancas al norte de la ciudad de Paraná, podemos establecer un paralelo perfecto.

En efecto también aquí, desde la parte más alta de la costa, hasta el nivel del agua, durante las bajantes del río, hallamos:

A -- formación pampeana con las características ya apuntadas;

B -- formación araucana, con un banco de arenisca incoherente gris-verdosa, superpuesto a las lentes de

arcillas yesíferas verdes que aquí adquieren un mayor desarrollo horizontal y vertical;

C -- formación entrerriana, con arenas fluviales ocráceas (rionegrense) y arenas de médanos (entrerriense);

D -- formación paranaiana constituida por las clásicas capas fluviales del mesopotamiense y las arcillas oscuras del paranense que desaparecen debajo del más bajo nivel del río.

Particular interés ofrece en Entre Ríos esta última formación, especialmente por el número y la naturaleza de los fósiles que nos ha proporcionado. La abundancia de los fósiles continentales de las capas superiores es tal que podemos considerar esta formación, junto con el santacruicense de Patagónica, entre los más ricos yacimientos conocido para las faunas terrestres. Ella ha estimulado, especialmente el interés de los estudiosos y de los coleccionadores y sobre todo de Scalabrini y de Lelong, quienes exhumaron aquella rica fauna mesopotamiense estudiada especialmente por nuestro sumo paleontólogo Florentino Ameghino.

De particular importancia, desde este punto de vista son las capas fluviales del mesopotamiense, las mismas que encierran la mayor parte de aquellos troncos de árboles silificados que todos conocemos. Su contenido paleontológico se compone principalmente de restos de mamíferos pertenecientes a numerosos géneros *Myopotamus*, *Lagostomus*, *Mezomys*, *Tetrastylus*, *Cardiomys*, *Cardiotherium*, *Hydrochoerus*, *Toxodon*, *Toxodonttherium*, *Haplodontherium*, *Magatherium*, *Promegatherium*, *Scelidotherium*, *Pseudolestodon*, *Pronylodon*, *Palaeophlophorus*, *Protoglyptodon*, *Chlamydotherium*, *Scalabrinitherium*, *Brachytherium*, *Protherium*, etc.) con numerosas especies, sobre todo de roedores de costumbres acuáticas. A los restos de esta importante fauna terrestre se mezclan restos de organismos

marinos que provienen de la remoción de las capas superficiales del paranense superior.

Este, como en el subsuelo santafesino, se compone de dos bancos conchiles, entre los cuales se intercalan 4 o 5 metros de capas arenosas y arcillosas. Los bancos conchiles son formados especialmente de ostras (una más grande, que probablemente hemos llamado *Ostrea Brugii*, y otra pequeña, *Ostrea parasitica* Gmel., que en la actualidad vive en las costas del Brasil y del Senegal, adherida a las raíces de las mangrovias) mezcladas con menor cantidad de *Pecten*, *Arca*, *Crassatellites*, *Balanus*, briozoarios, etc.

Las capas intercaladas entre los bancos ostreros contienen, en cambio, restos de vertebrados marinos y continentales, mezclados sin orden y en forma que la fauna de este depósito toma aquel tipo mixto característico para los sedimentos de estuario (facies estuariana). En efecto a los restos de mamíferos terrestres se mezclan restos de ballenas (*Balaenoptera*), delfines (*Sauropelphis*, *Anisodelphis*, etc.) de rostro largo análogamente a los que, en la actualidad viven en los grandes estuarios sudamericanos (*Inia* y *Stenodelphis*), Sirenidos (*Ribodon*), focas (*Arctophoca*), codrillos (*Alligator*, *Garialis*), aves, tortugas fluviales (*Platemys*), peces marinos (clasmobranquios) y de agua dulce (silurídeos), etc.

Particularmente interesante desde el punto de vista paleontológico y cronológico, hemos señalado en estas capas la contemporánea presencia de dientes (odontolitos) de *Carcharodon megalodon* Ag. y *Carcharodon Rondeleti* M. et H., dos enormes tiburones, el primero de los cuales, alcanzando proporciones colosales (sus dientes, dispuestos en varias hileras de numerosas piezas, alcanza una altura de 10-12 centímetros) se extinguió al final del mioceno, y el segundo, el mayor de los tiburones vivientes (alcanzando un largo de 7-9 metros) apareció

al comienzo del plioceno. Por lo tanto esta asociación confiere al depósito un marcado carácter de terreno de transición entre el mioceno y el plioceno.

En el mismo sentido habla el reciente hallazgo, en las mismas capas, de dientes de un delfín (el que damos a conocer bajo el nombre de *Prionodelphis Rovereti*) perteneciente a aquel interesante grupo de escualodóntidos, del mio-plioceno, que establecen una transición morfológica entre los zeuglodontidos (heterodontes) y los actuales delfines con dientes uniformes (homodontes).

El hallazgo ensancha la esfera de difusión de estos delfines también a Sud América donde hasta ahora eran desconocidos.

La serie de los terrenos entrerrianos, a la altura de la ciudad de Paraná y desde aquí hasta Diamante, experimenta algunas modificaciones que, aparentemente, nos permiten más establecer un paralelismo perfecto con la serie del subsuelo santafesino.

Aunque las demás formaciones conservan sus caracteres típicos, las arenas de los médanos del entrerriense son substituídas por arenas arcillosas de mar playo con bancos de Ostras (*Ostrea patagónica* d'Orb., *Ostrea Alvarezii* d'Orb.) mezcladas a numerosos otros bivalvos (*Arca Bomplandiana* d'Orb., *Chione Muensteri* d'Orb., *Amussium Darwinianum* d'Orb., *Myochlamys paranensis* d'Orb., *Pododesmus papyraceus* Phil., etc.), a un equinoderma de la familia de los escutélidos (*Monophora Darwini* Desor) y a restos de peces (*Carcharodon Rondeleti* M. et A., *Oxyrhina hastalis* Ag., *Oxyrhina Spallanzani* Ben., *Odontaspis cuspidata* Ag., *Odontaspis contortidens* Ag., *Hemipristis serra* Ag., *Carcharias Egertoni* Ag., *Carcharias lamia* Risso, etc.).

Además aparece un segundo nivel marino, (rionegrense marino), que, sin tener equivalentes en nuestra serie, se intercala entre las are-

nas fluviales del rionegrense y la formación araucana: está constituido por sedimentos de playa con moluscos marinos costaneros (*Ostrea patagónica* d'Orb., *Ostrea Alvarezii* d'Orb., *Arca Bomplandiana* d'Orb., *Barnea ornata* Borch., *Volunta nodulifera* Borch., *Venus*, *Mactra*, etc.). Su aspecto (facies) principal es representada por aquellos conocidos bancos de caliza que, en los alrededores de Paraná, se explotan para la fabricación de la cal.

La parte superior de estos bancos, en algunos puntos adquiere una facies distinta, por transformarse en una caliza arcillosa, diseminada de moldes de un característico gasterópodo, que Bravard llamó *Cerithium Americanum* pero que más probablemente corresponde al género *Turritella* (Doello Jurado) o a *Potamides*. A este se mezclan otros moluscos de aguas salobres (*Tageus gibbus* Spengl.), terrestres (*Strophocheilus oblongus* Müll.) y, según nuestras observaciones recientes, de aguas dulces (*Unio*, *Corbicula*, *Littoridina*, *Planorbis*).

Esta capa superior que, por su aspecto y contenido paleontológico, parece representar una facies lagunar del anterior marino, presenta también una interesante intercalación de cenizas volcánicas blancas, idénticas a aquellas que se intercalan en la superpuesta serie pampeana.

La serie de los terrenos de Entre Ríos, a consecuencia de la intervención de este tercer nivel marino, viene a quedar constituida por una regular alternación de pisos marinos (paranense, entrerriense y rionegrense) y de pisos continentales (mesopotamiense, rionegrense, araucanense), la que demuestra que esta región, desde el final del mioceno hasta el comienzo del cuaternario, sufrió los efectos de oscilaciones verticales en sentido distinto, con sucesivas transgresiones y regresiones marinas.

pero la aparición de este nuevo nivel en la serie de Entre Ríos no impide que conservemos el paralelismo ya establecido entre esta y la serie santafesina, sino demuestra solamente que, en este momento de la historia geológica de nuestra región, el suelo santafesino, hallándose en un nivel algo superior que el entrerriano, no fué cubierto por las aguas de la última transgresión pliocena.

En cambio la condición que establece la diferencia más llamativa entre el suelo santafesino y el suelo entrerriano es sin duda proporcionada por el hecho de que, si bien formadas por las mismas capas, la serie santafesina se halla casi completamente debajo del nivel del Río Paraná (y en parte hasta debajo del actual nivel marino), mientras la serie entrerriana se halla en su totalidad encima del mismo nivel. Es esta una condición que, junto con la diferencia altimétrica entre las dos provincias contiguas, llamó siempre la atención de los geólogos, desde D'Orbigny y Darwin, que primero estudiaron nuestras regiones, y de todo viajero que cruce el río desde Santa Fe a Paraná.

Ya D'Orbigny nos dió una explicación satisfactoria del hecho, confirmada por las investigaciones recientes: el curso del río Paraná coincide con una gran fractura de la corteza terrestre cuyos bordes (labios) han sufrido un desplazamiento en sentido vertical. En otras palabras, las diferencias altimétricas son debidas a la formación de una falla, de la cual el borde entrerriano representa el labio levantado y el borde santafesino el labio hundido. Según nuestros datos el valor de este desplazamiento es de 28 metros aproximadamente.

Hemos podido comprobar que la falla del Río Paraná forma parte de un sistema de fallas concéntricas y paralelas al borde del antiguo continente brasileño. Estas fallas perimetrales dividen la pampa y re-

giones limítrofes en zonas relativamente levantadas o hundidas, esto es en zonas epigenéticas positivas y negativas en el sentido de Schuchert.

Estos movimientos verticales en las distintas zonas fueron provocados por aquel gran acontecimiento orogénico que, durante el terciario determinó la formación de los Andes; y se deben considerar como el efecto de las repercusiones del diastrófismo andino sobre un área de más antiguos plegamientos tectónicos.

La pampa y regiones limítrofes, durante los primeros tiempos de la vida geológica de nuestro planeta estaban ocupadas por un brazo de mar, situado entre dos continentes primordiales: el escudo brasileño al norte, formando parte del gran continente transversal austral (el Gondwana de Suess) y el escudo patagónico en conexión con un gran continente antártico. Por su anchura, relativamente escasa, por estar completamente al alcance de una intensa sedimentación terrígena y por los probables movimientos de su fondo, este brazo de mar revisió las condiciones que los geólogos llaman en "geosinclinal", destinado a futuros plegamientos orogénicos. En efecto, los sedimentos de este "geosinclinal", sufrieron un prolongado arrugamiento, terminado, según Windhausen, durante la época pérmica y formaron una serie de montañas que luego fueron destruidas por su larga exposición (desde el final del paleozóico hasta el cretáceo superior) a los efectos de la erosión y de la degradación meteorica.

Se formó por lo tanto una gran llanura (peneplain) mesozoica, luego fracturada y dislocada en las zonas negativas y positivas ya mencionadas. Las zonas positivas se levantaron en forma de montañas y formaron las sierras peripampeanas actuales (sierras de Buenos Aires, sierras de Córdoba, de San Luis, de Catamarca, sierras preandinas,

etc.); las zonas negativas se hundieron formando los valles entre las sierras y la gran depresión de la pampa. En esta, la superficie de la llanura mesozoica, cortada sobre las rocas cristalinas paleozóicas y pre-paleozóicas, ha descendido de tal manera que no fué alcanzada ni por las grandes perforaciones de San Cristóbal y Tostado. Tal vez se halla a la profundidad de unos 2000 metros, recubierta por los espesos sedimentos terciarios, continentales y marinos, que iban rellenando la cuenca a medida que su fondo se hundía.

Los fenómenos del diastrofismo andino, o, en otras palabras, la formación de la gran cordillera de los Andes, con los cuales hemos correlacionado la fracturación y el hundimiento de la pampa, empezaron al terminar la época cretácea y se efectuaron en tres fases principales: la primera al comienzo del terciario (paleoceno), la segunda al límite entre el mioceno y el plioceno, la tercera al límite entre el plioceno y el cuaternario.

Durante el mioceno, época en que comienza la sedimentación del paranaense alcanzado por el fondo de nuestras perforaciones, hallamos la gran cuenca pampeana ocupada por un amplio mar en vía de paulatino relleno por sus mismos sedimentos (arcillas paranenses). Diferentemente de lo que opinan los geólogos, que nos han precedido, consideramos que este mar llegó, a ocupar toda el área de la pampa hasta el pie de las sierras peripampeanas, entrando desde el norte, por la depresión de un golfo, más antiguo, entre Brasil y Bolivia. Nuestra suposición, además que por el carácter septentrional de la fauna paranaense, se basa sobre la falta de sedimentos paranenses en el subsuelo de Rosario, de Buenos Aires y de las regiones limítrofes sobre la costa del Atlántico. La ausencia de estos sedimentos sobre el borde del océano indica que desde esta parte

la entrada del mar era obstaculizada por la persistencia, en este momento, de los restos terciarios del antiguo puente continental que unía el Sud-América con Africa (el Arqueleñis de von Ihering).

En cambio las intrusiones pliocénicas (entrerriense y rionegrese marinos) pudieron entrar desde el Este, por la depresión del actual Río de la Plata. A consecuencia del contragolpe de la segunda fase de la orogénesis andina, el continente había tomado una conformación muy próxima a la actual: ya habían derrumbado los últimos restos del Arqueleñis, y la cuenca de la pampa se había rellenado eliminando el mar paranaense; ya se había formado la falla del río Paraná, y en ella se había establecido el gran colector de la Pampa con desagüe hacia el Este.

En este momento las intrusiones pliocenas deben considerarse como consecutivas a leves oscilaciones basculares, con rítmicos descensos del borde atlántico durante los cuales el mar se internó en el continente remontando el cauce fluvial.

Pero si este mar, en forma de seno largo y angosto, invadió el borde entrerriano, respetando el santafesino, debemos deducir que éste se hallaba a un nivel superior que aquel, esto es que los labios de la falla presentasen entonces relaciones recíprocas completamente inversas a la que rigen en la actualidad: el borde entrerriano bajo y expuesto a invasiones marinas aun por leves descensos del suelo, el borde santafesino alto y fuera del alcance de estas transgresiones.

La actual inversión de estas relaciones es un fenómeno completamente reciente en conexión con la tercera fase de la orogénesis andina acaecida al límite entre el plioceno y el cuaternario, esto es entre el final de la sedimentación del araucano y el comienzo de la formación pampeana.

Los movimientos que levantaron los Andes a la altura actual, reno-

vando los movimientos en las zonas de fracturación epirogénica de la pampa, determinaron un mayor descenso de aquella zona, situada delante del arco de las sierras peripampeanas y de su *vorland*, que encerrando las numerosas cuencas cerradas grandes y pequeñas de la Pampa, desde los grandiosos esteros del Pilcomayo, por la Mar Chiquita y el curso del Río Salado (de la provincia de Buenos Aires) alcanza el Atlántico en la Bahía de Samborombón.

Al formarse esta zona de mayor depresión, la zona santafesina, que se halla entre la primera y la falla del Paraná, tomó un nivel intermedio entre aquella y la zona entrerriana de acuerdo con la ley que rige el escaloneamiento de las fallas y según la cual los escalones que se forman descienden hacia el punto de mayor hundimiento o, con términos más propios, los muros de falla miran hacia la zona de mayor descenso.

Fascimil del folleto publicado por el diario "El Litoral" de Santa Fe en agosto de 1972, reproducido en adhesión al 4º Centenario de la Fundación de Santa Fe.