

LAS BARRANCAS DEL PUERTO DE ROSARIO

Y LAS CAUSAS DE SU DERRUMBAMIENTO

POR JOAQUÍN FRENGUELLI

PRELIMINARES

En el año 1925, el ingeniero José R. Repossini, entonces Director General de Navegación y Puertos del M. O. P., tuvo la deferencia de solicitar mi opinión acerca de las causas que motivaban los derrumbamientos de la barranca del puerto de la ciudad de Rosario de Santa Fe, entonces graves y frecuentes. Después de un breve estudio geológico y morfológico complementario, que abarcó la margen derecha del río Paraná desde Parravicini hasta Baradero, mis opiniones se concretaron en un informe que, al año siguiente, fué publicado en un folleto por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación (8).

Tres años después, a pedido de la Cámara de Comercio de Rosario, pronuncié una conferencia, en aquella ciudad santafesina, sobre el mismo argumento. En mis conclusiones, manifesté mi juicio un tanto pesimista acerca de la estabilidad de aquella barranca y hasta de gran parte de la misma ciudad, construida en la proximidad de la orilla cóncava de un meandro del grandioso río Paraná. No fué de la misma opinión el ingeniero jefe de aquella sección de Navegación y Puertos, quien asistió a mi conferencia y me aseguró que las obras de consolidación efectuadas en el puerto eran una garantía absoluta de su porvenir. Nuevos derrumbamientos ocurridos días después y los que les siguieron entre 1928 y 1933 (derrumbamientos entre los embarcaderos de Bunge y Born y los del F. C. C. A., aguas arriba del muelle) y entre 1933 y 1942 (derrumbe del terraplén del F. C. C. A., sobre un frente de 500 m) desmintieron tal afirmación y demostraron la ineficacia de las defensas realizadas.

La continuación de este proceso destructivo, realmente grave por sus consecuencias, especialmente en relación con los ingentes perjuicios económicos que ocasiona, recientemente ha motivado un artículo del ingeniero Edmundo Soulages (17).

La exposición del ingeniero Soulages, quien hace más de 40 años dirigió los estudios para el llamado a licitación del puerto de Rosario y quien desde esa fecha no ha dejado de preocuparse de su situación, es interesante y erudita. Estudia el problema desde un punto de vista principalmente técnico, consignando una serie de datos realmente importantes tanto en lo que atañe a la evolución del cauce del río Paraná frente a Rosario, desde la fundación del puerto (1902) hasta hoy, como en lo que a su porvenir se refiere. También tiene el mérito de actualizar una cuestión, en su opinión, un tanto descuidada por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación, y de reclamar la atención de los poderes y del público acerca de un problema que considera grave hoy y más grave aún en el futuro, de acuerdo con lo que yo mismo manifestara en mi conferencia de 1929.

Mientras la exposición del ingeniero Soulages es eminentemente técnica, mi informe de 1926 sólo se limitó a considerar la cuestión desde un punto de vista puramente teórico. Creo, sin embargo, que pudo aclarar algunos aspectos del problema también en cuanto a su solución práctica o, por lo menos, sugerir al técnico cuáles eran las condiciones y las acciones naturales en que particularmente debíase reparar para intentar una defensa eficiente de aquellas barrancas. De todos modos, creo que los dos artículos, persiguiendo el mismo propósito y arribando a las mismas conclusiones, se complementan mutuamente; y como mi informe, publicado en un reducido número de ejemplares, tuvo una circulación muy limitada, en mérito a la importancia del asunto que el ingeniero Soulages tan oportunamente ha devuelto a la actualidad, estimo útil reproducirlo con las modificaciones y las ampliaciones que para el fin he juzgado conveniente.

En una primera parte consideraré la constitución geológica de las barrancas rosarinas, y en una segunda parte me ocuparé de las acciones hidráulicas a que las mismas barrancas están sometidas.

CONSTITUCIÓN GEOLÓGICA DE LA BARRANCA DEL PUERTO DE ROSARIO

ANTECEDENTES

La barranca del puerto de Rosario forma parte de una larga serie de ripas acantiladas que siguen la margen derecha del Río Paraná desde la altura de la ciudad de Santa Fe hasta su desembocadura en el Río de la Plata. En su comienzo, forman la ribera derecha del Río Santa Fe y del Río Salado, aguas abajo de su confluencia con el anterior, frente al pueblo de Santo Tomé, según un borde que debe considerarse, sobre este lado, como el límite verdadero del amplísimo lecho del sistema fluvial parense. En su final se empalman con el borde barrancoso del estuario del Río de la Plata, frente al delta platense, y las viejas barrancas de la ciudad de Buenos Aires. Su altura, que en un principio (en aguas medias) alcanza 7-8 metros sobre

el nivel del caudal del río, va paulatinamente aumentando hasta 20-24 m, a medida que desciende el mismo caudal, desde su nivel frente a Santa Fe y Paraná (12 m) hasta el nivel de las aguas del Riachuelo (0 m). En realidad, mientras la caída del río sigue su lento descenso en un tramo inferior de un perfil de equilibrio ya viejo, la zona pampera lindante, cortada por la erosión, mantiene prácticamente un nivel casi constante, oscilando entre 16 m (Santa Fe), 20 m (Rosario Norte) y 24 m (Buenos Aires, peristilo de la Catedral), sobre el cero del mareógrafo del Riachuelo. Naturalmente, su nivel altimétrico varía considerablemente por trechos donde las barrancas están cortadas por torrenteras, cañadones, arroyos y especialmente por el amplio cauce de los ríos (Carcarañá, Arrecifes, Tala, Areco, Luján, etc.) que afluyen al Paraná: en su conexión, las barrancas descienden hasta coordinar su perfil con las bajas terrazas de ríos y arroyos, pero luego vuelven a recobrar la altura que en los diversos puntos le corresponde. También, en todo su largo recorrido, permanece constante su constitución geológica. Esta constancia depende del hecho de que, por todo el trayecto, las barrancas de esta margen fluvial han sido cortadas en el relleno cenagoso de un amplio cauce fluvial, más amplio aún que el cauce arenoso actual, y maduro hasta la más avanzada decrepitud, esto es, hasta transformarse en una vastísima depresión chata, pantanosa, cegada por los sedimentos en su mayor parte fangosos del llano de un aluvión por el cual remontó el antecesor del actual río Paraná durante el ciclo sedimentario del Pampiano medio, esto es, del Ensenadense.

Sobre los sedimentos del Ensenadense, al final de este ciclo, cuando ya el gran curso fluvial estaba ya casi completamente atrofiado (junto con la atrofia de la mayor parte de la red pampeana), y durante la fase árida subsiguiente, se tendió el manto de loess del Pampiano superior, es decir del Bonaerense.

En el perfil de estas barrancas, en todo su desarrollo, podemos reconocer entonces, dos componentes estratigráficos principales: abajo el Ensenadense, que con gran espesor forma la mayor parte del perfil y que, de abajo arriba, en sus rasgos esenciales sucesivamente se compone de arenas, arenas arcillosas, limos arenosos y limos arcillosos; arriba el Bonaerense eminentemente loésico. Tenemos, por lo tanto, un grandioso ejemplo típico de «terrazza pampiana», como la que caracteriza la «Pampa baja» (5, pág. 249, fig. 23-B)¹. En la figura anexa (fig. 1) puede observarse una representación esquemática de este perfil general: en ella los dos horizontes pampianos están subdivididos en dos secciones, inferior y superior respectivamente, de acuerdo con sus variaciones faciales en los momentos principales de su sedimentación: según la nomenclatura estratigráfica de F. Ameghino, para la serie en la ciudad de Buenos Aires y sus alrededores, el Ensenadense infe-

¹ La terminología adoptada en el trabajo que cito fué más tarde modificada por mí (9 y 10) a raíz del resultado de observaciones ulteriores.

rior corresponde al Preensnadense, el Ensenadense superior al Ensenadense separado en basal y cuspidal por el depósito de un breve incremento estuario (Interensnadense), el Bonaerense inferior al Infrabonaerense y el Bonaerense superior al Bonaerense típico.

El perfil se completa con otros niveles, para nuestros perfiles de importancia estratigráfica subalterna, que son: las arenas de la parte superior de la Serie entrerriana (Plioceno), debajo del Ensenadense; el pequeño escalón de la «terrazza post-pampiana», al pie de las barrancas; los sedimentos post-pampianos y actuales, arriba del Bonaerense.

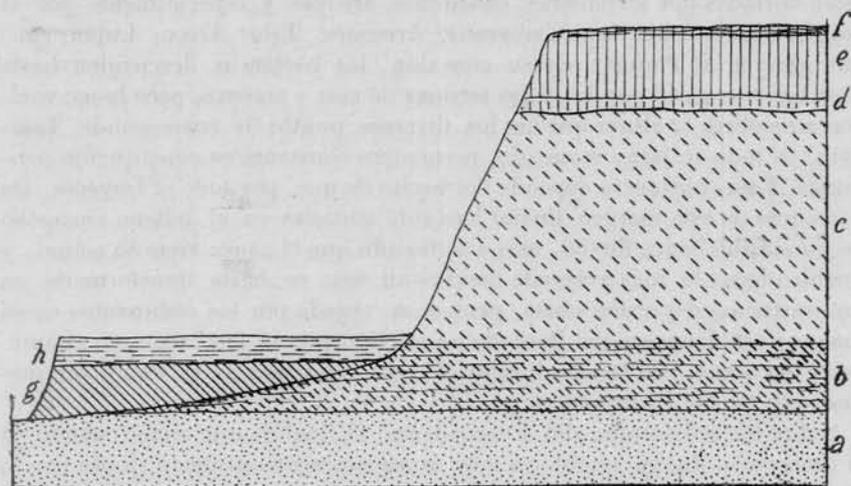


Fig. 1. — a, Arenas superiores de la serie entrerriana; b, Ensenadense inferior (Preensnadense); c, Ensenadense (Ensenadense basal y cuspidal); d, Bonaerense inferior (Prebonaerense); e, Bonaerense superior (Bonaerense loésico); f, humus, etc.; g, Lujanense; h, Platense.

Las arenas del Entrerriano, que a veces en su parte superior incluyen lentes de arcilla yesífera, corresponden a la parte más alta de esta serie pliocena. Como es sabido por antiguas observaciones de A. d'Orbigny y por estudios más recientes (5), a lo largo del borde acantilado de la provincia de Entre Ríos, que forma la margen izquierda del gran colector paranense, esta serie ascendió en su totalidad arriba del nivel medio de las aguas fluviales, por hallarse en el labio levantado de una gran falla que, más o menos, sigue el curso actual del río Paraná. En el borde santafesino y bonaerense, que forma el labio inferior de la misma falla, sus sedimentos han permanecido, en cambio, en un nivel mucho más bajo y, durante las fases de creciente, desaparecen completamente debajo de las aguas del río. Es sólo durante las fases de estiaje, especialmente durante las grandes bajantes, que estas arenas asoman en la base de las barrancas, pero sólo en las secciones superiores de este tramo fluvial: debido al hecho de que la superficie

superior de este complejo arenoso se inclina hacia Este en un grado un poco mayor que el de la pendiente fluvial, la cúspide del Entrerriano aparece con un espesor algo mayor en Santa Fe que en Rosario, y en Buenos Aires queda oculta en el fondo del estuario, debajo de la base del Ensenadense (Preensenadense de F. Ameghino) formando su parte superior aquel horizonte arenoso que F. Ameghino indicara con el nombre de Puelchense (1, pág. 26) ¹.

La « terraza post-pampiana », destruída en su máxima parte por la erosión lateral de meandros fluviales, sólo persiste en breves trechos y en rincones respetados por el proceso destructor. Su presencia se aprecia especialmente en la boca de los afluentes por el hecho de que sus sedimentos, truncados en el punto de confluencia, persisten en las bajas laderas de las desembocaduras, de donde remontan a lo largo de las orillas el curso de los afluentes mismos. Como en los casos ya descriptos por mí en los ríos Santa Fe, Carcarañá y Luján (13, pág. 122-227), está constituida por limos arcillosos del Lujanense recubiertos por limos tripoláceos del Platense y por limos arenosos recientes. Desde Baradero aguas abajo, la parte superior del Lujanense contiene numerosos restos de moluscos de aguas salobres (especialmente *Erodona mactroides* Daud.), concretando aquella facies estuariana conocida con el nombre de Querandinense. Esta terraza, cuyos sedimentos se acumularon en el fondo de los valles reactivados por el movimiento post-bonaerense, que levantó en conjunto toda esta zona pampeana y determinó un considerable ahondamiento de los cauces, fué luego cortada por la erosión durante la fase de levantamiento reciente, cuyas consecuencias siguen activas todavía hoy en nuestros litorales fluviales y en nuestras costas marinas.

Los sedimentos post-pampianos están constituidos por viejos suelos y los depósitos de charcos y pantanos, que eventualmente se formaron en el rellano de las terrazas. Sobre el rellano de la « terraza pampiana », en proximidad y en el mismo borde de las barrancas, a consecuencia de su misma posición, ellos han sufrido intensos desgastes y sólo persisten aquí y allá en delgados restos por la capa del humus actual.

Las primeras noticias concretas acerca de la constitución geológica de las barrancas de la ciudad de Rosario y sus alrededores se deben a Burckhardt (2, págs. 169-171). Sus observaciones, realizadas a la altura de la

¹ En publicaciones recientes, basadas sobre una información deficiente acerca de la constitución geológica del subsuelo de Buenos Aires y en la observación de materiales extraídos por cateos y acumulados sin orden alrededor de la boca de las excavaciones, se indica como « Puelchense » todo el conjunto arenoso que, en realidad, corresponden a varios horizontes geológicos superpuestos: además del Puelchense de Ameghino, esto es las arenas subpampeanas de este autor, en semejante « Puelchense » se han incluido también las arenas fluviales del Rionegrense, las arenas marinas del Entrerriense y hasta aquellas de los depósitos del antiguo estuario mesopotamiense. Conviene denunciar tal error y tenerlo bien presente para evitar lamentables confusiones.

estación del F. C. Oeste Santafesino y en el corte de la Bajada del Rosario, se limitaron a los terrenos de la « formación pampeana » que asoman arriba del nivel de las aguas del río durante una fase de creciente. En ellos distinguió dos secciones : una inferior formada por « loess pardo » estratificado, con intercalaciones de bancos de tosca calcárea y capas lenticulares de « marga » palustre verdosa o grisácea ; y otra superior representada por un banco de « loess amarillo » cólico, diseminado de tosquillas calcáreas globosas o elípticas. Según Burckhardt, las dos secciones a veces pasarían una a la otra en transición gradual, otras estarían separadas por una superficie de erosión irregular, pero neta. Sobre las determinaciones cronológicas ya establecidas por Burmeister y Steinmann, atribuyó ambas secciones al Pleistoceno (*Diluvium*).

Posteriormente, E. de Carles estudió barrancas próximas, especialmente a la altura del pueblo de Alvear, al Sur de Rosario (3, pág. 246). El estado de estiaje del río en ocasión de su visita a la localidad, le permitió observar los sedimentos que forman la base de la serie visible en aquella localidad y que no habían sido observados por Burckhardt. Pudo reconocer, por lo tanto, un perfil más completo en el cual, de abajo arriba, reconoció los pisos siguientes :

a) Arenisca silícea blanca, estratificada, en parte ocreosa o manganesífera, muy probablemente representando la cumbre de la formación marina entrerriana, en su mayor espesor oculta debajo del río.

b) Arenas sueltas del Puelchense (subpampeano),

c) Margas lacustres verdosas, más o menos arenosas, con concreciones de ocre, limonita y óxido de manganeso, con restos de *Mastodon* y *Glyptodon*, del Preenenadense.

d) Loess amarillo claro, diseminado de pequeños tubitos y partículas negras irregulares, débilmente estratificado sobre todo en su parte inferior, con restos de *Sclerocalyptus ornatus*, *Tyotherium cristatum*, *Palaeolama weddelli*, *Canis* sp., etc., del Ensenadense.

e) Conjunto de capas sucesivas de loess amarillo, marga verdosa, arcilla roja y conglomerado fluvial de tosca, limo endurecido y marga verdosa ferruginosa, con restos de *Mastodon*, *Toxodon*, *Hippidium*, *Equus*, *Lestodon*, *Myodon*, etc., que atribuye al Belgranense.

f) Loess amarillo típico, con toscas ramificadas, con restos de *Megatherium* y *Glyptodon*, del Bonaerense.

g) Loess moreno oscuro amarillento, del Platense.

Entre los pisos enumerados para un perfil de alrededor de 20 m de altura los más importantes resultarían el Preenenadense, el Ensenadense y el Bonaerense, con espesores de 3 m, 5 m y 6 m, respectivamente.

De Carles discrepa con Burckhardt acerca de la edad de estos sedimentos que, siguiendo los criterios cronológicos de F. Ameghino, atribuye al Mioceno superior (b), al Plioceno inferior (c-d), al Plioceno medio (e), al Plioceno superior (f) y al Cuaternario (g), respectivamente.

En un estudio estratigráfico posterior, después de haber demostrado que la Serie entrerriana, desde el Entrerriense hasta el Puelchense inclusive, para su acumulación ocupó todo el Plioceno, y después de haber reafirmado sobre nuevos datos, la edad neozoica (pleistocena) del Pampeano en su totalidad, no pude adherirme a las determinaciones cronológicas de este autor; pero acepté sus conclusiones estratigráficas con leves modificaciones de acuerdo con las ideas que entonces sustentaba acerca de la nomenclatura de los diferentes horizontes de la Pampa, y de acuerdo con mis observaciones en diferentes puntos de la barrancas santafesinas. Entonces publiqué un perfil esquemático (4, págs. 220-223, fig. 30-A) en que figuraban los términos estratigráficos siguientes (fig. 2):

1. Entrerriense: arenas y areniscas silíceas blancas, más o menos coherentes, estratificadas en capas delgadas.

2. Rionegrense: arenas fluviales amarillas, estratificadas, cementadas por materiales ocráceos.

3. Puelchense: arenas sueltas de color pardo grisáceo, separadas de las arenas del nivel anterior por una superficie de erosión irregular.

4. Preensenadense: arcillas lacustres en capas lenticulares verduscas o amarillentas, con nodulitos y masas concrecionarias de limonita terrosa y óxido de manganeso; descansando sobre el nivel anterior en discondancia paralela.

5. Ensenadense: loessoide pardo oscuro, en partes amarillo claro, a veces diseminados de nodulitos limoníticos y de canalículos internamente eunegrecidos dejados por finas raíces de vegetales.

6. Belgranense lacustre: limos arcillosos verduscos, en largas lentes delgadas, en partes bancos de tosca calcárea.

7. Belgranense: loessoide pardo rojizo o amarillento, con numerosas tosquillas ramificadas y cavidades radicales negruzcas.

8. Prebonaerense: limo arcilloso con mezcla de limos loessoides pardos, formando en su conjunto un banco delgado.

9. Bonaerense: loess pardo amarillento claro, poroso, pulverulento, con tosquillas ramificadas, pero más a menudo redondeadas.

10. Lujanense: limo endurecido, de color pardo claro, poroso por numerosas cavidades de pequeños vegetales, con tosquillas ramificadas.

11. Platense: loess pardo oscuro amarillento, muy poroso.

12. Humus antiguo y actual.

Al mismo tiempo, Roth (16, pág. 277, lám. XV), al insistir sobre sus viejos conceptos acerca de la « formación pampeana », publicaba un perfil longitudinal de las barrancas del río Paraná en Rosario, en el cual se hallan gráficamente resumidas sus opiniones acerca de la constitución geológica de esta zona. En este perfil, en que Roth considera también un esquema del subsuelo rosarino basado en las perforaciones allí practicadas por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación, hasta la profundidad de 156 m, este autor creyó reconocer, de abajo arriba, los horizontes siguientes:

a) Infrapampeano (Oligoceno), loess con intercalaciones de marga limosa lacustre en la parte superior.

b) Entrerriano (Mioceno), arenas fluviales con varios niveles de arcilla y rodados distribuidos en su espesor.

c) Mesopampeano (Plioceno inferior), loess con intercalaciones de limos y margas lacustres.

d) Neopampeano (Plioceno superior), loess.

e) Postpampeano (Cuaternario), arena y arcilla limosa.

Según este perfil, los horizontes *a-b* (Infrapampeano y Entrerriano) permanecen en el subsuelo, debajo del nivel medio del caudal del río Paraná; los horizontes *c-d* (Mesopampeano y Neopampeano) forman el perfil de las altas barrancas fluviales, descendiendo con su base más o menos considerablemente debajo del nivel indicado; el horizonte *e* forma, en cambio, los sedimentos del hecho y las bajas terrazas del río y de los arroyos.

Los datos consignados en mi informe ya mencionado (8) fueron los resultado de observaciones posteriores realizadas en varias oportunidades y sobre todo en el mes de enero de 1925. Gracias a los medios puestos a mi disposición por los ingenieros J. Repossini, M. Sallovitz y C. Fraquelli, en esta última ocasión, además de realizar prolijos reconocimientos en las barrancas del puerto de Rosario y zonas contiguas, pude efectuar investigaciones complementarias en Villa Constitución, San Nicolás, Alvear, Puerto Obligado, San Pedro y Baradero. También pude examinar los materiales extraídos de numerosas perforaciones practicadas por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación en la margen del puerto rosarino y los informes acerca del problema en estudio producidos por el personal técnico de la « Sección Rosario » de la Dirección General de Navegación y Puertos.

Mis resultados en gran parte coincidieron con aquellos de Roth, discrepando sólo en algunos detalles y particularmente en la nomenclatura y la determinación cronológica de los diferentes horizontes. En cuanto a la interpretación cronológica de los diferentes pisos de las formaciones geológicas de Entre Ríos y de la Pampa, mis criterios y las razones que los sustentan ya fueron ampliamente tratados por mí en numerosas publicaciones especiales y también fueron resumidos brevemente en una publicación reciente (12, pág. 291-292). Por lo tanto, sólo recordaré que, en mi convicción, la serie de Entre Ríos (Entrerriano) corresponde al Plioceno y la serie de la Pampa (Pampiano en sentido amplio) al Neozoico (Cuaternario) en su totalidad, esto es, al Pleistoceno (Pampiano en sentido estricto) y al Holoceno (Post-pampiano).

Por lo que corresponde a la nomenclatura de los terrenos superficiales de la Pampa, en mi informe usaba todavía una terminología que luego abandoné en 1933. Esta terminología se basaba sobre el hecho de que en cada uno de los diferentes ciclos sedimentarios que pueden reconocerse en estos terrenos, además de una fase de reactivación erosiva (determinando los numerosos hiatos de la clasificación de F. Ameghino), podían reconocerse

dos fases de sedimentación: una primera, bajo clima relativamente frío y húmedo (pluvial), durante la cual se depositaron arenas, arcillas, hasta rodados (particularmente trozos rodados de tosquillas y toscas calcáreas, pero sobre todo de limos con aspecto de loess (loessoides)¹; y una segunda fase, bajo clima relativamente cálido y seco, durante la cual se acumuló un manto de loess verdadero, esto es, de loess eólico. Fincando en la nomenclatura ameghiniana, distinguía entonces los sedimentos de la primera fase aplicando el prefijo «pre» a los nombres que había usado F. Ameghino para los sedimentos de los principales horizontes pampianos y que yo consideraba propios de los depósitos de la segunda fase. Pero luego, un más atento examen de la realidad, si bien confirmó mi esquema en sus líneas generales, me demostró que tal complicación taxonómica resultaba superflua por dos motivos principales. En primer lugar por la confusión que pudiera originarse al dividir con dos nombres diferentes un conjunto que en realidad correspondía a un solo horizonte estratigráfico; en segundo lugar por la desproporción que existía entre los subpisos de cada horizonte considerados entre sí y en relación con los respectivos subpisos de los demás horizontes. En efecto, mientras que en algunos de éstos los sedimentos de la primera fase (limos) predominaban sobre aquellos de la segunda (loess), en otros a una fase de sedimentación húmeda realmente fugaz seguía una larga fase de sedimentación loésica. De esta manera vimos que en tres horizontes, Chapalmalense, Ensenadense y Lujanense, los aluviones detriticos, especialmente pelíticos (limos), forman la masa principal y esencial de sus depósitos, mientras en los demás, Bonaerense, Platense y Cordobense, este predominio está realizado por el loess.

Pude convencerme, además, de los hechos siguientes:

1º, el *Chapalmalense* no existe en la cuenca del Río de la Plata y en la zona cruzada por el río Paraná; en estas regiones, si al principio de la sedimentación pleistocena fuera depositado, sus sedimentos fueron destruidos luego por la excavación de los cauces respectivos, cuyo abondamiento llegó a afectar parcialmente la misma base terciaria, y más tarde reemplazados por los extensos y espesos aluviones del Ensenadense; por lo tanto, si en alguna parte de las provincias de Santa Fe y Buenos Aires (además que en su conocido yacimiento en la costa atlántica comprendida entre los dos cordones montañosos de esta provincia) han sido conservados, ellos deberán buscarse lejos de los grandes cauces, en las zonas más elevadas, formando parte de una terraza más alta que aquella ocupada por el Ensenadense;

2º, el *Preensenadense* no puede considerarse ni como un horizonte aparte ni siquiera como un subpiso del ciclo ensenadense, sino como el conjunto de los materiales con que se inició la sedimentación de este ciclo;

¹ En un trabajo especial (11) ya he tratado de establecer las características propias de ambas rocas, loess y limo-loessoide, y he analizado los caracteres principales que las diferencian.

3º, el Interensenadense, como indiqué en una nota especial (11), tampoco puede ser interpretado como un horizonte estratigráfico, por cuanto su exiguo espesor y extensión, su distribución y sus restos fósiles, lo indican como el exponente de un breve episodio dentro del ciclo ensenadense, durante el cual, por una disminución relativa y transitoria en la intensidad del encenegamiento de la gran hoya platense, las aguas del estuario remontaron un poco el curso del río, hasta la altura de la ciudad de Buenos Aires;

4º, el Belgranense tampoco puede revestir la jerarquía de horizonte estratigráfico; en la costa del actual estuario y del Atlántico es una simple facies (de playa y medanosa) del Bonaerense en el interior eminentemente loésico; y los sedimentos cenagosos que, en las barrancas del río Paraná, habían sido homologados con el Belgranense de Buenos Aires, en realidad corresponden a la parte superior del Ensenadense;

5º, el Prebelgranense, evidentemente como corolario de la afirmación anterior, también desaparece para incorporar sus sedimentos cenagosos al Ensenadense que, de esta manera, llega a representar un horizonte prácticamente indivisible que comprende los sedimentos anteriormente indicados con los nombres de Preensenadense, Ensenadense basal, Interensenadense, Ensenadense cuspidal y Prebelgranense;

6º, el Infrabonaerense o Prebonaerense también desaparece como entidad estratigráfica y se incorpora al Bonaerense.

Con estas modificaciones en la nomenclatura de la Serie pampiana¹, reproduzco los perfiles ya publicados en mi artículo anterior. En estos perfiles queda suprimida la cubierta de humus, así como también los sedimentos post-pampianos, que por lo común no se han conservado sobre el borde de las altas barrancas o permanecen en residuos insignificantes y de ninguna importancia para los problemas que aquí se discuten. También quedan suprimidos los depósitos actuales del río, los rellenos de excavaciones, recientes, las acumulaciones de escombros y derrumbes actuales.

Como ya he anticipado en la síntesis general que encabeza estas notas, en el tramo que corresponden al puerto de Rosario, los perfiles están integrados por sedimentos de las dos series entrerriana y pampiana, que examinaremos separadamente.

ENTRERRIANO

Como puede observarse en el perfil longitudinal general (fig. 2), en el puerto de Rosario el Entrerriano se halla por completo debajo del cero hidráulico local (3,12 m sobre el cero del Riachuelo) y sólo en raros puntos se alcanza a observarlo directamente, apenas en sus capas más altas, durante las bajantes extraordinarias del río. Según el resultado de las perforaciones,

¹ Para las modificaciones de nomenclatura y de concepto que conciernen los horizontes post-pampianos, no considerados en los perfiles en cuestión, véanse mis recientes escritos sobre cuestiones pampeanas.

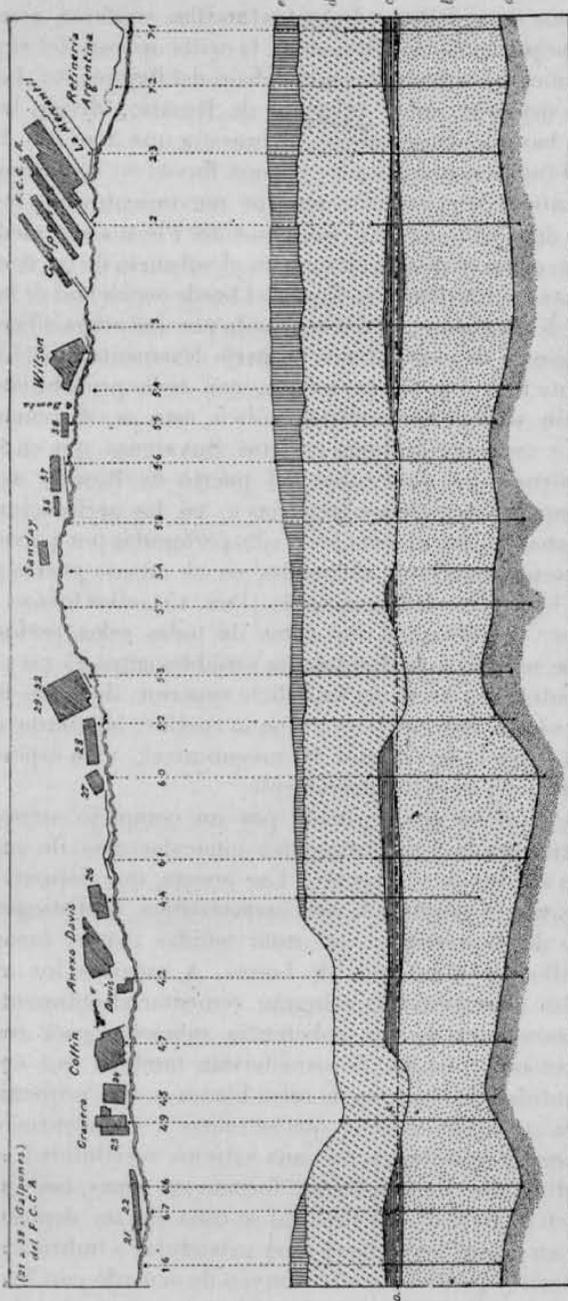


Fig. 2. — Perfil geológico de las barrancas y del subsuelo de la zona norte del puerto de Rosario, según observaciones directas y el resultado de las perforaciones : a, Enterrriense ; b, Rionegrense ; c, Ensenadense inferior (Preenmadense) ; d, Ensenadense ; e, Bonaerense ; σ , nivel hidráulico. Escalas : horizontal, 1 : 12.000 ; vertical : 1200.

está constituido sólo por dos horizontes: Entrerriense y Rionegrense. Esto es, aquí faltan restos de aquellos sedimentos (arcillas yesíferas, arenas y toscas del Puelchense que en Entre Ríos, sobre la orilla opuesta del río Paraná, remata la serie pliocena, inmediatamente debajo del Pampiano). La superficie irregular pero neta que, en el subsuelo de Rosario, divide las arenas entrerrianas de la base del Ensenadense, demuestra que aquí este horizonte plioceno cuspidal fué destruido por la erosión fluvial en las fases de ahondamiento de los cauces determinadas por los movimientos que levantaron la Pampa al final del Cenozoico y a comienzos del Pleistoceno medio.

El Entrerriense, como el que se observa en el subsuelo de las demás localidades santafesinas distribuidas a lo largo del borde occidental de la antigua ingresión marina de esta época, está constituido por una arena silicea suelta, compacta, homogénea, de color blanco en parte levemente amarillento, de grano generalmente fino. Por sus caracteres, con toda probabilidad en su mayor parte es un sedimento psamítico eólico, esto es, el remanente de extensos arenales y cordones de dunas costeras. Sus arenas, que en los informes oficiales relativos a los derrumbes del puerto de Rosario se indican como « arenas limpias » o « arenas terciarias », en las perforaciones estudiadas por mí, apenas fueron alcanzadas o sólo perforadas por pocos metros. Pero, en perforaciones anteriores efectuadas en el mismo puerto (14) y en la perforación de la Cervecería Rosario (16), (lám. 15), ellas fueron cruzadas en todo su espesor. Coordinando los datos de todas estas perforaciones, resulta que su base se halla a profundidades variables entre 25,70 y 31,60 m debajo del cero hidráulico local, su superficie superior, del todo irregular, (fig. 2), oscila desde un minimum de 17,92 m (perfor. 53) hasta un maximum de 23,33 m (perfor. 60) debajo del mismo nivel, y su espesor puede calcularse entre 27 y 32 m aproximadamente.

El Rionegrense también está formado por un complejo arenoso, pero evidentemente estratificado y con frecuentes intercalaciones de capas arcillosas a diferentes alturas de su espesor. Las arenas, que forman la masa principal del depósito, y también la más característica, se distinguen fácilmente de aquellas del Entrerriense por estar teñidas más o menos intensamente en amarillo por hidróxidos de hierro. A menudo los materiales limoníticos son tan abundantes que logran cementar el sedimento en una arenisca, si bien raramente de una coherencia suficiente para resistir con eficiencia a las acciones erosivas. Se caracterizan también por contener a menudo cierta cantidad de hojuelas de mica blanca y una pequeña proporción de materiales arcillosos. Por lo que se refiere a su constitución y textura, el Rionegrense se caracteriza por una extrema variabilidad en la distribución de los diferentes materiales que forman sus capas, tanto en sentido horizontal como en el vertical. En realidad se trata de un depósito fluvial de estratificación en capas lenticulares muy extendidas e imbricadas, cuyos elementos psamíticos y pelíticos se distribuyen de acuerdo con las variaciones de la fuerza viva de la corriente en los diferentes momentos de las osci-

laciones de su caudal y con las divagaciones de sus meandros dentro de un lecho amplio y atascado por sus propios aluviones. El perfil esquemático adjunto (fig. 13), que coordina los datos de las perforaciones 57 a 60, da una idea de esta textura y de tal variabilidad. Como un ejemplo, agregaré que la perforación 44, en el trecho que interesa este horizonte, de arriba abajo, cruzó los niveles siguientes :

- 0,65 a — 2,10, arena de cuarzo fina y mediana, ocrácea, en parte cementada por limonita en arenisca relativamente dura ;
- 2,10 a — 3,35, arena amarillenta fina, homogénea, suelta ;
- 3,35 a — 3,93, arena grisácea fina en parte ligada por cemento limonítico ;
- 3,93 a — 4,25, arena ocrácea fina y mediana con intercalaciones de capas delgadas de arcilla gris verdosa ;
- 4,25 a — 4,83, arcilla arenosa gris-verdusca con pequeños rodados de arenisca de color herrumbre ;
- 4,83 a — 5,43, arena fina y finísima, amarillenta, suelta ;
- 5,43 a — 5,63, arcilla gris-verdosa ;
- 5,63 a — 6,11, arena fina y mediana, gris amarillenta, suelta ;
- 6,11 a — 6,71, arcilla gris verdosa ;
- 6,71 a — 7,01, arena mediana y gruesa, ocrácea, suelta, con pequeños rodados de arcilla endurecida verdusca ;
- 7,01 a — 7,41, arcilla de color amarillo ocre, compacta ;
- 7,41 a — 9,25, arena fina y finísima, amarillenta, suelta ;
- 9,25 a — 9,97, arena fina y mediana, amarillenta, suelta ;
- 9,97 a — 10,37, arena finísima, fina y mediana, pardo-amarillenta, suelta ;
- 10,37 a — 10,67, arena fina y gruesa, pardo-amarillenta, suelta ;
- 10,67 a — 10,94, arcilla de color verde pardusco ;
- 10,94 a — 11,74, arena sumamente fina, pardusca, homogénea, suelta ;
- 11,74 a — 12,14, arena anterior flúida ;
- 12,14 a — 13,01, arcilla verde pardusca ;
- 13,01 a — 13,81, arena amarilla fina y finísima, arcillosa ;
- 13,81 a — 14,88, arena anterior flúida ;
- 14,88 a — 17,72, arena gruesa con gravilla de calcedonia y partículas ocráceas, suelta ;
- 17,72 a — 18,22, arena gruesa y fina, amarillenta, suelta ;
- 18,22 a — 18,82, arena gruesa con gravilla y pequeños rodados de calcedonia y cuarzo, suelta.

En su conjunto, por los datos de ésta y de las demás perforaciones, se deduce que este complejo está formado por una serie de capas de arenas de grano diferente, sueltas o apenas ligadas por materiales arcillosos, a veces con gravillas, gravas y cantos rodados pequeños, especialmente en las capas inferiores, alternando con capas lenticulares de arcilla y de arenas flúidas, en estratificación imbricada. Por todos sus caracteres resulta, sin duda, un depósito fluvial análogo al que las perforaciones hallaron en el subsuelo de

Los alrededores de la ciudad de Santa Fe (5, pág. 195) y al que directamente se observa en el perfil de las altas barrancas entrerrianas que forman la margen opuesta del río Paraná (4, pág. 105; 5, pág. 195). Su límite superior casi coincide con el nivel del cero hidráulico, mientras su límite inferior, que se amolda a las irregularidades de la superficie del Entrerriense, se halla a profundidades variables de — 17,92 a — 23,33 m. Su espesor, en las perforaciones consideradas, oscila entre 11,91 m (perfor. 45) a 24,83 m (perfor. 60). De estos datos se deduce que el cauce del río Paraná frente a Rosario, con profundidades de hasta 40 m en aguas bajas, está completamente excavado en estas arenas, alcanzando y afectando a veces más o menos profundamente las subyacentes arenas entrerrienses.

PAMPIANO

En la zona del puerto de Rosario, análogamente a lo que ocurre a lo largo de todo el largo desarrollo de las barrancas de este lado del río Paraná, desde Santa Fe hasta su desembocadura en el estuario platense, el Pampiano forma todo el perfil de los acantilados, arriba del cero hidráulico local. De acuerdo con la clasificación y la nomenclatura adoptada, sólo se compone de dos horizontes (Figs. 2 a 5): Ensenadense (Pampiano medio) y Bonaerense (Pampiano superior).

El Ensenadense está formado por un complejo cenagoso indecisa e irregularmente estratificado, en que de una manera muy variada lateral y verticalmente se alternan :

- p*, arenas arcillosas gris-verdosas o gris-parduscas ;
- a*, limos pardos conglomerádicos ;
- b*, limos claros de color gris o gris verdusco ;
- c*, limos arenosos compactos de color pardo ;
- d*, bancos de tosca calcárea de color gris claro hasta gris muy oscuro ;
- e*, limos arcillosos compactos, de color pardo amarillento o rojizo ;
- f*, limos compactos y homogéneos, de color pardo claro ;
- g*, limos arcillosos pardos claros ;
- h*, limos arcillosos pardos oscuros ;
- i*, tosca calcárea en capas irregulares e irregularmente alternando con capas de limos pardos.

El conjunto forma una unidad estratigráfica indivisible, en la cual las superficies divisorias, siempre irregulares pero a menudo netas, generalmente simulando planos de discordancia paralela y hiatus, que se intercalan a cualquier altura de los diferentes perfiles, no son sino superficies de supererosión de canales y meandros divagantes que, especialmente durante fases de estiaje, surcaban nuevamente aquí y allá los sedimentos cenagosos del amplísimo talweg, durante los diferentes momentos del proceso de encañamiento.

Sin embargo, podemos dividir esquemáticamente el complejo en tres niveles superpuestos.

El nivel inferior corresponde al Preensenadense de F. Ameghino. Descansa directamente sobre la superficie superior del Rionegrense, de la cual lo divide una superficie algo irregular y neta. En general se compone de un limo muy arenoso estratificado en capas generalmente delgadas e irregulares, de textura típicamente fluvial. Sus materiales derivan principalmente de remociones y resedimentaciones de los elementos del complejo arenoso subyacente : en efecto, sus componentes esenciales son arena de cuarzo con numerosas hojuelas de mica blanca y arcilla verdosa, entre sí mezclados en proporciones diversas. Pero no falta nunca con ellos cierta cantidad, a veces escasa otras abundante, de aquellos materiales pelíticos formados por gránulos de silicatos complejos y amorfos, que caracterizan todo sedimento pampiano. La presencia de estos materiales confiere al depósito un tinte pardo, más o menos subido según su proporción en cada capa. Las capas de este nivel difieren, además, de aquellas del Rionegrense por el grano de de sus arenas siempre sumamente fino, como si procediera de una levigación de aguas de muy escasa corriente o que sólo pudo arrastrar y depositar granos arenosos largamente elaborados. En fin, sus materiales, si bien al desecarse se hacen fácilmente friables, cuando húmedos se presentan como una roca bastante compacta y coherente.

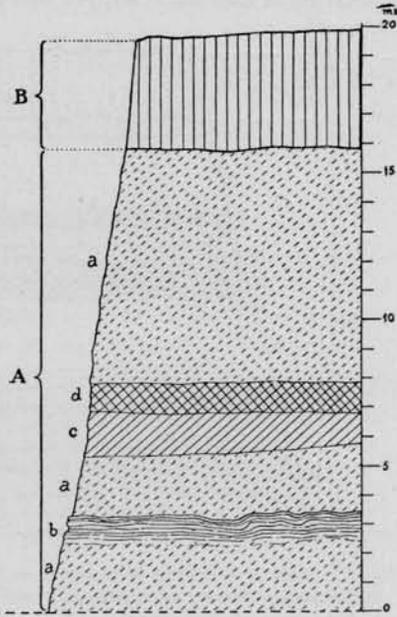


Fig. 3. — Perfil de la barranca de la zona norte de puerto de Rosario a la altura del embarcadero de « La Mercantil Argentina » : A, Ensenadense ; B, Bonaerense (explicación en el texto).

En sus detalles, este nivel basal resulta un sedimento fluvial estratificado, en cuyo espesor alternan entre sí capas de limos arcillosos gris-verduscos, de arcilla arenosa verdosa o pardusca, de arena amarilla casi suelta y de limo arenoso pardo. Su base oscila alrededor del nivel del cero hidráulico desde el cual a veces desciende (como máximo $-0,95$ m en la perfor. 3) y otras remonta (como máximo $+0,87$ m en la perfor. 57). Su superficie superior como máximo llega hasta $2,63$ m (perfor. 60) sobre el mismo nivel hidráulico. Debido a su posición, durante las bajantes del río, la parte superior del depósito o todo su espesor queda al descubierto y expuesto a

la observación directa en la base de las barrancas. A raíz de procesos locales de supererosión, en algunos puntos este nivel basal ha desaparecido, mientras en otros tiene espesores variables, alcanzando un máximo de 3,33 m (desde - 0,95 hasta + 2,38) en la perforación 3.

El nivel medio en su mayor parte podría identificarse con la « tosca del Río de la Plata », esto es, con el Ensenadense basal de F. Ameghino. En general forma la masa principal del perfil de las barrancas, con un espesor variable de 8 a 12 m. Se destaca bastante bien del nivel anterior por su estratificación más indecisa, por una proporción mucho menor de elementos

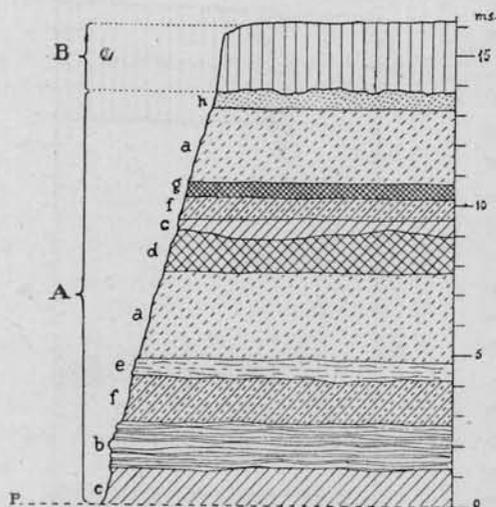


Fig. 4. — Perfil de la barranca de la zona norte del puerto de Rosario a la altura del embarcadero de « Sanday y Cia » : A, Ensenadense ; B, Bonaerense.

arenosos, por sus toscas y tosquillas calcáreas y por su color más pardo. En cambio se destaca mucho menos del nivel superior del mismo complejo al cual pasa en transición o por interposición. Como en las demás localidades de la margen derecha del río Paraná, su masa principal se compone de los característicos limos pardos, a veces con tintes rojizos otras grisáceos, que Burckhardt ha indicado como « loess brun ». Son limos más o menos endurecidos, porosos, diseminados de cavidades ennegrecidas dejadas por las raíces de vegetales herbáceos y de tosquillas calcáreas ramificadas o botrioides. Su característica principal,

en la mayor parte de las capas cenagosas, consiste en que su material no está formado por un limo fino y homogéneo, sino por un conglomerado de fragmentos pequeños o muy pequeños, ordinariamente algo rodados, de diferentes toscas y limos endurecidos, distribuidos caóticamente dentro de la masa pelítico-arenosa del limo que, en mayor o menor proporción, actúa de substancia intersticial. Pero, entre bancos de este limo de textura conglomerádica, se intercalan, sin orden definido, bancos y capas de los diversos materiales ya indicados (de *b* a *i*) en la lista anterior.

Entre éstos, los limos grises o gris-verdosos (*c*), cuya estratificación ordinariamente es lenticular como si se hubieran depositado en la cuenca de pequeñas lagunas, charcos o remansos, y cuyo color es debido a una elevada hidrolización de los pigmentos férricos, corresponden a los materiales que Burckhardt (2, pág. 154) y de Carles (3, pág. 249 y perfil) han indicado como « marga ». No se trata, sin embargo, de arcillas calcaríferas;

son limos, en cambio, con leve proporción de verdadera arcilla coloidal y ordinariamente carentes en absoluto de todo vestigios de carbonato de calcio. Este, como siempre en los limos pampianos, se halla sólo al estado concrecionado en forma de bancos irregulares, que representan zonas de cementación de antiguas napas freáticas, o de pequeñas masas (tosquillas) como productos diagenéticos que se formaron en el cieno mediante un mecanismo ya conocido (6, págs. 46-51 ; 7). En las barrancas del puerto de Rosario a menudo estas tosquillas radicales, grandes o pequeñas, son particularmente abundantes, sobre todo en los limos pardos y en los limos

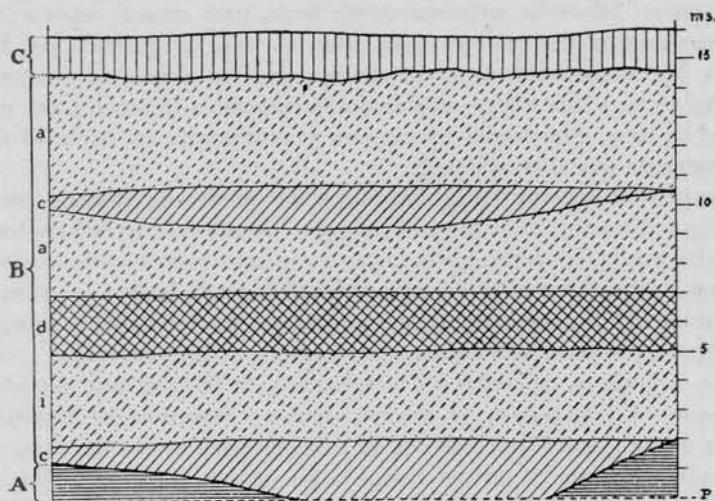


Fig. 5. — Corte de la barranca de la zona norte del puerto de Rosario entre el galpón 21 y la extremidad septentrional del muelle del F. C. C. B.: A, Ensenadense inferior (Preensenadense); B, Ensenadense; C, Bonaerense.

gris-verdoso, en estos últimos a veces reunidas más o menos ampliamente entre sí hasta formar verdaderos bancos.

Los perfiles esquemáticos adjuntos (figs. 3-5) dan una idea aproximada de la distribución de los diferentes materiales que constituyen la sección media del Ensenadense en estas barrancas: en ellos las letras minúsculas corresponden a los diversos materiales indicados con las mismas letras en la lista anterior (pág. 18).

La sección superior del horizonte está constiuída por los mismos materiales, pero con evidente predominio de los limos *a* (limos pardos conglomerádicos), rematados por un banco de limos *h* (limos arcillosos pardos oscuros). Estos últimos, que a menudo han desaparecido por denudación, son finísimos, homogéneos y compactos, representando la fase final del ciclo sedimentario, cuando el cauce ya atrófico sólo abrigaba charcos y pantanos de aguas turbias estancadas o casi estancadas.

Por su constitución, difícil sería establecer una división segura entre esta

sección superior y la sección media ; pero siempre es posible notar que, en la parte superior del complejo, los materiales sedimentados van haciéndose más finos y más uniformes, en relación con el envejecimiento del cauce y con los primeros síntomas de un cambio en el clima, que se hizo ya árido en el ciclo siguiente.

Consideradas en conjunto, estas dos secciones forman un complejo cenagoso dentro de una amplia cuenca de desborde fluvial, en el llano de aluvión de un gran río que de maduro pasa a decrepito. Su considerable espesor indica claramente que su acumulación se efectuó durante una fase de descenso general del suelo, suficientemente lento para que el espesor de los aluviones acumulados pudiera compensar el valor altimétrico del hundimiento. De esta manera, al mismo tiempo que los depósitos mantenían el nivel del lecho a una altura constante con respecto a la sección del perfil y al nivel de base, aumentaba su espesor y progresaba en ancho el área de sedimentación por ellos abarcada.

Su superficie inferior, en las barrancas del puerto de Rosario, se apoya sobre los sedimentos de la sección inferior : donde ésta ha sido sobreexcavada, ella puede descender hasta llegar a contacto con las arenas del Rio-negrense, debajo del nivel del cero hidráulico local, hasta $-1,90$ m en la perforación 45. Su superficie superior, a su vez afectada más o menos profundamente por erosiones antiguas y recientes, es muy irregular, variando desde $+ 4$ hasta $+ 16$ arriba del mismo cero. Se deduce, por lo tanto, que el espesor del conjunto de la sección media y superior del Ensenadense alcanza un máximo de 18 m, en su máxima parte arriba del nivel medio de las aguas del río. Se deduce también que cuando la altura de los acantilados llega a su máximo de 21 m, la máxima parte del perfil de las barrancas está constituida por los materiales cenagosos, compactos y pesados, de este horizonte.

En los alrededores de Rosario, como en general a lo largo de todas las barrancas de este borde del río Paraná, el Ensenadense es muy escasamente fosilífero : en su sección media sólo pude hallar un fragmento del maxilar derecho de *Hippidion principalis* (Lund) Owen, con sus tres últimos molares, un trozo de la defensa de *Stegomastodon platensis* (Amegh.) Cabr. y muelas aisladas de *Viscaccia* sp. En el mismo horizonte, Burckhardt señaló restos de *Viscaccia spicata* Amegh. (2, pág. 169).

El Bonaerense, debajo del humus y de insignificantes depósitos post-pampianos, forma la parte más alta de los acantilados, naturalmente ahí donde éstos conservan suficiente altura. En cambio, donde actuaron más o menos intensamente las acciones erosivas recientes (post-pampianas y modernas) este horizonte ha sido destruido parcial o totalmente. Donde permanece, está siempre constituido por un banco de color pardo claro con tinte amarillento o, más a menudo, rojizo, de un loess eólico, homogéneo, levemente calcarífero, fácilmente friable en un polvo finísimo, ténue. El banco no presenta vestigios de estratificación alguna y el material es un

verdadero loess en la acepción más estricta de este término petrográfico, y dentro del concepto puntualizado por mí en un trabajo destinado a diferenciar esta roca de los limos cuaternarios de nuestra pampa que en mucho se le parecen (6). Corresponde al horizonte que Burckhart ha indicado como « loess jaune » (2, pág. 252 y perfil geológico). Su masa está diseminada de finos canaliculos radicales y a veces contiene pequeñas tosquillas calcáreas nodulares. Hasta ahora se ha mostrado completamente estéril en fósiles macroscópicos. A pesar de que el Bonaerense descansa sobre la superficie irregularmente denudada del Ensenadense, su base puede establecerse en 14 y 16 m sobre el nivel del cero hidráulico local. Su espesor máximo es de 4 m aproximadamente, si bien raramente lo alcance. Su parte superior está generalmente alterada en lehm por espesores variables.

En resumen, la constitución geológica de la margen del río Paraná en el puerto de Rosario y zonas contiguas es muy sencilla, pero muy importante para los fines de este artículo: sobre una base deleznable de arenas pliocénicas sueltas gravitan alrededor de 20 m de sedimentos pleistocenos (limos y loess) compactos y pesados.

No me detendré en un análisis comparativo minucioso de los perfiles publicados por mis predecesores. Las diferencias entre éstos y mis perfiles, que ya discutí oportunamente, son de carácter puramente teórico y residen principalmente en divergencias acerca de la interpretación estratigráfica y cronológica de los sedimentos pampianos. De todos modos ellas no modifican en absoluto los términos del problema.

LAS CAUSAS DEL DERRUMBAMIENTO

Mucho se ha dicho y mucho se ha escrito acerca de las causas de los derrumbes de las barrancas de la zona del puerto de Rosario, derrumbes que se iniciaron ya al poco tiempo de haberse construído el puerto y que siguen todavía determinando serios trastornos y pérdidas cuantiosas. Entre las diversas suposiciones vertidas, algunas carecen de fundamento, otras resultan insuficientes para explicar el fenómeno. El reciente artículo del ingeniero Soulages estudia muy prolijamente el problema desde varios puntos de vista, pero quizás atribuye una excesiva importancia a las causas que derivan de la intervención humana, esto es, a la ineficacia de las obras de defensa adoptadas y a los errores en el criterio que guió el gobierno hidráulico de aquel tramo fluvial. No hay duda alguna de que también estas causas han intervenido de una manera más o menos eficiente, pero seguramente en un grado relativamente exiguo frente a las demás causas concurrentes.

En realidad se trata de un problema fácil de analizar, pero difícil de resolver por la complejidad y la magnitud de los factores que lo determinan. Esquemáticamente podemos considerar que estos factores son de cuatro órdenes diferentes: morfológico, geológico, hidráulico y humano.

FACTORES MORFOLÓGICOS

No puede haber duda alguna acerca de que la forma del cauce del río frente a Rosario y la forma de la margen rosarina de este tramo fluvial intervienen como factores de la mayor importancia. El cauce describe allí un amplio meandro con orilla cóncava sobre el lado rosarino y la margen cae al río con un frente de acantilados vivos, casi verticales o completamente verticales. Se combinan, por lo tanto, dos formas físicas ambas sumamente inestables. El ingeniero Soulages ha insistido muy oportunamente sobre las causas naturales que han determinado cambios profundos de aquel tramo, sucesivamente desde 1847 hasta la fecha; pero, para puntualizar las causas físicas de estos cambios y sacar criterios para retardar, a lo sumo, la evolución morfológica natural del río en ese punto debemos conceder una atención particular a las condiciones apuntadas.

Es muy sabido que todo meandro fluvial, desde el momento que se determina, sigue un proceso migratorio según dos direcciones predominantes: lateral y longitudinal. La migración lateral, que, de las dos direcciones, es la más activa, se efectúa hacia el lado cóncavo, sobre todo en su punto de choque que, en el caso particular y en el momento de la observación, correspondía a un punto situado aproximadamente entre los edificios de Aguas Corrientes y de la Refinería Argentina. La migración longitudinal progresa con rumbo hacia la dirección de la corriente, esto es, hacia la desembocadura y afecta el segmento de la misma curva que va desde el punto mencionado hasta el comienzo de la convexidad del meandro subsiguiente y que, en nuestro caso, coincidía con aquel trecho que corre desde la altura de Aguas Corrientes hasta la extremidad Norte del muelle del Ferrocarril Central Argentino. La reciente caída del terraplén del F. C. C. A. demuestra que este segmento ya se ha desplazado un poco aguas abajo.

Ambas direcciones migratorias, o mejor dicho la dirección de migración que resulta de la combinación de las dos tendencias consideradas, dependen de acciones hidráulicas bien conocidas y en las cuales insistiré luego.

A lo largo del mismo trecho en que inciden estas acciones, hallamos también los acantilados verticales (figs. 6-7), cuya existencia está precisamente condicionada por el activo proceso de erosión lateral y longitudinal del mismo meandro. Su forma depende directamente de este proceso y es un hecho consabido que siempre ahí donde existen barrancas que caen a pique, en la costa de los ríos como en las del océano, se va realizando un retroceso costero más o menos rápido en relación directa con la magnitud del dinamismo que lo determina y en relación inversa a la resistencia de las rocas que se le oponen. Toda barranca en tales condiciones, fatalmente retrocede y en un lapso más o menos breve, con el concurso de los demás agentes esógenos, está destinada a ser substituída por un plano inclinado, cuya pendiente, definida por el límite del poder destructor de las acciones diná-

micas externas que actúan localmente, se reduce hasta que la resistencia del terreno se halle en equilibrio con las fuerzas que la determinan. En la región pampeana, en relación con la escasa resistencia de las rocas de su superficie, en tiempos recientes estas condiciones de equilibrio llegaron a

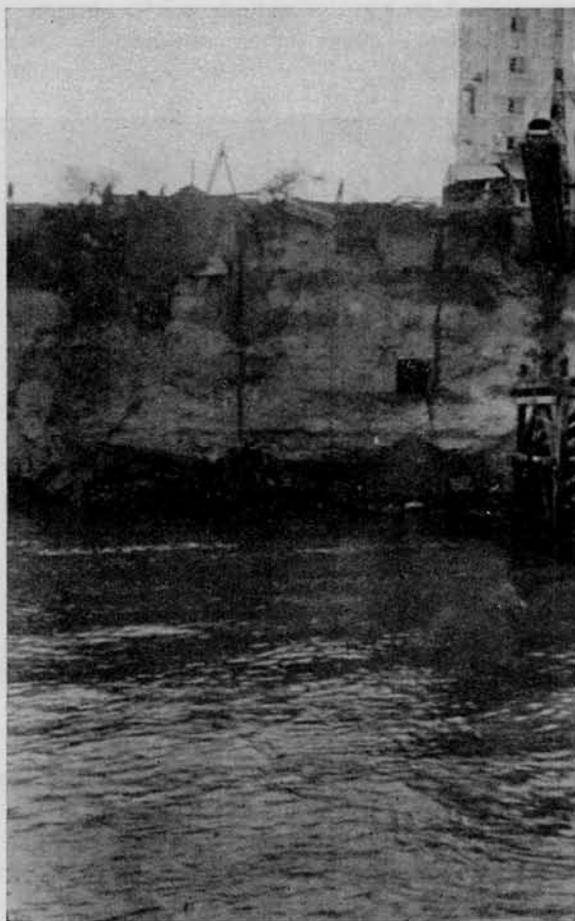


Fig. 6. — Barranca vertical en la zona norte del puerto de Rosario, en derrumbe

establecerse mediante pendientes sumamente suaves (displayados), durante las sucesivas fases de maduración de los cauces que se repitieron después de cada fase de levantamiento. En toda esta vasta región vemos, en efecto, amplísimos valles pampianos y post-pampianos sumamente maduros, cuyas vertientes desde el fondo de la depresión se coordinan con el nivel de la llanura según planos de inclinación casi insensible. Y si a menudo, en

el fondo de estos valles chatos por el cual ha vuelto a reactivarse el drenaje actual, vemos nuevamente excavarse barrancas fluviales (a menudo con encajonamiento de meandros) el hecho únicamente se debe al inicio de un nuevo ciclo erosivo sumamente reciente, que se iniciara al final de la sedimentación post-pampiana y que sigue todavía.

Es este rejuvenecimiento erosivo actual, que ha ahondado nuevamente los cauces a lo largo del eje de los valles pampeanos sumamente maduros y que ha provocado la incisión de las terrazas post-pampianas en los alu-



Fig. 7. — Base de la barranca de la figura anterior

viones lujano-platenses para coordinar los perfiles de equilibrio con el nivel general de base descendido, el que también provoca la destrucción de las nuevas barrancas, en continuo retroceso por el progresivo ensanche de los talwegs y la migración de los meandros encajonados en sedimentos sumamente deleznable.

A los efectos de esta fácil erosión, para una rápida maduración de estos cauces reactivados se suma la acción destructora del viento (deflación) y de los escurrimientos pluviales (corrasión).

FACTORES GEOLÓGICOS

Los factores genéticos dependen de la naturaleza y origen de los sedimentos que forman los mismos acantilados. Hemos visto que las barrancas del puerto de Rosario se componen de varios horizontes geológicos de materia-

les diferentes. Para nuestro objeto, éstos pueden dividirse en dos series : una superior (pampiana) constituida por materiales relativamente compactos y pesados (loess, limos loessoides, toscas) y otra inferior (entrerriana) en su mayor espesor formada por materiales incoherentes, completamente sueltos (arena suelta o levemente arcillosa, arena flúida). Hemos visto también que mientras la serie superior en su totalidad se desarrolla arriba del cero hidráulico local, la serie inferior se encuentra completamente sumergida debajo del mismo nivel.

Tenemos, entonces, que en el trecho entre Aguas Corrientes y la extre-

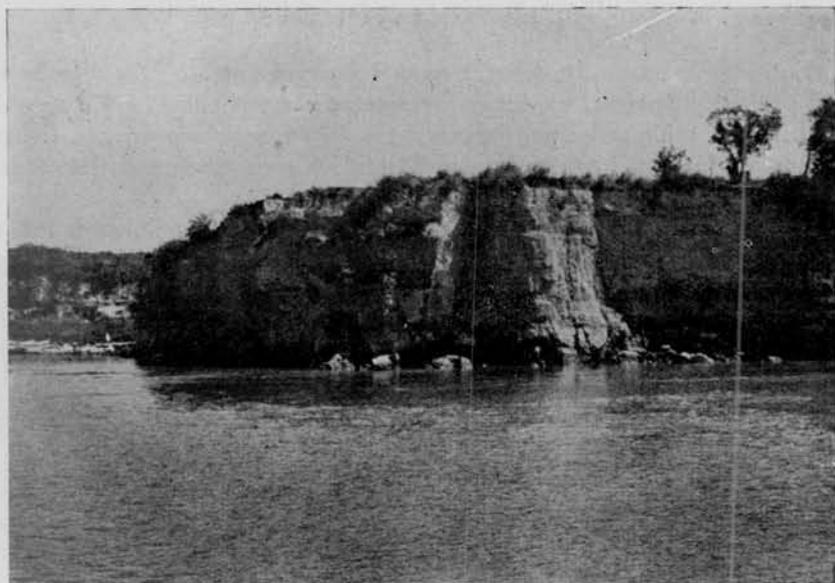


Fig. 8. — Bloque próximo a derrumbarse en las barrancas del río Paraná cerca del puerto nuevo de San Nicolás

midad Norte del Ferrocarril Central Argentino, esto es, ahí donde precisamente los factores morfológicos concentran el ataque erosivo, la base de las barrancas ofrece materiales de resistencia mínima.

En tales condiciones, el socavamiento de esta base y la caída de bloques de las superpuestas rocas pesadas son procesos rápidos, especialmente si los consideramos en relación con la magnitud del dinamismo que localmente interviene.

Los mismos fenómenos de socavamiento y derrumbe no son exclusivos de este trecho, sino que se repiten con intensidad y en amplia escala en todos los puntos de las riberas del río Paraná que se hallan en las mismas condiciones. Sobre este particular ya oportunamente había llamado la atención Repossini (15). De mi parte sólo agregaré que los desmoronamien-

tos, además de reconocer como causa principal la acción erosiva de las aguas sobre un lecho y márgenes fácilmente socavables, son favorecidos también por la tendencia de los superpuestos sedimentos pampianos a agrietarse con facilidad en grandes paralelepípedos según planos normales a la superficie de sedimentación. La figura 8 da una idea muy clara de esta característica: la fotografía muestra uno de estos paralelepípedos ya casi completamente separado de la masa de la barranca cerca del puerto de San Nicolás y ya próximo a derrumbarse.

FACTORES HIDRÁULICOS

Entre las causas que concurren para el derrumbamiento en la zona Norte del puerto de Rosario, un lugar preminente corresponde a los factores hidráulicos condicionados por los caracteres del cauce del río y las particularidades de su caudal en esta localidad. Los factores causales de este orden pueden dividirse en naturales y artificiales.

Las causas naturales dependen principalmente de la condición de mean-

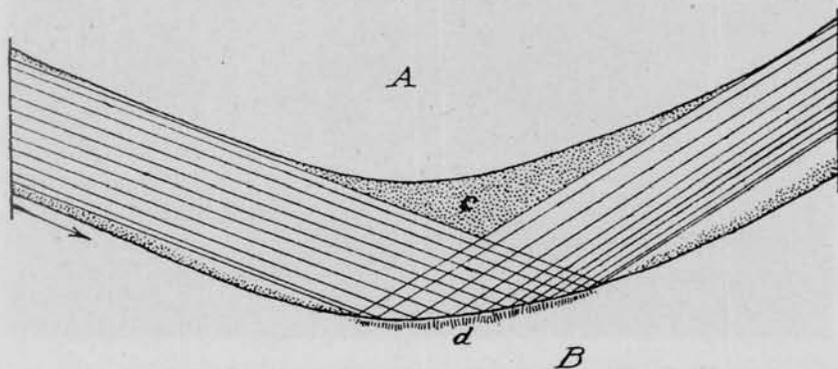


Fig. 9. — Meandro fluvial (esquema): A, borde convexo; B, borde cóncavo
c, banco aluvional; d, barrancas vivas

dro del Paraná frente a Rosario. En todo meandro, se repiten siempre las mismas circunstancias bien conocidas y esquematizadas en el croquis adjunto (fig. 9). Los diversos filetes en que teóricamente podemos dividir la vena líquida, siguiendo un curso rectilíneo, encuentran la ribera cóncava contra la cual chocan bajo un ángulo determinado y desde el cual son reflejados (según la ley del ángulo de reflexión igual al de incidencia) según un ángulo igual, hacia la ribera opuesta que alcanzan en la concavidad del meandro sucesivo. Ahí donde encuentran el obstáculo que los desvía, ellos transforman parte de su fuerza viva en un efecto erosivo, destinado a destruir el obstáculo. De este modo, en el punto de choque ellos socavan la ribera y acentúan la concavidad del meandro con una intensidad directamente pro-

porcional a la velocidad y a la masa de la vena líquida e inversamente a la resistencia de los materiales que forman el obstáculo. Al mismo tiempo la curvatura de la orilla y el choque mismo entre filetes reflejados determinan movimientos rotatorios que contribuyen eficazmente al ahondamiento del fondo y al socavamiento de la orilla misma. Por consiguiente, sobre este lado cóncavo B, la « botta » de los hidráulicos italianos, se formará una barranca *d* en activo y progresivo retroceso. En cambio, sobre la opuesta rivera convexa A, la « spiaggia » de los mismos hidráulicos, se establecerá un ángulo muerto donde, una notable disminución en la velocidad de la corriente provocará una activa sedimentación, con consecutiva formación de un banco aluvional *c* en continuo incremento.

En el caso particular, vimos ya que la « botta » se localiza en el trecho entre Aguas Corrientes y el muelle del Ferrocarril Central Argentino, trecho contra el cual, en el momento de la observación chocaba el 78 % del caudal del río Paraná. En cambio, la « spiaggia » correspondía a la antigua entrada del Canal Oriental (fig. 10), entre las islas de la Invernada y del Espinillo, donde se halla el Banco de la Invernada, cuya extremidad SW avanzó unos 950 m aguas abajo durante el período 1899 a 1915.

Pero, en nuestro caso, intervienen además otras condiciones hidráulicas sumamente desfavorables. Me refiero a aquéllas determinadas por el considerable estrechamiento del cauce en el punto de salida del Canal Occidental y el brusco ensanchamiento del sucesivo Canal de los Muelles (figs. 10, 14 y 15).

Si bien en la actualidad las condiciones se hallan a poco modificadas por reactivación natural del Riacho de la Invernada (entonces un brazo ciego en forma de bolsón) estas condiciones desfavorables persisten aún. El brusco estrechamiento del Canal Occidental determina localmente un cauce de sección evidentemente insuficiente y en vía de regularización mediante un activo ensanchamiento y ahondamiento del lecho; pero, mientras tanto el cauce no adquiera una sección más amplia, proporcionada con el caudal, el estrechamiento determina el mismo efecto mecánico que un obstáculo de relieve retardando la marcha de la corriente. A su vez, el brusco ensanche del Canal de los Muelles, determinando una disminución relativa de caudal con rápida disminución en la velocidad de la corriente, provoca una abundante sedimentación, que se actualiza en la formación y en el incremento del Banco Oeste Santafecino en forma de umbral, obstaculizando el desagüe normal, especialmente durante los estiajes. En ambos casos, tenemos entonces condiciones que, independientemente de su naturaleza, concurren en levantar obstáculos eficientes, que se traducen en un retardo considerable en la velocidad de la corriente aguas arriba del obstáculo mismo.

Ahora bien, es sabido que una disminución más o menos brusca en la velocidad de la corriente, por un estrechamiento o por un umbral cualquiera, tiene por efecto de invertir una parte de la fuerza viva del caudal en producir una sobre elevación de la vena líquida aguas arriba del obstáculo, sobre elevación de la cual resultan desbordes e infiltraciones en todo el tron-

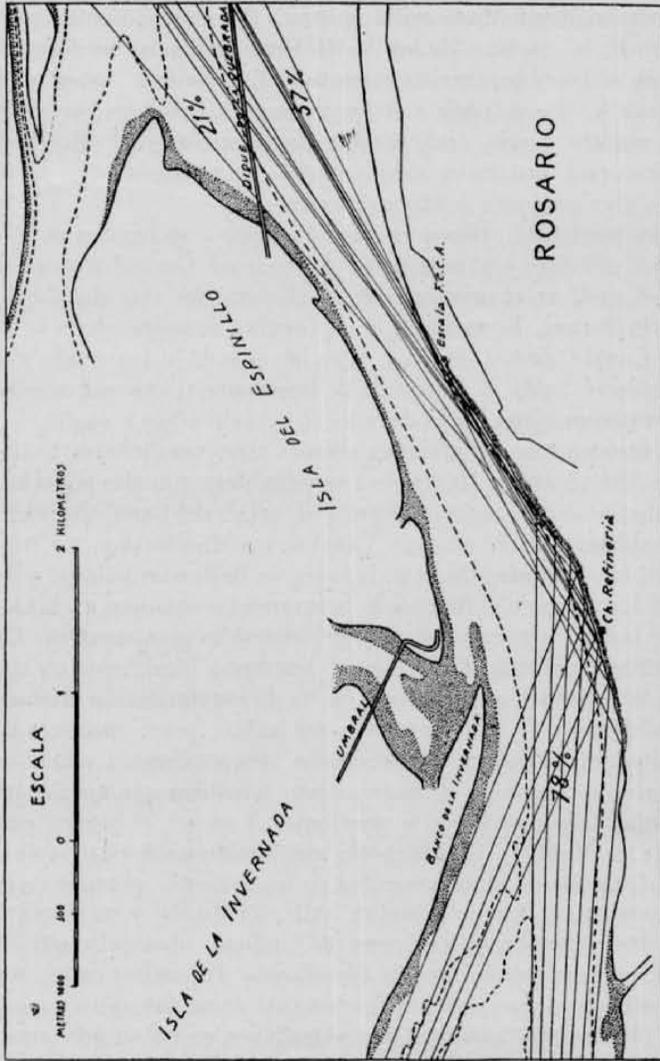


Fig. 10. — Condiciones hidráulicas y morfológicas del meandro del río Paraná frente a Rosario

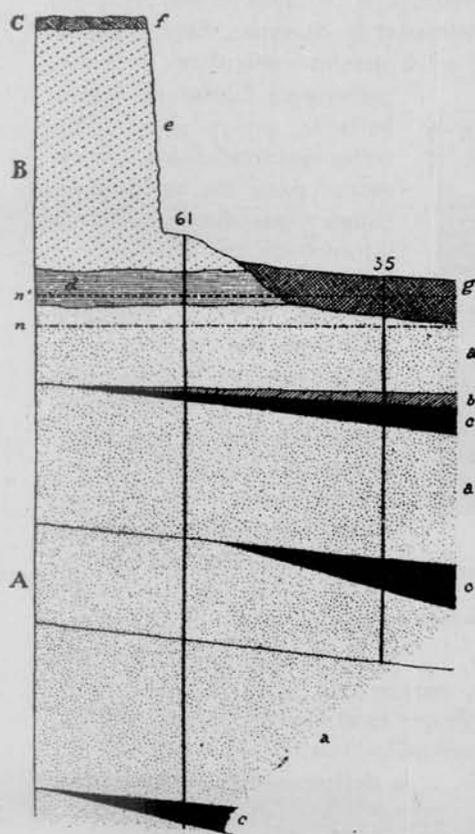


Fig. 11. — Distribución de las filtraciones del río en el subsuelo de las barrancas de la zona norte del puerto de Rosario a la altura de las perforaciones 61 y 35 (cf. perfil longitudinal, fig. 2). A, Rionegrense : *a*, arenas sueltas o poco arcillosas ; *b*, arcillas o arenas muy arcillosas ; *c*, arenas fluidas (filtraciones). B, Pampiano : *d*, Ensenadense inferior ; *e*, Ensenadense medio-superior ; *n*, cero de la escala del puerto a 3,12 m sobre el cero del mareógrafo del Riachuelo ; *n'*, cero hidráulico.

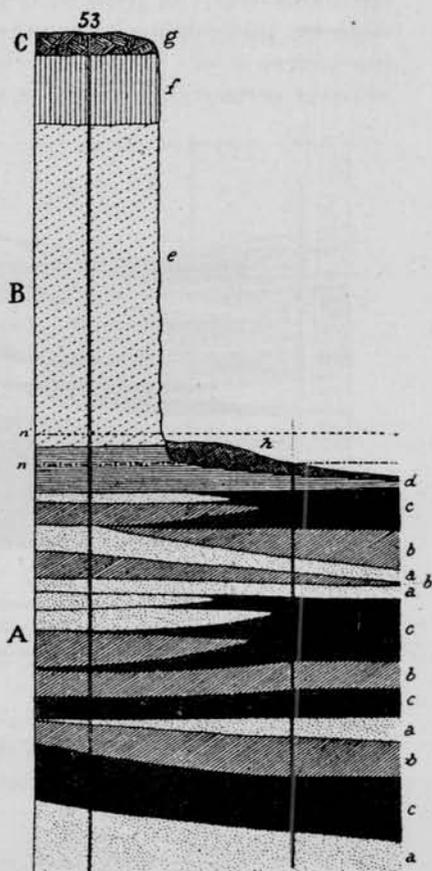


Fig. 12. — Distribución de las filtraciones del río en el subsuelo de la barranca en la zona norte del puerto de Rosario a la altura de las perforaciones 53 y 37 (cf. perfil longitudinal, fig. 2). A, Rionegrense : en negro las capas lenticulares de arenas fluidas (véase leyenda en la figura anterior).

co fluvial, aguas arriba, hasta donde se propaga el remance de la sobre-elevación así determinada.

En nuestro caso adquieren importancia especialmente las filtraciones que han de verificarse en abundancia a través de los antiguos aluviones del Rionegrense, particularmente en correspondencia de las capas de este complejo que ofrecen menor resistencia a la penetración de las aguas. Estas capas de máxima permeabilidad corresponden a los niveles lenticulares de arenas

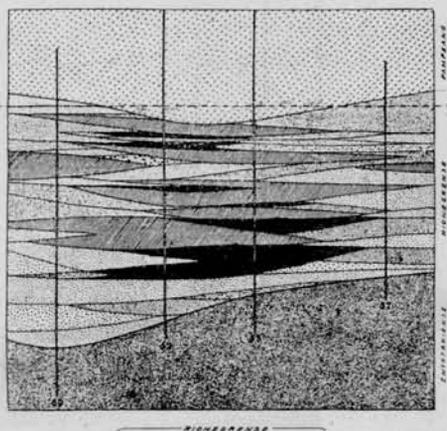


Fig. 13. — Distribución de los entratos fluviales del Rionegrense entre las perforaciones 60 y 57 y distribución de las filtraciones del río Paraná entre estos sedimentos (arenas flúidas en negro).

sumamente flúidas que fueron halladas, superpuestas a diferentes profundidades, en la mayor parte de las perforaciones y que dieron motivo a interpretaciones diferentes, a la existencia de cavernas subterráneas, inclusive. Parecería indudable que su existencia, además que por la gran capacidad hídrica de estas arenas, está condicionada por filtraciones que proceden del río, por las causas y con el mecanismo mencionado. La disposición que ellas afectan, tal como resulta de los croquis adjuntos (figs. 11-13), dibujados de acuerdo con los datos

proporcionados por las perforaciones, apoyan esta interpretación.

Por su parte, no puede haber duda de que la existencia de estas infiltraciones, notables por su abundancia y extensión, contribuye poderosamente al proceso de socavamiento y, por ende, a la destrucción de las barrancas.

FACTORES HUMANOS

Las causas artificiales dependen de algunas obras de corrección y especialmente de aquéllas efectuadas en 1904 en el Paraná frente a Rosario. Sobre los errores cometidos en la ejecución de estas obras ha ya insistido recientemente el ingeniero Soulages. Sin embargo, conviene reparar en que estas obras, consideradas en relación causal con los derrumbes del brazo Espinillo-Ciudad, fueron de una importancia muy relativa y de ninguna manera tuvieron todo el alcance que se les atribuyera. Localmente la condición en meandro del cauce, tal como se reproduce en el croquis respectivo (fig. 14), indudablemente es preexistente a toda obra local de corrección y a ella principalmente debemos atribuir las « tendencias naturales »

en que muy oportunamente insistiera el ingeniero Repossini (15, pág. 9) y que hoy justamente recalca el ingeniero Soulages.

Como hemos visto ya, estas tendencias corresponden a la evolución normal de todo meandro fluvial, localmente favorecida por todo aquel conjunto de factores naturales brevemente pasados en reseña. En efecto, ya desde 1899, según informe oficial, el Canal Oriental (con acceso a la convexidad del meandro) tendía a cegarse y el Canal Occidental (con acceso a la concavidad del mismo) tendía a hacerse trayecto principal, aun para aguas altas. Estas tendencias, que se habían definido ya durante el período 1900-1904, luego siguieron desarrollándose.

Sus consecuencias sobre las condiciones locales, hasta 1921, pueden observarse fácilmente comparando los dos croquis anexos (figs. 14-15), ya publicados por mí en 1926 (8, lám. 3). También son muy ilustrativos al respecto los croquis acerca de los cambios sucesivos de la configuración de este tronco de cauce desde 1847 hasta la fecha, recientemente publicados por el ingeniero Soulages (17, pág. 897). Especialmente importante fué el cierre natural del brazo Espinillo-Invernada (Canal Oriental): a consecuencia de la formación del Banco de la Invernada (en la convexidad del meandro), cerrando el paso al 51 % del caudal total del río Paraná, que anteriormente derivaba por este brazo, el caudal del brazo Espinillo-Ciudad (Canal Occidental) quedó sobrecargado en grado excesivo y muy desproporcionado a la capacidad de su cauce. Felizmente, como consecuencia de la sobreelevación retrógrada de la vena líquida, parte (un 22 %) del antiguo caudal del brazo Espinillo-Invernada se ha abierto paso por el riacho de la Invernada (anteriormente sin corriente y cubierto de camalotes), que ha obrado así como un canal de descarga, si bien todavía insuficiente, pero que, de todas maneras, en parte ha retardado el proceso de destrucción de las barrancas del puerto. Es, por lo tanto, la reapertura de este riacho un hecho de notable importancia y, como ya lo afirmara en 1926 (8, pág. 34), particularmente sobre él debe dirigirse la atención al realizarse obras tendientes a evitar mayores perjuicios en la zona Norte del puerto de Rosario.

En la actualidad, el 78 % del caudal total del río Paraná, que corre por el brazo Espinillo Ciudad, es aún evidentemente excesivo para la sección de este brazo y su presión contra el fondo y las orillas es consiguientemente en grado sumo considerable. Hoy estas condiciones desfavorables, que se traducen en el rápido socavamiento de la base deleznable de las barrancas y especialmente en las graves filtraciones en su subsuelo, no muestran tendencia a mejorar por dos motivos principales: por el hecho de que la descarga por riacho de la Invernada, en progresivo aumento desde 1904 hasta 1911, desde esta última fecha queda estacionaria, y por los obstáculos ya considerados, a la altura del Canal de los Muelles.

Respecto a esta segunda condición, no hay duda de que cualquier obstáculo, por pequeño que sea, agregado artificialmente en esta sección del

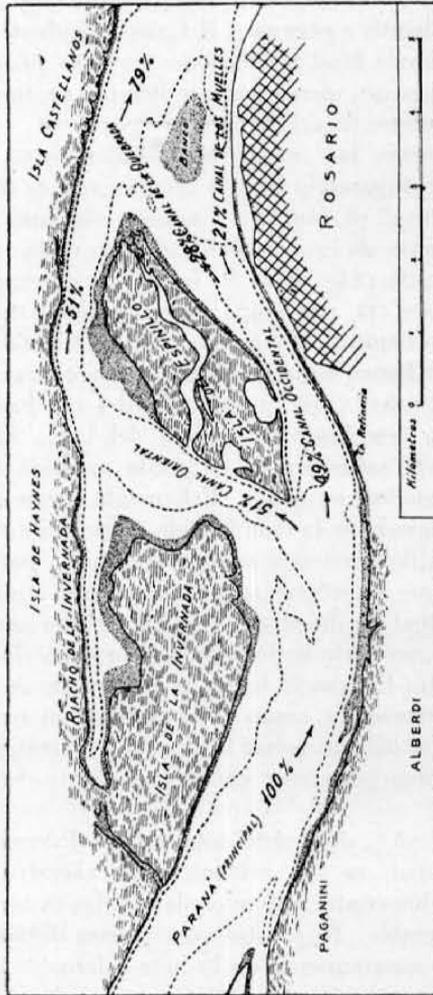


Fig. 14.— Río Paraná frente a Rosario. Cauce y descarga según los distintos brazos, en el año 1899, antes de la corrección. Se indica la descarga en por ciento con relación al caudal total

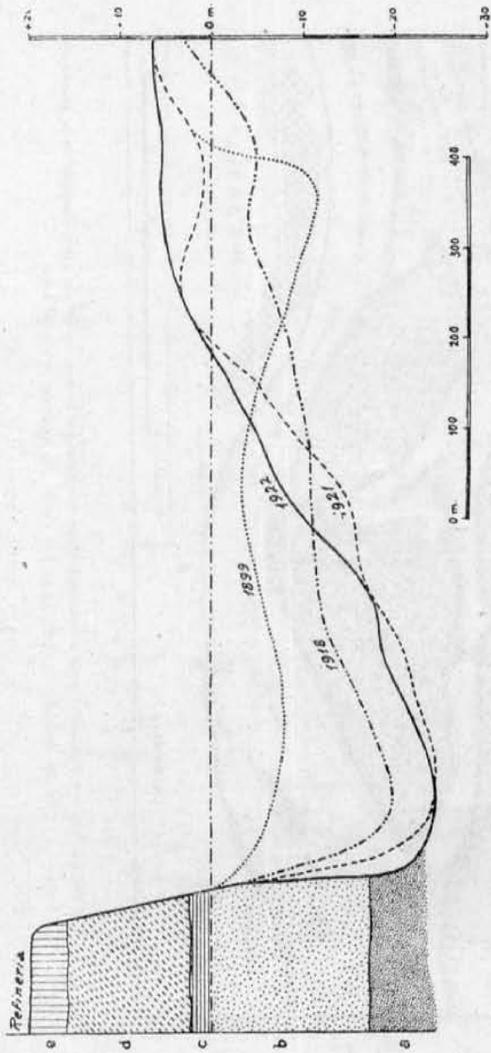


Fig. 16. — Secciones sucesivas del río Paraná frente a « Refinería Argentina » entre los años 1899 y 1922 y perfil de las barrancas correspondientes
a, Entrerriense; b, Rionegrense; c, Encarnadense inferior (Preencarnadense); d, Encarnadense medio y superior; e, Bonariense

río, empeora las condiciones locales y aumenta y apresura los efectos mecánicos de las aguas arriba del obstáculo mismo.

CONCLUSIONES

Del conjunto de los hechos considerados se desprende claramente que en este trecho el río, favorecido por la concurrencia de los factores morfológicos y geológicos anteriormente examinados, fatalmente debe aumentar la capacidad de su cauce en relación con la masa aumentada de su caudal. Y esta regularización va efectuándose mediante la profundización de su lecho (fig. 16) y el ensanche de su sección, minando la base de las barrancas que forman su ribera cóncava.

Estas tendencias naturales, especialmente para un río divagante de las enormes proporciones del río Paraná, difícilmente podrán influenciarse de una manera decisiva por la intervención de obras humanas. Sólo podemos abrigar la esperanza de retardar, con obras oportunamente realizadas y hasta cierto plazo, los efectos destructores que alcanzan a perjudicarnos. Pero, mientras tanto, ha sido realmente temeraria la construcción de edificios e instalaciones pesadas sobre el mismo borde de elevados acantilados verticales en la ribera cóncava de un meandro con exceso de caudal y formados por espesos sedimentos pesados que gravitan sobre una base de arenas sueltas y fluidas, esto es, al borde de formas eminentemente inestables.

OBRAS CITADAS

1. AMEGHINO, F., *Contribución al conocimiento de los Mamíferos fósiles de la República Argentina*, en *Actas Acad. Nac. Cienc. Córdoba*, VI, Buenos Aires, 1889.
2. BURCKHARDT, G., *La formación pampeana de Buenos Aires et Santa Fe*, en *Revista Museo La Plata*, XIV, 146-171, Buenos Aires, 1907.
3. DE CARLES, E., *Relación acerca de los yacimientos fosilíferos de arroyo Frías y sedimentos de las barrancas del río Paraná al norte y sur de Santa Fe*, en *Anal. Museo Nac. Hist. Nat. Buenos Aires*, XXIII, 245-252, Buenos Aires, 1912.
4. FRENGUELLI, J., *Contribución al conocimiento de la Geología de Entre Ríos*, en *Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba*, XXIV, 55-256, Buenos Aires, 1920.
5. — *Algunos datos sobre la falla del río Paraná y la estructura de sus labios*, en *Rev. Universidad Buenos Aires*, XLIX-L, 189-278, Buenos Aires, 1922.
6. — *Loess y limos pampeanos*, en *Gaea*, año 1925, n° 1, 1-88, Buenos Aires, 1925.
7. — *Sulle concrezioni calcaree intorno alle radici di vegetali viventi*, en *Boll. Soc. Geol. Ital.*, XLV-1, 85-90, Roma, 1926.
8. — *Las barrancas del puerto Rosario; Apuntes sobre su estructura geológica y las causas que determinan su derrumbe*; publicación del Min. Obras Publ. de la Nación, Buenos Aires, 1926.
9. — *Clasificación de los terrenos pampianos*, en *Anal. Soc. Cient. Santa Fe*, V, 1-4, Santa Fe, 1933.
10. — *El problema de la antigüedad del Hombre en la Argentina*, en *Actas XXV Congr. Intern. Americanistas*, 1932, I, 1-23, Buenos Aires, 1934.
11. — *Apuntes sobre el Interensendense del subsuelo de Buenos Aires*, en *Notas Museo La Plata*, II, 111-123, Buenos Aires, 1937.
12. — *El piso platense*, en *Rev. Museo La Plata*, n. s., Geología, II, 287-311, La Plata, 1945.
13. — *Las Diatomeas del Platense*, en *Rev. Museo La Plata*, n. s., III, 77-221, La Plata, 1945.
14. Memoria de la Dirección General de Minas, Geología o Hidrología, en *Anal. Min. Agricult. Nac., Sección Geol. Miner. y Min.*, XIV-2, Buenos Aires, 1920.
15. REPOSSINI, J., *El Río Paraná frente a Rosario, su corrección presente y futura; los derrumbamientos sobre el brazo de la ciudad y sus causas*, en *La Ingeniería*, n° 571, 1-13, Buenos Aires, 1922.
16. ROTH, S., *Investigaciones geológicas en la llanura pampeana*, en *Rev. Museo La Plata*, XXV, 135-342, Buenos Aires, 1921.
17. SOULAGES, E., *El puerto de Rosario en peligro por la evolución natural de la configuración del cauce del río*, en *La Ingeniería*, n° 840, 804-807, n° 841, 896-900, n° 855, 48-63, Buenos Aires, 1944-1946.

La Plata, 19-V-1946.