

SUPUESTOS VESTIGIOS

DE

GLACIACIONES DEL PALEOZOICO EN LA ARGENTINA

Por ENRIQUE FOSSA-MANCINI

I. RECTIFICACIÓN DE UNA OPINIÓN EXPRESADA POR EL AUTOR EN 1940

Tres años atrás, en un trabajo sobre la edad de los estratos con restos vegetales del llamado Bajo de Velis (provincia de San Luis), escribí que yo admitía «la existencia, en Australia y en la Argentina, de los restos de varias formaciones glaciales e interglaciales, las más antiguas de las cuales están caracterizadas por la presencia de *Lepidodendron* y *Rhacopteris* y por la ausencia de *Gangamopteris* y *Glossopteris*, mientras que en las más recientes estos dos géneros abundan y, en cambio, faltan los dos primeros» (Fossa, 1940, pág. 204). Efectivamente, me parecía razonable referir al Carbonífero inferior los depósitos glaciales del llamado «sistema» de Kuttung (Nueva Gales del Sur) y aquellos de Leoncito Encima y del Arroyo de los Jejenés (provincia de San Juan); al Carbonífero superior los depósitos glaciales de las llamadas «series» de Talchir (India), Dwyka (Sudáfrica), Itararé (Brasil) y la mayor parte de los señalados en la Argentina y en la Nueva Gales del Sur, sin excluir que algunos de ellos puedan corresponder a la parte inferior del Pérmico. Estas opiniones, que están reflejadas en dos diagramas que se hallan en dicho trabajo (figs. 1 y 2, págs. 201 y 203, respectivamente), eran el resultado de un estudio crítico de los datos de índole paleobotánica y estratigráfica contenidos en las numerosas publicaciones que había consultado. Mi estudio era necesariamente incompleto, por cuanto yo había prescindido de ocuparme de muchos datos de carácter paleozoológico, me había abstenido de discutir el valor de las observaciones que se refieren a ciertas particularidades litológicas o tectónicas, y había supuesto que todas las ilaciones fundadas sobre tales observaciones se ajustaran estrictamente a las exigencias de la lógica. Desde hace dos años me proponía subsanar las omisiones en que había incurrido, omisiones que, si bien carecen de importancia para el problema particular de la edad de los sedi-

mentos lacustres del « Bajo de Velis », pueden inducir a conclusiones erróneas en otras tentativas de correlación. Pero me he decidido a hacerlo sólo después de haber leído una reciente publicación de Keidel, en la cual este eminente investigador afirma rotundamente que en territorio argentino hay vestigios de glaciaciones en sedimentos del Ordovícico inferior, del Gotlándico, del Carbonífero inferior, del Carbonífero superior y del Pérmico (Keidel, comunicación presentada al Octavo Congreso Científico Americano, celebrado en mayo de 1940).

Es interesante recordar que dieciocho años antes Keidel (1922, págs. 247-249, 255-257, 264 y 334) sostenía que en la Argentina hubo tan sólo un período glacial paleozoico, que consideraba del Pérmico; y no creía que pudiera haber habido otro del Carbonífero, a pesar de ciertas observaciones de Penck en los alrededores de Los Angulos (provincia de La Rioja) y de los hallazgos de fósiles marinos determinables hechos por el propio Keidel y por Stappenbeck en los alrededores de Leoncito Encima y de Barreal (provincia de San Juan) respectivamente.

Seguramente más extraño aún ha de parecer mi cambio de opinión: a principios de 1940 yo creía sumamente probable la existencia, en la Argentina, de rastros de una glaciación del Carbonífero inferior y de otras del Carbonífero superior, sin descartar en absoluto la posibilidad de alguna glaciación del Pérmico; hoy considero perfectamente suficiente, para explicar los hechos que conozco, la hipótesis de un solo período glacial, de moderada duración (constituído por tres a cinco fases de expansión de los glaciares y por las correspondientes fases interglaciales), que podría corresponder a una modesta fracción del Carbonífero superior. Es también curiosa la coincidencia casi completa entre mi opinión actual y la manifestada por Du Toit (1927, cuadro frente a la pág. 16) unos quince años atrás; es curiosa, por cuanto actualmente Du Toit (1937, cuadro frente a la pág. 62) ya ha aceptado, en parte, las ideas de Keidel y admite que en la Precordillera de San Juan hay rastros de una glaciación en el Carbonífero inferior, de otra en la sección media del Carbonífero superior, y de una tercera en la zona de transición entre Carbonífero y Pérmico.

Algunos de los motivos de mi cambio de opinión son de índole biostratigráfica y serán expuestos en un trabajo que actualmente estoy redactando. Otras están relacionadas con viajes de estudio que me han proporcionado ocasiones para examinar algunos de los supuestos vestigios de glaciaciones paleozoicas. Algunas de estas observaciones son de fecha relativamente reciente; otras son de varios años atrás y están consignadas en apuntes que he vuelto a ver casualmente en estos últimos días, al buscar ciertos datos que necesito para otro trabajo que tengo en preparación.

Para justificar mi opinión actual creo conveniente exponer en primer lugar algunas consideraciones sobre la manera de comprobar, mediante la observación del terreno y el examen de las rocas, si determinados sedimentos son de origen glacial o no; luego haré una rápida reseña de algunos

supuestos vestigios de antiguas glaciaciones que han sido señalados en algunas provincias y territorios argentinos, exponiendo las razones que, a mi modo de ver, justifican una interpretación diferente.

II. PRUEBAS DE LA EXISTENCIA DE ANTIGUAS GLACIACIONES

Autores dignos de la mayor consideración han expresado opiniones sumamente diferentes acerca de la posibilidad de *comprobar* si ciertas particularidades de determinadas rocas son, o no son, el efecto directo de la acción de antiguos glaciares. Estas particularidades pueden consistir: 1º, en la asociación de bloques, cantos, granos y partículas de dimensiones, formas y constitución petrográfica muy diferentes, sin estratificación evidente, caracteres que algunos suponen exclusivos de las morenas; 2º, en la presencia de cantos, o bloques, estriados en un modo especial, que evidenciarían la acción mecánica de un glaciar sobre el material pétreo acarreado; 3º, en la presencia de superficies de discordancia alisadas, surcadas o estriadas en una manera que se supone característica del fondo y de la parte inferior de los flancos de los valles excavados por los glaciares en rocas compactas y resistentes; 4º, en la forma angulosa y en el aspecto fresco de los fragmentos pequeños de ciertas rocas y de los granos de ciertos minerales que forman parte de la pasta que engloba los cantos y los bloques, estimándose que sólo el hielo puede transportar estos granos y fragmentos pequeños sin desgastar sus aristas, y, a la vez, obstaculizando la descomposición de los minerales químicamente poco estables. Examinaremos dentro de poco el valor relativo que tienen estas particularidades para la interpretación de su origen. También consideraremos la fe que merece la presencia de sedimentos bandeados (con « varves ») como indicación de su origen glaciolacustre y, por consiguiente, de la contemporaneidad y proximidad de glaciares.

Desde ya podemos formular una observación de carácter general. La mezcla de fragmentos de rocas de distinta naturaleza, la trituración y pulverización de algunas de ellas, el pulimento, la estriación y la formación de surcos en los bloques, en los cantos y en los afloramientos de rocas resistentes, son evidentemente otros tantos resultados de los choques entre piedras o de presiones y frotamientos de piedras contra piedras; el hielo actúa sólo como medio de unión y de transporte y transmitiendo y distribuyendo presiones; es natural que los aludes, los derrumbamientos y la actividad de ciertos tipos de fallas puedan producir, a veces, mezclas, surcos, estrías, superficies alisadas etc. sumamente parecidas a las causadas por la progresión de un glaciar. Supongamos que nos presenten un objeto de acero con un sinnúmero de finísimas estrías; podemos imaginarnos, con un alto grado de probabilidad de acertar, que ha sido labrado con esmeril, pero difícilmente nos atrevemos a asegurar que los fragmentos de corindón estaban pegados a una hoja de papel y no a un trozo de tela, ni constituían (en

unión con un cemento adecuado) una muela. Análogamente, al observar ciertas superficies alisadas, estriadas, surcadas, etc., en afloramientos, bloques o cantos, podríamos afirmar que hubo movimientos relativos bajo presiones no despreciables, pero haríamos bien en no apresurarnos a imputarlos a un hipotético antiguo glaciar.

Varios geólogos han especificado los caracteres que, en su opinión, permiten reconocer si la composición caótica de ciertos conglomerados, la forma particular de ciertos cantos, las estrías que ellos a veces presentan, el pulimento de ciertos afloramientos de rocas duras, etc., son debidos o no a la acción de antiguos glaciares. También abundan, en la literatura geológicas, reglas para determinar la existencia de antiguos glaciares, fundándose en la asociación de varios caracteres observables en el terreno o en las muestras. Puede uno leer con provecho lo que han escrito, sobre estos asuntos, Stoppani (1871, págs. 240-245, 255, 256), Richthofen (1886; 1901, pág. 233), Woodworth (1912, pág. 76), Sayles (1914, págs. 142-145), Lahee (1914, págs. 316-317; 1916, pág. 25; 1931, págs. 40-43), Von Engel (1930, págs. 13-15), Wentworth (1926, págs. 179-182; 1932, págs. 232-236), Lobeck (1939, págs. 300, 301), Coleman (1939, págs. 449, 450) y Twenhofel (1939, págs. 279, 280). Una exposición metódica de criterios para no confundir los vestigios de la acción mecánica de antiguos glaciares con los rastros de aludes, de derrumbamientos, de la actividad de fallas, etc. se halla en el manual de glaciología (muy apreciado cuarenta o cincuenta años atrás y hoy injustamente olvidado) de Albert Heim (1885, págs. 403-408).

Seguramente todas las sugerencias formuladas por estos autores pueden resultar de alguna utilidad en casos particulares; pero, en mi opinión, no resultan suficientes para eliminar toda duda, especialmente cuando hay que juzgar el valor de supuestos vestigios de glaciaciones anteriores a la del Pleistoceno, pues en estos casos no podemos contar con la observación de formas topográficas que se consideran características de la acción glacial. La insuficiencia de los aludidos criterios me parece demostrada por el hecho de que todavía no se ha llegado a un acuerdo, entre los geólogos, acerca del origen, glacial o no glacial, de las supuestas tilitas carboníferas o permicas de la cuenca del Río Severn en el oeste de Inglaterra y de los alrededores de Boston en Estados Unidos; las discusiones acerca del origen de estos sedimentos problemáticos han empezado en 1885 y en 1910, respectivamente; ambas regiones han sido estudiadas detalladamente por geólogos de reconocida capacidad; desde hace muchos años se posee buenos mapas geológicos de ambas; y sin embargo aún hoy persiste la divergencia entre las opiniones de los entendidos en la materia. Es evidente que esto no ocurriría si conociéramos la manera de distinguir con seguridad los vestigios de antiguas glaciaciones de los efectos de fenómenos naturales de índole completamente diferente.

Las discrepancias aludidas no pueden causar extrañeza a quien comparta

la opinión expresada pocos años atrás por Twenhofel (1939, pág. 64). Este ilustre geólogo, cuya autoridad en asuntos de sedimentación es reconocida por todos, dice que para dar la *prueba* de que determinados sedimentos se han formado en el ambiente glacial hay que comprobar previamente la existencia de restos de *toda la asociación normal de sedimentos glaciales*, desde las morenas de fondo hasta los depósitos bandeados (con « varves ») glaciolacustres; la falta de estratificación y la constitución caótica de un sedimento no significan gran cosa, y la presencia de fragmentos estriados no tiene valor decisivo. En el caso de una glaciación del Paleozoico es poco probable que todos los distintos tipos de sedimentos glaciales hayan sido respetados por la erosión y que sus restos se ofrezcan a la observación del geólogo en afloramientos accesibles. Por consiguiente, es inevitable que los geólogos que se adhieren a la opinión de Twenhofel no estén dispuestos a aceptar sin prudentes reservas los hallazgos de vestigios de antiguas glaciaciones que son anunciados con tanta frecuencia; el escepticismo de estos geólogos es más acentuado cuando los supuestos vestigios glaciales consisten únicamente en el aspecto caótico de sedimentos conglomerádicos, o bien en la presencia de cantos estriados, o aún en el aspecto alisado, pulido y estriado de ciertos afloramientos de rocas compactas y resistentes.

A. DEPÓSITOS CONGLOMERÁDICOS CAÓTICOS

En cuanto al valor que pueden tener los sedimentos conglomerádicos caóticos como indicio de antiguas glaciaciones, bastará recordar los errores que ocasionaron en Europa; a título de ejemplo, puedo citar las supuestas morenas pleistocénicas que se creyó haber descubierto en las provincias españolas de Cáceres, Granada, Segovia y Madrid y que luego se comprobó ser depósitos de pie de monte (Hernández-Pacheco, 1916, pág. 72, 73). Es razonable suponer que una vez lapidificados (o sea transformados en lo que actualmente nos hemos acostumbrado a llamar, con término híbrido, « fan-glomerados ») estos sedimentos han de resultar muy difíciles de distinguir de las antiguas morenas igualmente lapidificadas, o sea, de las verdaderas tilitas. Esta suposición está corroborada por lo que ha escrito Baldry (1938, págs. 350, 351) acerca de las brechas de fricción que ha observado en el Terciario inferior de la región petrolífera de Lobitos (Perú); estas brechas, en determinados lugares, se asemejan tanto a detrito glacial, que a veces han sido indicadas así en mapas geológicos. Baldry cree que muchas de las « tilitas » señaladas en formaciones más o menos antiguas pueden ser brechas de origen tectónico como las de Lobitos; y manifiesta dudar de que un geólogo, aún después de muchos años de experiencia, pueda distinguir ciertas partes de estas brechas de un verdadero detrito glacial.

En cuanto al significado del pulimento, de las estrias y de los surcos que a veces se observan en cantos de conglomerados caóticos y en afloramientos

de rocas compactas y tenaces, como también a la forma de los cantos, creo necesario aducir varios ejemplos para evidenciar las dificultades con que tropieza quien se propone utilizar aquellas particularidades para sacar conclusiones acerca de la existencia de antiguas glaciaciones.

B. SIGNIFICADO DE LA FORMA Y DE LAS ESTRÍAS DE LOS CANTOS

Cien años atrás, Louis Agassiz afirmó por primera vez que todo bloque o canto redondeado que se encuentre en acumulaciones de detrito, estratificadas o no, y que presente largas estrías rectilíneas, debe este aspecto al frotamiento de un glaciar contra su lecho (Agassiz, 1842, pág. 132). Tres años después ya había opiniones divergentes: Agassiz (1845, pág. 275) repetía que los cantos estriados constituyen la prueba más segura e indiscutible de la acción de antiguos glaciares; en cambio, Leonhard (1845, pág. 306) aseguraba que en los Alpes, por efecto de simples derrumbamientos, las piedras pueden quedar marcadas por estrías idénticas a las que se observan en bloques y cantos transportados por glaciares. Por consiguiente, cuando los geólogos de aquel entonces leyeron en el Boletín de la Sociedad Geológica de Francia que los cantos estriados son los « fósiles característicos de los antiguos glaciares » (Martins y Gastaldi, 1840, pág. 559), ya sabían que esta frase hiperbólica no debía tomarse al pie de la letra. Sin embargo, aun hoy hay geólogos que en cada piedra estriada que encuentran ven la prueba segura e indiscutible (así como lo hacía Agassiz cien años atrás) de la acción de un antiguo glaciar. Mucho más numerosos son los que recuerdan que también hay cantos estriados de origen no glacial; entre ellos hay algunos que se creen capaces de reconocer los cantos estriados glaciales de los de origen diferente.

Varios autores han afirmado que el aspecto de los cantos estriados de las morenas, aunque difícil de describir, es inconfundible para el ojo ejercitado del glaciólogo; han expresado esta opinión, entre otros, Albert Heim (1885, pág. 405), Haug (1907, págs. 457, 458) y Coleman (1929, pág. xxxiii). Pero también hubo quien sostuvo lo contrario, aduciendo buenas razones (H. E. Gregory, 1915, págs. 303, 304). En realidad, cada uno tiene confianza en sus aptitudes naturales y en su experiencia personal hasta el momento que los hechos lo convencen de que, a pesar de ellas, ha incurrido en errores que anteriormente le parecían inconcebibles.

En el año 1920, estudiando un derrumbamiento que se había producido en las cercanías de la ciudad de Jesi (provincia de Ancona, Italia) hallé un canto estriado, de aspecto típicamente glacial, entre el material de derrumbe, en su mayor parte arcilloso y arenáceo; pero la latitud y la altitud del lugar no permitían pensar en su origen glacial. Limpiado y lavado el canto, comprobé que era simplemente un fragmento de ladrillo, de los que habían constituido el revestimiento de la parte superior de la pared de un viejo

pozo. Al producirse el derrumbamiento, los ladrillos se habían amontonado y luego habían sido arrastrados en esta condición por la masa prevalentemente arcillosa y arenosa, sufriendo la mayoría de ellos un desgaste más o menos acentuado, mientras que algunos ladrillos excesivamente cocidos (y, por consiguiente, vitrificados en las aristas y en los vértices) conservaban bastante bien su forma inicial y rayaban a otros. El fragmento de ladrillo alisado y estriado quedó durante varios meses sobre mi mesa de trabajo y *todos* los amigos geólogos que me visitaron en aquel tiempo lo tomaron, a primera vista, por un canto glacial; uno de ellos, el doctor Stefanini, entonces profesor de la Universidad de Florencia, manifestó el deseo de exhibirlo a sus alumnos, y se lo donó. Probablemente aquel fragmento de ladrillo se encuentra aún en el Instituto de Geología de dicha Universidad. En el derrumbamiento a que me he referido, el movimiento se produjo con cierta lentitud y los ladrillos pueden haber quedado en contacto sólo durante la primera fase, o sea durante el tiempo necesario para recorrer pocas decenas de metros; luego se separaron y quedaron englobados completamente en la masa arcillosa, apareciendo en la superficie sólo el estriado, que recogí; hallé varios otros posteriormente, cuando hice efectuar pequeñas excavaciones para aclarar el origen de las estrias, que al principio me parecía inexplicable. En la región afectada por el derrumbe sólo afloran arcillas más o menos arenosas cubiertas en parte por arenas y por gravas bien redondeadas, de origen fluvial, que constituyen una ancha terraza, así que no hay materiales naturales apropiados para rayar o producir estrias apreciables a simple vista.

La presencia de fragmentos de rocas estriados en los derrumbamientos ha sido señalada pocas veces, al parecer, en la literatura geológica; pero no debería ser excepcional, por cuanto las diferencias de dureza entre rocas de distinto tipo son mucho más fuertes que las que pueden resultar de diferente grado de cocción en los ladrillos comunes.

El derrumbamiento que causó, cerca de Jesi, la formación de estrias de aspecto glacial en un pedazo de ladrillo pertenece a la categoría de los « derrumbamientos de detrito por deslizamiento »; en otro de la misma categoría, pero de magnitud incomparablemente mayor, que se produjo en Bilten (cantón de Glarus, Suiza) en 1868, también se observaron estrias en fragmentos de piedra (Heim, 1882, págs. 4, 10, 11). Se hizo análoga comprobación en un gigantesco derrumbamiento de otra categoría (la de los « derrumbamientos de roca por caída ») que se produjo cerca de Elm, también en el cantón de Glarus, en 1881 (indicaciones bibliográficas en Canavari, 1928, pág. 899).

Es sabido, desde hace casi un siglo, que en los Alpes Occidentales derrumbamientos de detrito por deslizamiento de proporciones relativamente modestas pueden determinar en los bloques y en cantos, por fricción mutua, estrias que, según Leonhard (1845, pág. 306; citado por Böhm, 1901, pág. 104), no se distinguen en lo más mínimo de las producidas por acción de los glaciares.

Meunier (1926, pág. 246-248) ha señalado la presencia de cantos estriados calcáreos en el detrito, prevalentemente arcilloso y arenoso, que se ha amontonado en las laderas de la quebrada de Brent, cerca de Montreux (cantón de Vaud, Suiza); este detrito se deslizaría lentamente sobre la superficie de la roca firme y las estriás se producirían por movimientos diferenciales de los cantos que, al mismo tiempo, serían gastados y pulidos por los granos de arena arrastrados por las aguas que circulan en la masa detrítica. Nótese que según Heim (1885, pág. 403) este pulimento no se observaría en los fragmentos estriados de los derrumbamientos, opinión ésta que no puedo compartir por cuanto no está de acuerdo con el aspecto del ladrillo estriado de Jesi. En realidad, en los derrumbamientos y en el deslizamiento lento de detrito de falda los fragmentos de roca se hallan en condiciones muy parecidas a las en que se encuentran los bloques y cantos en el interior de un glaciar, pues muchas piedras que caen sobre la superficie del glaciar luego se acumulan en el fondo de las grietas y después siguen su camino descendente amontonadas en aquellas zonas de movimiento diferencial (impropiamente llamadas « Abscherungsflächen ») que no son otra cosa sino los vestigios de grietas anteriores; por consiguiente las estriás se producen, por fricción, en estos montones de piedras englobados en el hielo (Philipp, 1924, págs. 230, 630, 631; Vinassa, 1933, pág. 492). Es evidente que en estas acumulaciones de bloques, cantos y detrito fino que se hallan rodeadas y transportadas por el hielo, las condiciones físicas son comparables a las que dominan en los derrumbamientos.

También pueden formarse estriás en cantos o bloques arrastrados por los aludes (Heim, 1885, pág. 403) y, al parecer, por barreras de hielo que se forman en otoño o a principio del invierno, en regiones frías (Wentworth, 1928, pág. 953; 1932, pág. 234). En estos casos los bloques y cantos estriados están relacionados con un ambiente nival o con condiciones climáticas características de altas latitudes, pero no tienen necesariamente relación con la existencia de glaciares.

La formación de estriás en un canto grande expuesto a la acción de cantos más pequeños que se deslizan a lo largo de una superficie inclinada, ha sido observada en la bahía de Concepción, en Chile, por Woodworth (1912, págs. 34 y 35, fig. 6; esta figura está mal puesta, pues la flecha debe dirigirse de derecha a izquierda y de arriba abajo).

No faltan descripciones de cantos alisados y estriados por acción eólica, y en estos casos se ha notado una forma característica; es posible que en algunos de estos casos la forma sea debida al viento y la estriación al hielo, pues en los últimos años algunos de estos « ventifactos » han sido hallados en íntima asociación con depósitos glaciales del Pleistoceno (Thiesmeyer, 1942, pág. 242).

Los cantos estriados por acción puramente tectónica son, con toda probabilidad, los más comunes en la naturaleza. Heim (1878, págs. 8, 26; 1919, págs. 58-63) ha dado excelentes descripciones de aquellos que se hallan en

cierto conglomerado (Nagelfluh) del Terciario de Suiza; la formación de las estrías es manifiestamente debida a movimientos diferenciales, a menudo de pocos milímetros de extensión, que se han producido paralelamente a las superficies de estratificación y, muy a menudo, a poca distancia de ellas. Es notable la presencia, en algunos de estos cantos estriados, de « impresiones » características, debidas a la presión de cantos redondeados más pequeños.

A una acción tectónica completamente análoga Ulrich (en Woodworth, 1912, pág. 460) ha atribuido las estrías de cierto banco conglomerádico intercalado en las Coney Shales (al parecer, del Carbonífero superior) de Oklahoma; otros autores habían interpretado estos cantos estriados como un vestigio de una antigua glaciación.

En el « Wildflysch » de Suiza y en las « Argille Scagliose » del Apenino septentrional, que son mezclas tectónicas caóticas de sedimentos del Terciario, y probablemente, en parte, aun del Cretácico, en las cuales suele predominar una masa arcillosa, no faltan bloques y cantos estriados que a veces se asemejan extraordinariamente a los de las morenas alpinas; yo mismo he tenido la oportunidad de comprobarlo.

Los hechos que acabo de exponer demuestran que tenía sobrada razón B. von Cotta, más de sesenta años atrás (1878, pág. 337) cuando decía que, aunque resulta « muy cómodo » atribuir a la acción de glaciares la presencia de bloques y cantos estriados, no hay que olvidar que éstos pueden presentar las marcas de fricciones que pueden ser debidas a otras causas, y no únicamente al movimiento del hielo.

Ahora podemos preguntarnos si acaso hay otros caracteres, dignos de mayor confianza, que permitan reconocer con seguridad los cantos de antiguas morrenas.

Creo que Woodworth (1912, pág. 76) fué el primero en afirmar que algunos de estos cantos presentan una forma absolutamente característica, algo alargada, fracturada o astillada cerca del extremo de sección más angosta. Sayles (1914, pág. 144) se refirió a cantos romos en un extremo y puntiagudos en el otro, como también a la presencia de superficies de fractura cóncavas. Lahee (1914, p. 317) atribuyó importancia al biselamiento de uno o más costados, al redondeamiento de uno o más vértices y a la presencia de las superficies de fractura cóncavas. Von Engel (1930, págs. 9 y 13-16) comprobó que en la morrena de fondo, pleistocénica, de la parte central del estado de New York los cantos tienden a asumir una forma peculiar, que se asemeja a la de una plancha de planchar. Este resultado de los estudios de von Engel está perfectamente de acuerdo con las formas de muchos cantos de morrenas pleistocénicas que he examinado en Alta Saboya, en Piamonte y en Lombardía, y de tilitas paleozoicas que he observado en la provincia de Salta, cerca de Tartagal; pero no puedo dar mucha importancia a este carácter, por cuanto el fragmento de ladrillo estriado del derrumbamiento de Jesi presentaba justamente la forma de una plancha de planchar sin mango.

En el difundido manual de geología de campaña de Lahee (1931, pág. 40) hay una clave para reconocer el origen de los fragmentos de roca; en esta clave leemos que los cantos con estrías que corren en varias direcciones *pueden ser* de origen glacial, y que los cantos con estrías todas paralelas las han adquirido, *probablemente*, por efecto de acciones tectónicas, o sea por frotamiento de piedra contra piedra, acompañado o no por un estiramiento de los cantos.

En conclusión, no conozco ningún carácter que permita identificar con seguridad los cantos de las morenas; es posible que las fracturas cóncavas, y su distribución, constituyan los indicios más dignos de confianza, pero estas particularidades aún no han sido estudiadas suficientemente para autorizarnos a emitir una opinión terminante sobre su valor diagnóstico.

C. SUPERFICIES DE ROCAS ALISADAS, ESTRIADAS O SURCADAS

Los afloramientos de roca firme alisados, estriados y a veces surcados por la progresión de un glaciar (mejor dicho, por la acción mecánica de fragmentos y partículas duras que se han amontonado en la base del glaciar) en ciertas partes de España han recibido el nombre de « lamiars ». Fernández Navarro (1916, pág. 93) ha introducido este término en el lenguaje científico; he visto que ha sido empleado en obras de amplia difusión (Hernández-Pacheco, 1937, pág. 361; Fernández Navarro y Cendrero, 1927, pág. 114). Creo preferible la palabra « lamiar » a las locuciones « roca alisada y estriada » y « roca aborregada » que son usadas de preferencia por la mayoría de los autores aunque, a mi modo de ver, se prestan a confusiones, por cuanto hay rocas alisadas y estriadas que no son de origen glacial y lamiars que no podemos decir, con propiedad, « aborregados » por corresponder ellos a afloramientos de poca extensión en los cuales no aparecen las convexidades y concavidades características. En lo sucesivo, emplearé el término « lamiar » cada vez que quiera referirme a una superficie alisada (que también puede ser estriada, surcada o « aborregada ») por la acción mecánica de un glaciar, o sea por la erosión glacial. Advierto, a este propósito, que siempre diré « erosión glacial » y no « corrosión »; este término ha sido empleado por eminentes autores como sinónimo del anterior, pero otros autores, no menos eminentes, lo han aplicado a la acción química destructiva de las aguas sobre las rocas y, por consiguiente, puede engendrar conclusiones.

Los lamiars corresponden necesariamente a la parte visible de la *superficie de discordancia* que separa, o separaba, el detrito glacial de la roca más o menos firme excavada por el hielo. Es natural que la presencia de restos de un lamiar sobre los cuales descansa una tilita y debajo del cual aparezca una roca firme y más antigua constituye la mejor prueba de la existencia de una antigua glaciación. Pero la observación de que hay una superficie, alisada y estriada o surcada, parecida a un lamiar no constituye, por sí sola, un mo-

tivo válido para afirmar que es debida a un antiguo glaciar, pues superficies de aspecto idéntico o muy semejante pueden representar el resultado de otras acciones exógenas o aún de movimientos tectónicos.

Lahee (1914, pág. 317) resume así los criterios que permiten reconocer, en los casos más favorables, las marcas dejadas en el fondo y en las laderas del valle por la progresión del glaciar: si la roca expuesta a la erosión del glaciar era poco coherente, entonces ha sido revuelta por el glaciar y la superficie de discontinuidad presenta una forma muy irregular, sin estriación ni pulimento; en cambio si aquella roca ya era bien firme, entonces la superficie de discontinuidad es neta, de forma regularmente ondulada, y presenta pulimento, estrias o surcos más o menos característicos.

Louis Agassiz (1838, pág. 449; 1840, págs. 190, 194; versión inglesa de estos últimos trozos, en Mather y Mason, 1939, págs. 333, 334) fué el primero en considerar el pulimento de los lamiarés como el indicio más importante de la acción de un antiguo glaciar; demostró, además, que su origen no puede atribuirse a las aguas corrientes. Estas ideas de Agassiz conservan aún hoy su valor, pero actualmente sabemos que el pulimento de ciertas superficies de roca producido por varias otras causas puede resultar sumamente parecido al de los verdaderos lamiarés, y que también puede estar acompañado por estrias o surcos iguales a los de origen glacial.

Heim (1885, págs. 404-406) ha indicado algunos caracteres que, en su opinión, serían propios de los lamiarés o que, por lo menos, permitirían distinguirlos de las superficies alisadas por arena transportada por el viento, por los aludes, o por movimientos tectónicos. Está fuera de duda que en ciertos casos los criterios sugeridos por Heim pueden llevar a conclusiones seguras, pero esto no siempre ocurre, porque de otra manera no conoceríamos tantos ejemplos de superficies alisadas y estriadas cuyo origen queda dudoso después de decenas de años de discusión.

Según Lobeck (1939, págs. 300, 301), un carácter importante de los lamiarés estaría constituido por unas grietas en forma de media luna con la concavidad dirigida en el sentido del movimiento del glaciar. Probablemente estas grietas (*chatter marks*) de forma tan característica, pueden ser muy útiles para reconocer lamiarés del Pleistoceno; ignoro si es posible observarlas en lamiarés del Paleozoico, en los cuales las grietas originarias fácilmente han sido llenadas por substancias (calcita, sílice, óxidos de hierro) que suelen actuar como un cemento.

Experimentos de laboratorio efectuados por Daubrée (1879) y por Falsan (1890) han demostrado que no es difícil imitar las estrias de los lamiarés en rocas compactas como el mármol y la diorita (Meunier, 1899; 1904, págs. 279-281; 1907, págs. 47-50). Uno de estos experimentos (el de Falsan) indica que para producir las estrias bastan movimientos diferenciales relativamente pequeños, mientras que el hielo que ha provocado la estriación de los lamiarés progresaba a razón de decenas o centenas de metros por años y durante siglos y siglos. Este resultado está perfectamente de acuerdo con

observaciones de Heim (1885, págs. 404, 405) sobre los efectos del tránsito de peatones con zapatos con clavos y de trineos por sendas de fuerte pendiente; en estos casos, muestras de roca tomadas en la senda a veces « se presentan alisadas con pulimento y estrias que pueden engañar aún a un entendido »; y el simple pulimento, sin estrias, de peñas de caliza o de granito que se asoman en el medio de una pradera puede ser debido, según el mismo autor, al lento desgaste producido por el ganado vacuno, que frecuentemente las aprovecha para rascarse.

Desde más de ciento treinta años se sabe, por observaciones del escocés James Hall (1915, pág. 182; citado por Böhm, 1901, pág. 58), que las corrientes de barro pueden grabar estrias y surcos en las rocas sobre las cuales se escurren.

Los aludes también pueden alisar, pulir y rayar superficies más o menos extensas de rocas resistentes en una manera que imita perfectamente los verdaderos lamiarés; lo demuestra una serie de observaciones efectuadas en los Alpes del Japón (Imamura e Hirabayasi, 1935, págs. 332, 333; Imamura, 1937, págs. 10, 11).

En un valle que se halla al Este del Pico de Sirouma, en la Serranía que se levanta al Este y Nordeste de la de Tateyama, algunos geógrafos (Yamasaki, Schwind y Ogawa) habían notado, en la altitud de aproximadamente 1900 metros sobre el nivel del mar, un amplio afloramiento de roca alisada, pulida y estriada; y vieron en ella la prueba de que en el Pleistoceno un glaciar se había extendido hasta aquel punto. Imamura, considerando esta interpretación poco verosímil, sugirió un experimento, que fué llevado a cabo hábilmente por Hirabayasi. En el otoño de 1934 éste pulió, hasta hacer desaparecer todo vestigio de las estrias, un área rectangular de un metro de ancho y la dejó lisa como un espejo; en el verano de 1935 volvió para observarla y halló 29 estrias nuevas: en una nueva visita, que hizo en el verano de 1936, contó otras 70 estrias, que se habían producido en el invierno anterior. Así quedó comprobado: que aquellas estrias habrán sido causadas por la nieve; que no es posible distinguir estas estrias de origen nival de las de origen glacial; y que, por consiguiente, las estrias no constituyen ninguna prueba de la existencia de glaciares en el pasado.

En el faldeo oriental de Mount Jackson (Glacier National Park, Montana) Dyson (1938, págs. 366, 367) examinó en el verano de 1936 y en el de 1937 un mismo afloramiento estriado de caliza. En su segunda visita pudo comprobar que el número de las estrias había aumentado y que algunos cantos se hallaban justamente en los puntos donde terminaban otras tantas de las estrias nuevas, demostrando que ellas han sido grabadas por cantos arrastrados por aludes en el invierno 1936-1937. Estas observaciones, como las de Imamura e Hirabayasi, están manifiestamente en contra de la opinión, que aún encuentran sostenedores, de que los afloramientos estriados constituyen una prueba terminante de la presencia de glaciares en el pasado. Es ésta la conclusión a que llega, lógicamente, Dyson.

Se ha afirmado que también los hielos flotantes pueden alisar y estriar las rocas de las costas dándoles un aspecto sumamente parecido al de los lamiarres (Heim, 1885, pág. 406).

Apariencias análogas pueden ser el efecto de la caída de grandes bloques, desde alturas considerables, sobre terrazas de abrasión marina; en ciertos casos, las rocas así estriadas habrían sido tomadas por pruebas de antiguas glaciaciones y los bloques que las cubren habrían sido considerados como antiguas morenas (Richthofen, 1886; 1901, págs. 233 y 336).

La corrosión eólica puede marcar, en la superficie alisada de rocas eruptivas, surcos que se asemejan mucho a los de origen glacial (Richthofen, 1886; 1901, pág. 431).

Dislocaciones tectónicas pueden determinar la formación de superficies alisadas, estriadas o surcadas fáciles de confundir con los lamiarres, tanto más cuanto que en ambos casos las rocas más duras toman más pulimento y las menos coherentes presentan surcos más marcados. Los ejemplos de estas superficies alisadas, con estrías o con surcos, son sumamente numerosos; muchos de ellos han sido mencionados por Heim (1878, págs. 8, 25, 26; 1919, págs. 61-63); no pocos han sido observados en el « Nagelfluh ». Es importante recordar que Heim ya en 1878 había notado que muy a menudo estas superficies alisadas y estriadas coinciden con superficies de estratificación a lo largo de las cuales se han efectuado movimientos diferenciales, o sea deslizamientos, durante el plegamiento de potentes series de estratos. Estos deslizamientos corresponden a fallas que han producido a lo largo de superficies de estratificación. En un trabajo anterior (Fossa, 1936, págs. 80-84, 109-119, 128-131) he puesto de relieve la relativa abundancia y la importancia de estas fallas que he llamado « fallas paralelas » (son las « bedding faults » y las « schichtenparallele Verwerfungen » de los geólogos de habla inglesa y alemana, respectivamente), citando algunos casos observados en la Sierra del Morado provincia de San Juan; y en otro (Fossa, 1939, págs. 53, 59, 66-70) he dado algunos ejemplos de « fallas paralelas » visibles en los alrededores de la ciudad de Mendoza. He notado la existencia de muchas otras en la Sierra del Tontal, en la Sierra Chica de Zonda, en la Sierra de Talacasto y en la Sierra de Villicún, comprobando que en algunas de ellas las superficies de deslizamiento se presentan estriadas o surcadas de la misma manera que lo son las del Nagelfluh de Suiza.

Fallas paralelas con estrías y surcos de fricción semejantes han sido observadas por F. Mühlberg en Suiza y por M. Kraus en Boemia (Höfer, 1917, pág. 59) y han sido interpretadas de igual manera.

Otras fallas, que cortan los estratos, también presentan superficies alisadas, estriadas o surcadas, pero es menos frecuente el caso de que se asemejen mucho a lamiarres. Sin embargo, en fallas con deslizamiento horizontal, se ha observado a veces, un aspecto muy parecido (véase, por ejemplo, Cloos, 1936, fig. 202, pág. 252).

En rocas magmáticas las superficies de fallas pueden presentar estrías

que parecen idénticas a las de origen glacial. Un caso típico ha sido señalado cerca de Frankenberg en Sajonia (Freitag y Kästner, 1909, págs. 521-525). Más notable aún parece ser el famoso « Rodadero » del Cuzco, en el Perú, que Dueñas (1907, págs. 25 y 26) describió como un lamiar y que en cambio, según H. E. Gregory (1914, págs. 292-297) sería un gigantesco espejo de fricción producido por una falla inversa; la interpretación de Gregory está corroborada por buenos argumentos. En ambos casos la roca alisada, estriada y surcada es porfírica. Otra explicación, que me parece menos convincente, ha sido sugerida por Gerth (1925, págs. 135-136); según él, aquellas estriás, surcos y acanaladuras pueden proceder del frotamiento de una columna ascendente de magma, sumando viscoso y en parte ya solidificado, contra rocas rígidas frías. También en este caso el Rodadero sería una superficie estriada y surcada por frotamiento, aunque el movimiento ascendente que lo ha causado es debido a acción volcánica y no a fenómenos tectónicos.

Los ejemplos que acabo de dar demuestran que no es difícil incurrir en el error de tomar ciertas superficies de falla por lamiar.

D. PAVIMENTOS ESTRIADOS

El término « pavimento » ha sido aplicado a dos tipos distintos de vestigios, o supuestos vestigios, de antiguos glaciares. Actualmente geólogos de habla inglesa (véase, por ejemplo, Scott, 1932, II, figs. 310 y 312) aplican la denominación de « striated pavement » o de « ice pavement » aun a típicos lamiar. Pero originariamente A. Geikie (1863, pág. 66) definió los « striated pavements » como aquellas superficie de detrito glacial (« till ») en las cuales los bloques prominentes presentan una estriación paralela y uniforme en todos ellos, independientemente de una eventual estriación individual en otras direcciones. Geikie interpretaba esta estriación uniforme en una sola dirección como una prueba de que las antiguas morenas ya estaban bien consolidadas antes de que se produjera una nueva avanzada de los glaciares. Nótese que él se refería a glaciaciones del Pleistoceno. Seguramente la mayor parte de los geólogos actuales no comparte la opinión de Geikie, por cuanto no parece muy probable que en pocas decenas de miles de años el detrito que constituye una morena quede tan perfectamente cementado como se requiere para que muchos cantos se dejen estriar uniformemente en una dada dirección, en lugar de moverse cada uno por su cuenta bajo el empuje de la masa de hielo cargada de piedras. Pero, se acepte o no la explicación de Geikie, la existencia de acumulaciones de detrito glacial con cantos estriados paralelamente está fuera de duda. Puede recordarse que ya las había señalado Maclaren en 1828 en un periódico y en 1839 en una publicación de índole estrictamente geológica (Böhm, 1901, pág. 149). Posteriormente a la comunicación de Geikie (1863) han aparecido otras des-

cripciones de estos « striated pavements » constituidos esencialmente por acumulaciones de cantos y por consiguiente no comparables a lamiares, aunque algunos de éstos habían sido designados de idéntica manera. El inconveniente del doble empleo del término « striated pavement » ha sido salvado por los geólogos norteamericanos mediante el uso de otro que no puede engendrar confusiones : « boulder pavement ».

Cualquiera que sea el término empleado, queda siempre la dificultad de comprender como pueda un glaciar, avanzando, grabar estrias paralelas en una acumulación de fragmentos sueltos o débilmente cementados ; no es verosímil que una morena que se ha formado en una fase anterior de un mismo período glaciar ya esté transformada en un conglomerado muy resistente y tampoco es verosímil que un glaciar, al avanzar, se abstenga de barrer todos los sedimentos sueltos o poco cementados que encuentre en su camino. No me parece improbable que, por lo menos en algunos de estos « boulder pavements », las estrias de dirección uniforme se hayan producido en el interior del glaciar, cada vez que la parte inferior de la masa de material pétreo englobada en el hielo quedaba retenida en alguna marcada concavidad del fondo del glaciar, mientras que la parte superior de la misma masa seguía avanzando regularmente. En un caso como el que acabo de indicar, puede formarse una superficie de separación casi horizontal a lo largo de la cual las dos partes de la masa de detritos cementados por el hielo frotan una contra otra como lo harían los dos labios de una falla, produciéndose así estrias y surcos paralelos en los cantos inmovilizados por el hielo que los rodea.

La idea de que la parte inferior de una espesa morena de fondo pueda quedar en reposo mientras la parte superior avanza, ya fué expresada sesenta años atrás por A. Penck (1882, pág. 32). Aun más antigua es la idea de que la parte profunda de un glaciar, constituida por fragmentos pétreos cementados por hielo, es comparable a un conglomerado, pues cien años atrás Escher de la Linth (1842, pág. 611) escribía que « muy a menudo extensas zonas horizontales de los glaciares, próximas a las superficies inferiores de éstos, están constituidas por una verdadera brecha, cuya parte principal consta de fragmentos de roca, grandes y pequeños, mientras que el hielo del glaciar sólo actúa como cemento ». La idea de que un « boulder pavement » puede formarse por frotamientos de dos bloques de una especie de conglomerado intraglacial en el cual el hielo representa el papel de cemento, es el resultado lógico de la combinación de la idea de Penck con la de Escher. Una vez que admitamos esto, ya no tenemos motivo para negar que la estriación uniformemente paralela de los cantos puede producirse igualmente, por frotamiento, a lo largo de cualquier superficie de falla que corte un conglomerado cuyo cemento posea una tenacidad igual o superior a la del hielo. Por esta razón, el hallazgo de un « boulder pavement » no constituye, por sí solo, una prueba de una antigua glaciación.

E. GRANOS ANGULOSOS Y MINERALES NO ALTERADOS

Es sabido que en las morenas actuales y en las del Pleistoceno abundan fragmentos pequeños de rocas y granos de minerales que se distinguen por su forma angulosa y por su aspecto fresco; evidentemente el hielo los ha protegido del desgaste y de la alteración. La angulosidad de los granos de minerales y de los fragmentos de rocas del mismo tamaño permite reconocer al tacto, por su aspereza, el detrito glacial del Cuaternario; la presencia de minerales que no han sufrido descomposición química se comprueba con toda facilidad mediante el microscopio. Muchos geólogos han creído que estos mismos criterios sirven para determinar si un sedimento del Paleozoico es de origen glacial o no. Mi opinión es diferente.

Está fuera de duda que en las tilitas del Paleozoico la masa que engloba los cantos se presenta muy a menudo áspera al tacto, dando una sensación semejante a la que se recibe al tocar papel de lija; ello se debe efectivamente a la abundancia de granos angulosos y de pedacitos angulosos de roca triturada. Pero es evidente que aún en sedimentos que han sido transportados por el agua puede haber fragmentos pequeños angulosos cada vez que el transporte ha requerido poco tiempo; en ciertos fanglomerados la sustancia que separa los cantos es tan áspera al tacto como la de las tilitas típicas. Por esta razón, la forma angulosa de los granos y la aspereza de la roca carecen de importancia decisiva.

El aspecto fresco de ciertos minerales (por ejemplo, de los feldespatos) es raro en los sedimentos fluviales, lacustres y marinos del Mesozoico y del Cenozoico, pero es frecuente en muchos sedimentos del Paleozoico y especialmente en las llamadas grauvacas. No es difícil explicar esta diferencia si se considera que actualmente la descomposición de los minerales es debida, en gran parte, a la influencia de la vegetación y que todo lo que actualmente sabemos nos induce a creer que la vida vegetal se ha difundido sobre la mayor parte de la superficie de los continentes sólo en el Mesozoico; las ricas floras del Antracólico que conocemos presentan claros indicios de haber poblado regiones bajas, de manera que es permitido suponer que en las alturas, donde la erosión debía ser más activa, no había plantas ni se formaba un verdadero suelo. Esta suposición está de acuerdo con el hecho de que las grauvacas son típicamente del Paleozoico; particularmente abundantes en los sistemas más antiguos, son ya menos comunes en el Carbonífero y se vuelven raras en el Pérmico.

Las consideraciones que anteceden nos autorizan a atribuir escasa importancia a los caracteres de los granos y de los fragmentos pequeños de roca que se hallan entre los cantos de conglomerados más o menos semejantes a morenas lapidificadas.

F. SEDIMENTOS BANDEADOS (CON « VARVES »)

A veces la simple presencia de zonas delgadas (« varves ») constituidas por material arenoso muy fino y por material arcilloso en regular alternancia ha sido interpretada como una prueba del origen glaciolacustre de un sedimento y, por consiguiente, como una demostración de la contemporánea existencia de glaciares en la misma región. En realidad las varves sólo indican que el sedimento que las presenta se ha depositado en aguas tranquilas y que el aporte de partículas de diferente tamaño variaba con cierta regularidad en distintas estaciones del año. Pero, si examinamos con atención la composición y textura de cada varve, podemos comprobar si ellas ofrecen o no ciertos caracteres que se han observado en los depósitos recientes que se forman en los lagos alimentados por las aguas de fusión de los glaciares, pero no en otros sedimentos bandeados actuales; los caracteres a que me refiero han sido resumidos claramente por Twenhofel (1939, págs. 498, 499). Es razonable suponer que todos los sedimentos bandeados cuya composición y textura corresponden a las de los depósitos glaciolacustres se han formado en proximidad de glaciares; por consiguiente las rocas que presentan « varves » de un tipo determinado constituyen los indicios más seguros de la existencia de antiguas glaciaciones. La importancia y utilidad del estudio petrográfico de estas rocas bandeadas están evidenciadas en los excelentes trabajos de Leinz (1937, págs. 18-22; 1938, págs. 42-44) sobre los sedimentos glaciales del Antracólítico del Sur del Brasil.

El origen glaciolacustre de los estratos bandeados puede considerarse comprobado cada vez que se observen en ellos ciertas concreciones discoidales de un tipo particular que, al parecer, sólo se encuentra en sedimentos glaciolacustres. Hasta hace poco estas concreciones habían sido señaladas sólo en el Pleistoceno de Europa y de la América del Norte, pero recientemente Frenguelli (1941, págs. 379-374; 1942, págs. 163, 164) ha descrito numerosos ejemplares hallados en el territorio de Santa Cruz (en el Pleistoceno y en un nivel estratigráfico indeterminados del Paleozoico) y en las provincias de San Luis y de San Juan (en el Antracólítico). Le debemos a Frenguelli la indicación de que estas concreciones discoidales « nos proporcionarían un criterio positivo para la identificación de algunos sedimentos de interpretación hasta ahora dudosa por carecer de un contenido paleontológico para tal fin más adecuado »; y también le debemos las primeras aplicaciones prácticas de este criterio, que lo han llevado a señalar el origen glaciolacustre de ciertas capas del Paleozoico del Lago San Martín (territorio de Santa Cruz) y del llamado Bajo de Velis (provincia de San Luis).

A mi juicio, los mejores indicios de antiguas glaciaciones están constituidos por los sedimentos bandeados (en la manera especificada por Twenhofel) que contienen concreciones discoidales del tipo descrito por Frenguelli.

G. UN EJEMPLO TÍPICO DE LA DIFICULTAD DE COMPROBAR
LA EXISTENCIA DE GLACIACIONES DEL PALEOZOICO

Unos noventa años atrás, Ramsay, al estudiar los afloramientos del Carbonífero y del Pérmico de Shropshire, de Worcestershire y de Staffordshire, en el oeste de Inglaterra, observó que cierta brecha, que refería al Pérmico, contenía fragmentos de roca alisados, surcados y estriados (a menudo en dos o más direcciones) como aquellos que había visto muchas veces en el detrito glacial del Pleistoceno; de esta observación infirió el origen glacial de esta brecha, conocida localmente bajo el nombre de « brockram ». Naturalmente, se imaginaba que el anuncio de su descubrimiento provocaría objeciones; y trató de prevenirlas, diciendo: « Se ha dicho que en cualquier brecha o conglomerado puede haber piedras estriadas, pero nunca las he visto en otras brechas antiguas y creo que en estos fragmentos del Pérmico un ojo ejercitado no tendrá dificultad en reconocer los caracteres peculiares de la estriación glacial » (Ramsay, 1885, pág. 199). Pocos años después se reconoció la presencia de depósitos glaciales en la Serie de Talchir de la India (W. V. Blanford, H. F. Blanford y W. Theobald, 1859) y entonces la interpretación de Ramsay pareció aún más verosímil. Lyell (1872, pág. 223) dice que, después de haber examinado algunos cantos estriados coleccionados por el propio Ramsay, ha llegado a la conclusión de que el origen glacial del brockram proporcionaría la explicación más natural, y quizá la única, compatible con los conocimientos de entonces. Oldham (1894, pág. 468), admite que una parte de los cantos del brockram deben sus estrias a la acción del hielo y opina que la brecha puede ser un depósito glaciofluvial. A. Geikie (1903, págs. 1050, 1070) opina que las estrias han sido producidas por el hielo, pero que las brechas que contienen estos cantos estriados se han acumulado en pequeños lagos o bien en algún fjord angosto. King (1899, pág. 128) concluye su importante estudio sobre esta misma brecha afirmando que ha observado superficies estriadas aún en el interior de los cantos y que ha notado que la abundancia de fragmentos estriados es mayor en las partes del brockram que han sufrido dislocaciones más fuertes; en su opinión, el origen de las estrias es puramente tectónico. Coleman (1928, pág. 93) después de haber visitado los afloramientos de Shropshire en compañía del propio King, dice que una parte de la brecha le parece de origen glacial. J. W. Gregory y Barrett (1931, pág. 131) consideran el brockram como un típico depósito de desierto, dejado por torrentes, y atribuyen las estrias de los cantos al asentamiento del detrito y movimientos a lo largo de fallas. Salomon-Calvi (1933, pág. 114) cree que los datos proporcionados por los distintos autores que se han ocupado de los cantos estriados del brockram autorizan a suponer que se trate simplemente de un fanglomerado.

La literatura sobre el brockram es muy abundante; pero las pocas noti-

cías que acabo de dar ya me parecen ampliamente suficientes para evidenciar la imposibilidad de establecer con absoluta seguridad si ciertos sedimentos son o no de origen glacial. El hecho de que los Midlands de Inglaterra pertenecen a una de las regiones de Europa más estudiadas por los geólogos y que los afloramientos del brockram han sido examinados por algunos de los más eminentes cultores de la geología glacial, me parece particularmente significativo, si los comparamos al estado actual de nuestros conocimientos sobre la geología argentina, basados en gran parte sobre observaciones de investigadores que no han podido dedicar el tiempo necesario a levantamientos geológicos detallados ni han tenido muchas oportunidades para comprobar la exactitud de las afirmaciones formuladas con anterioridad por otros.

III. INDICIOS DE GLACIACIONES DEL PALEOZOICO SEÑALADOS EN LA ARGENTINA

A. SUPUESTAS GLACIACIONES DEL ORDOVÍCICO

Las primeras noticias acerca de la existencia de sedimentos glaciales del Ordovícico las he leído en un trabajo de Schlagintweit (1937, pág. 2), donde este distinguido geólogo dice que Keidel le comunicó, oralmente, que « ya años atrás, había hallado en la Quebrada del Toro tilitas en varios niveles del Ordovícico inferior ». En una publicación reciente, Keidel (1941, págs. 93-96) especifica que ya en 1919 había observado en la Quebrada de Incamayo, que desemboca en la Quebrada del Toro, bloques estriados que interpretó como vestigios de una glaciación del Ordovícico, inclinándose a suponer que han sido llevados hasta aquel antiguo mar por hielos flotantes; y agrega que en un lugar relativamente cercano (Angostura de la Quesera) ha visto un conglomerado con restos de fósiles marinos, que en su parte superior contiene algunos cantos con estriás que atribuye a la acción del hielo. Tanto la Quebrada de Incamayo como la Angostura de la Quesera se hallan en el departamento de Rosario de Lerma, provincia de Salta.

En la provincia de Jujuy, De Ferrariis (1940, págs. 27-29) ha señalado indicios de una glaciación del Ordovícico inferior (Tremadociano) en el Cerro Morado de Purmamarca. Keidel (1941, pág. 93) menciona el hallazgo de De Ferrariis, admite explícitamente la existencia de depósitos glaciales del Tremadociano en el Cerro Morado y alude a las complicadas condiciones de estructura, pero no entra en detalles.

A mi juicio, los supuestos depósitos glaciales del Cerro Morado son particularmente instructivos, así que creo conveniente exponer con cierta amplitud lo que sé al respecto.

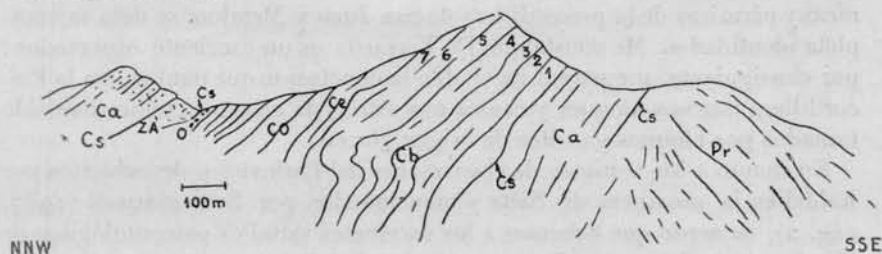
En el año 1936 tres alumnos del Museo de La Plata (J. Daniel, C. I. C. De Ferrariis y A. Herrero Ducloux) efectuaron, bajo la dirección de Keidel, una serie de estudios detallados en el trecho de la Quebrada de Humahuaca

que comprende los alrededores de Tilcara y de Purmamarca. Los resultados de estas investigaciones, que fueron publicados en 1940, constituyen una importantísima contribución al conocimiento de la estratigrafía y de la tectónica de la provincia de Jujuy y evidencian a la vez las notables aptitudes de los tres jóvenes geólogos y la habilidad del maestro ; a éste hay que reconocerle el doble mérito de haber sugerido argumentos tan interesantes para tesis de doctorado y de haber logrado poner a sus discípulos, en pocos meses, en condiciones para superar las dificultades que proceden del número y del tipo de dislocaciones que perturban la sucesión normal de los estratos en el valle de Humahuaca.

En la zona que se extiende inmediatamente al oeste de la Quebrada de Humahuaca, De Ferrariis y Herrero Ducloux han señalado muchas superficies de corrimiento que determinan una curiosa estructura en escamas. En ciertos casos, la acción mecánica del corrimiento ha afectado a enteros grupos de estratos de espesor no despreciable, así que se han formado « zonas de corrimiento », en las cuales las capas han sido aplastadas, laminadas y fracturadas hasta el punto que han desaparecido las trazas de las superficies de estratificación. Casi siempre las superficies de corrimiento (o bien, los límites de las zonas de corrimiento) forman ángulos muy agudos con las superficies de estratificación. El espesor de las escamas, medido perpendicularmente a la estratificación, a veces no pasa de pocas decenas de metros (Herrero, 1940, perfiles 2ª y 3ª, págs. 55-57 ; De Ferrariis, 1940, fig. 6, pág. 42) ; en ciertos casos las superficies de corrimiento no son paralelas y por consiguiente delimitan verdaderas cuñas tectónicas (Herrero, 1940, perfil 1, pág. 53).

El supuesto vestigio de una glaciación del Ordovícico descubierto por De Ferrariis en el Cerro Morado de Purmamarca consiste en un banco de conglomerado, de un metro o dos de espesor total. Dice De Ferrariis (1940, pág. 28) que « no es una tilita en el sentido propio del término sino un depósito grueso, constituido por cantos rodados aglomerados, en gran parte gastados y de distinta orientación dentro de la roca... El conglomerado debe haberse depositado no lejos de antiguos glaciares. Esto se infiere de los escasos cantos rodados de cara plana y estriada de los cuales uno característico lo reproduce la figura 20. Las estrias, en parte anchas y profundas, comparativamente no son de origen tectónico, como podría sospecharse, dada la proximidad de la zona de aplastamiento. Por el contrario, son estrias que produce el movimiento del hielo en los bloques y rodados de las morrenas ». Un poco antes, en la misma página, se lee que « sobre el conglomerado descansa, en una faja angosta, una mezcla de rocas producida por el aplastamiento tectónico y hasta milonitización ». Más adelante De Ferrariis (1940, págs. 63, 64) explica que « en el Cerro Morado las capas cámblicas constituyen dos escamas tectónicas inclinadas hacia el este » y agrega : « El plano de corrimiento principal entre las dos escamas mencionadas, salta a la vista en el flanco occidental del Cerro Morado, particularmente en la cabecera homóni-

ma que baja por el costado norte del cerro, con rumbo sudsudoeste. En estos lugares encontramos arriba del conglomerado marino-glacial referido al Ordovícico inferior, una angosta faja de aplastamiento de las rocas. El plano de corrimiento se halla arriba del conglomerado marino glacial». Estas condiciones están representadas en el «perfil F» de De Ferrariis (1940, pág. 48, fig. 8), aquí reproducido utilizando el mismo clisé; se ve bien que la «zona de aplastamiento» (que parece tener un espesor de cincuenta o sesenta metros) se presenta separada mediante dos «corrimientos secundarios», de la serie de «cuarcitas inferiores» del Cámbrico y del supuesto conglomerado marino-glacial. Es evidente, pues, que este «conglomerado» debe haber sufrido enérgicas acciones mecánicas, por hallarse inmediatamente debajo de una brecha de fricción, o milonita, de considerable espesor; esta simple consideración bastaría para justificar la sospecha que el «conglomerado» sea simplemente una brecha de fricción y que las estrias de los cantos sean imputables al frotamiento de un fragmento contra otro.



Perfil F. Cerro Morado de Purmamarca: Ca, cuarcitas inferiores; Ch, areniscas de colores vivos; 1, rojo-oscuro; 2, verde-esmeralda; 3, rosa-viejo; 4, verde-cloro; 5, rojo-oscuro; 6, rosa-viejo; 7, Cs, cuarcitas superiores; Cs, corrimiento secundario; CO, Cambro-ordovícico; O, Ordovícico (congl. marino-glacial); ZA, zona de aplastamiento; Pr, Proterozoico.

Conozco bien el pedazo de roca que De Ferrariis menciona, en su tesis, como un canto glacial característico, pues él mismo me lo enseñó; recuerdo haber dicho a él y a Daniel que me parecía muy interesante como ejemplo de superficie de falla. Lo fotografié en diferentes condiciones de luz, entregué las ampliaciones a De Ferrariis (una de ellas, recortada, está reproducida en su fig. 20, pág. 91) y guardé los dos negativos. Esta circunstancia me permite agregar, al final del presente trabajo, una lámina con las reproducciones de aquellas fotografías, en las cuales resultan bien evidentes los surcos aproximadamente paralelos grabados por fragmentos más duros que se desprendían de los labios de la falla a medida que el rozamiento de las paredes eliminaba las partes más salientes. He notado este mismo aspecto en superficies de fallas que he observado en los Alpes, en los Apeninos y en las Sierras Subandinas de las provincias de Salta y Jujuy, como también en varios lugares de las provincias de San Juan y de Mendoza. Recuerdo que en abril de 1937 enseñé una de estas superficies de fricción estriadas y sur-

cadás, entonces visible cerca de la estancia Papagayos, a algunos de los que participaron en la Segunda Reunión de Ciencias Naturales que en aquellos días se celebraba en la ciudad de Mendoza.

Mi primera opinión acerca del origen tectónico de los surcos y estrías del canto del supuesto conglomerado marino-glacial del Cerro Morado encuentra, a mi modo de ver, una nueva justificación en los interesantísimos datos sobre las estructuras de corrimiento de los alrededores de Purmamarca, publicados por el propio De Ferrariis. Por consiguiente, hoy me atrevo a opinar que los supuestos indicios de una glaciación del Ordovícico señalados en la región de Purmamarca se explican de una manera mucho más sencilla y verosímil si los atribuimos a los efectos mecánicos de una dislocación tectónica.

El único argumento aparentemente decisivo aducido por De Ferrariis para corroborar su interpretación, es el siguiente: «Comparando las estrías del rodado reproducido en la figura 20 y las de los otros rodados con las estrías que muestran muchos bloques y cantos rodados de las tilitas carbónicas y pérmicas de la precordillera de San Juan y Mendoza se nota la completa identidad». Me consta que De Ferrariis es un excelente observador; por consiguiente, me parece inevitable la conclusión que también en la Precordillera muchos bloques y cantos con estrías de origen tectónico han sido tomados por bloques y cantos de origen glacial.

En cuanto a los vestigios de glaciaciones del Ordovícico descubiertos por Keidel en la provincia de Salta y mencionados por Schlagintweit (1937, pág. 2), recuerdo que debemos a los excelentes estudios paleontológicos de Harrington la determinación exacta de la edad de los estratos entre los cuales se intercalan los supuestos depósitos marino-glaciares y, por consiguiente, la determinación aproximada de la edad de éstos, que deben referirse a alguna sección del Tremadociano (Harrington, 1937, págs. 97, 98, 121; 1938, págs. 197, 198). No estoy igualmente bien enterado de las condiciones tectónicas de los afloramientos de conglomerados a que se atribuye un origen glaciomarino, pues no he visto mapas ni cortes geológicos sino tan sólo he leído concisas descripciones; pero de una de ellas, que se refiere a la zona al este de la Quebrada del Toro, resulta evidente que la serie de estratos del Ordovíciano está afectada por dislocaciones que han causado la supresión local de ciertos grupos de capas que pertenecen a distintos niveles estratigráficos, reduciendo, en conjunto, el espesor del Ordovíciano (Keidel, 1941, pág. 96). Si estas dislocaciones fueran cobijaduras, el espesor total resultaría aumentado y habría repetición, y no supresión, de determinados grupos de estratos; por consiguiente, debe tratarse de varias fallas paralelas a la estratificación acompañadas por laminación y adelgazamiento de enteros grupos de estratos, o bien de una o más fallas directas de poca inclinación, comparables a las que, según Baldry (1938, págs. 348-351) cortan los estratos del Terciario en la región petrolífera de Lobitos (Perú). Nótese que en el primer caso podrían haberse formado conglomerados con cantos estriados

como los del Nagelfluh de Suiza; y en el segundo caso podrían haberse producido zonas de brecha de fricción con aspecto de tilita, como ha ocurrido efectivamente en Lobitos, según Baldry. Naturalmente, éstas son simples conjeturas, cuyo punto de partida es la discrepancia en la interpretación del conglomerado con cantos estriados del Cerro Morado de Purmamarca, cuyo origen glacial ha sido admitido por De Ferrariis y por Keidel.

B. SUPUESTAS GLACIACIONES DEL GOTLÁNDICO

Schlagintweit (1937, pág. 2) ha señalado la presencia de «tilitas típicas» en una serie de estratos que afloran en el Arroyo de Garrapatal (departamento de San Pedro, provincia de Jujuy) y está comprendida entre capas fosilíferas del Ordovícico inferior y capas fosilíferas del Devónico; en julio de 1937, conversando, me manifestó oralmente la opinión de que le parecía probable que estas tilitas sean del Gotlándico. Schlagintweit es un observador sumamente hábil y suele ser extraordinariamente cauteloso en sacar conclusiones de los hechos observados; estoy seguro de que lo que él llama tilita parecería tal a cualquier otro geólogo. Sin embargo, creo que ningún geólogo es capaz de distinguir una tilita verdadera de ciertas masas conglomerádicas caóticas que presentan aspecto idéntico y son producidas por fricción en regiones que han sufrido dislocaciones de cierto tipo especial, paralelamente a las superficies de estratificación. Por estas razones, corroboradas por el recuerdo de las fallas longitudinales que he visto en la zona de Garrapatal, me permito dudar de la existencia de tilitas del Paleozoico inferior o medio en la Sierra de Zapla¹.

¹ Pocos días antes de recibir las segundas pruebas de imprenta del presente trabajo, he leído un interesante artículo del doctor Otto Schlagintweit, titulado *La posición estratigráfica del yacimiento de hierro de Zapla y la difusión del Horizonte Glacial de Zapla en la Argentina y en Bolivia*, que ha aparecido en las páginas 115 a 127 del número 4 del tomo XIII de la *Revista Minera* de Buenos Aires; es el fascículo que corresponde al último trimestre de 1942, pero ha sido distribuido con algunos meses de retardo. El artículo proporciona algunos datos significativos acerca de la constitución litológica de las supuestas tilitas del Gotlándico, que son las que forman el «Horizonte Glacial de Zapla».

Schlagintweit las ha observado en varias partes de las provincias argentinas de Jujuy y Salta y de los departamentos bolivianos de Tarija, Potosí y, posiblemente, del Beni.

Por lo menos en un lugar, en el valle del Río Lipeo (Salta), las supuestas tilitas son «en parte bien estratificadas» (pág. 122) y en otro, en el valle del Río Orozas (Tarija), «las tilitas se vuelven hacia arriba más y más estratificadas» (pág. 123). En mi opinión, es poco probable que un sedimento de origen puramente glacial, como lo es una tilita, presente una estratificación evidente.

Por lo menos en cuatro lugares, que se hallan en los valles de los arroyos Garrapatal, Los Tomates y Acheral (Jujuy) y en el del Río Baritú (Salta), los cantos de las supuestas tilitas son, en su mayoría, de cuarzo (págs. 117, 118, 121 y 122). Observo que los cantos de cuarzo suelen predominar sólo en los sedimentos depositados por torrentes o ríos que vienen de regiones donde hay extensísimos afloramientos de esquistos poco resistentes

Keidel (1938, págs. 176-179) ha descrito un conjunto de esquistos, grauvacas y conglomerados dislocados que afloran en el faldeo oriental de la Sierra Chica de Zonda (provincia de San Juan); lo ha referido al Gotlándico porque en el material fino que se halla entre los cantos del conglomerado (que en parte son de caliza ordovícica fosilífera) ha hallado, en ciertos puntos, restos de braquiópodos que ha logrado identificar con una especie que se considera característica del Gotlándico. La importancia de este hallazgo es indiscutible.

El conjunto de estratos (mejor dicho, de fragmentos de estratos) que Keidel refiere al Gotlándico aflora entre el Baño de la Lechuza y la Quebrada de la Flecha en condiciones muy favorables para su estudio; pero las complicaciones tectónicas son tales que es difícil describirlas y casi imposible comprender cómo pueden haberse producido. Conozco algunos de estos afloramientos desde hace varios años y he visitado otros sólo algunos meses atrás. Me he dado cuenta desde el primer momento que se trata de una mezcla tectónica comparable a las del Wildflysch de Suiza y de las « Argille Scagliose » de las provincias italianas de Parma, Reggio Emilia, Módena y Bolonia; pero en la Sierra de Zonda estas dislocaciones espectaculares se han producido en una escala mayor y, además, los afloramientos más característicos son visibles sólo en valles relativamente angostos y hondos, de manera que resulta más difícil obtener una visión de conjunto. La descripción dada por Keidel es magistral, aunque muy concisa, y está acompañada por buenas ilustraciones. Dice Keidel, entre otras cosas, que los esquistos y grauvacas del Gotlándico « se presentan como una masa de rocas movidas que a veces ha sido triturada, como puede verse en la figura 6 que reproduce además de ciertos esquistos arcillosos y grauvacas, una banda, incluida entre ellos, de estratos del Gotlándico con muchos bloques y terrones de caliza del Ordovícico. Los esquistos arcillosos y las grauvacas, cuya edad no se conoce, han sido tan trastornados que la conexión primitiva de los estratos se ha perdido casi por completo... Esto se deja reconocer no sólo por la textura sino también, y en modo más evidente, por los muchos

(especialmente micacitas) atravesados por venas de cuarzo; y esto ocurre porque en la primera fase del transporte los fragmentos de estos esquistos se desmenuzan en laminillas tenuísimas y granos muy pequeños que una débil corriente puede llevar muy lejos, mientras que los trozos de cuarzo se depositan en el fondo del torrente, o río, no bien la corriente termina de ser impetuosa. No puede ocurrir lo mismo cuando el agente de transporte es el hielo, pues si un glaciar se ha abierto camino a través de una masa de micacitas (o de rocas semejantes) atravesadas por venas de cuarzo, en sus morenas los fragmentos de estas rocas esquistosas predominan necesariamente sobre los de cuarzo.

Estas observaciones no disminuyen en nada el valor del artículo de Schlagintweit, pues sus resultados esenciales (o sea, la determinación aproximada de la posición estratigráfica de la capa hematítica de Zapla y el hallazgo de un excelente horizonte de correlación que se mantiene reconocible en una extensión de más de seiscientos kilómetros de sur a norte) no quedan afectados en lo más mínimo por las dudas que pueda haber referente al origen de la formación conglomerádica de la Sierra de Zapla.

bloques y terrones de caliza y también por los jirones y terrones de un conglomerado grueso y de una caliza de color gris pardusco, a veces algo calcárea, que están englobados sin orden alguno en medio de los esquistos arcillosos ». La figura 6 de Keidel representa un trecho, próximo al Baño de la Lechuza, del flanco boreal de una de las estribaciones de la Sierra Chica de Zonda y podría interpretarse como una gigantesca zona de fricción que se habría formado a lo largo de una falla importante y separaría un gran afloramiento de esquistos arcillosos (al Este) de otro afloramiento también extenso, de grauvacas (al Oeste): me parece significativo el hecho de que lo que me parece ser una zona de fricción pasa por una especie de portezuelo, mientras que los esquistos arcillosos, que deberían ser menos resistentes, determinan la cima más oriental (visible) de la estribación.

Luego Keidel dice: « El conglomerado merece especial consideración. No es una tilita, como las hay en lugares muy cercanos en los Estratos de Paganzo y en tantos otros sitios de la Precordillera en grupos de estratos del Paleozoico superior. Sin embargo, este conglomerado debe estar relacionado con depósitos de glaciares, porque se encuentran en él, a menudo, cantos de grauvaca y de cuarcita bien estriados y pulidos, que no se distinguen de aquellos de indudables antiguas morenas ». Como ejemplo de este conglomerado, Keidel reproduce, en su figura 7, la fotografía de un afloramiento próximo al Baño de la Chilca; y agrega que en esta vista « llaman la atención un bloque particularmente grande de caliza y la caótica disposición de los cantos ». En mi opinión, la figura 7 de Keidel deja ver otras cosas no menos interesantes: son las fracturas, soldadas o no, de algunos cantos, según planos aproximadamente normales al diámetro mayor. He notado repetidamente que estas fracturas se observan en las capas de conglomerado que han sufrido un estiramiento en una dirección paralela a la estratificación y una compresión en la dirección normal a la estratificación; lo cual es fácil de explicar si se recuerda la escasa resistencia a la tracción de las rocas. He visto un hermoso ejemplo de conglomerado estirado con cantos fracturados, que probablemente pertenece también al Gotlándico, en el flanco oriental de la Sierra de Villicún (provincia de San Juan) y precisamente a lo largo del arroyo de San Agustín, unos cinco kilómetros al oeste-sudoeste del lugar llamado « Las Torrecillas ». Me condujo a ver este afloramiento, en marzo de 1942, el doctor Julio R. Cabeza Quiroga que entonces estaba efectuando el levantamiento geológico expeditivo de la Sierra de Villicún y deseaba conocer mi opinión acerca de la probable edad de los esquistos, conglomerados y grauvacas que había observado en dicha parte de la Sierra.

La figura 7 de Keidel representa, si recuerdo bien, un afloramiento que visité en noviembre de 1936 y en el cual me pareció ver una mezcla tectónica de muchas rocas, entre las cuales debía haber conglomerados, cuyos cantos habían sido separados, en parte, de la masa arenosa o arcillosa que originariamente se interponía entre ellos; pero estoy seguro de que no he

logrado hallar los cantos estriados (mencionados en la leyenda de la figura) aunque los he buscado con empeño : posiblemente los pocos que había han sido recolectados anteriormente por otros geólogos. Noté, en cambio, los cantos fracturados. Recuerdo que cantos fracturados de la misma manera han sido observados en el Nagelfluh de Suiza (Heim, 1878, pág. 26, lám. XIV, fig. 12 y lám. XV, fig. 2 : 1919, pág. 63, fig. 5 b) en el cual no son raros los cantos estriados por fricción.

Por estas razones, no creo que los cantos estriados de los conglomerados del Gotlándico de la Sierra Chica de Zonda conserven las marcas grabadas por antiguos glaciares ; las fuertes dislocaciones que han originado la sorprendente mezcla tectónica me parecen más que suficientes para pulir, estriar, surcar y fracturar cantos ya existentes, como también para transformar fragmentos de estratos resistentes en objetos ovoidales y elipsoidales que se asemejan muchísimo a cantos rodados fluviales. En un vallecito que desemboca algunos cientos de metros al Sur del Baño de la Lechuza he visto una brecha de falla que se parece a una pudínga ; la falla, casi vertical, corta una serie de estratos arcillosos esquistosos con intercalaciones de arenisca en capas relativamente delgadas ; la brecha de fricción está constituida por fragmentos de arenisca, gastados hasta adquirir forma elipsoidal achatada, y por una pasta intersticial arcillosa y arenosa que se comporta como un cemento, de manera que uno cree ver un filón de pudínga atravesando los esquistos arcillosos. Probablemente no pocos de los cantos más o menos redondeados que se observan en otras partes de esta región tan dislocada han adquirido su forma actual por la fricción. No sería el nuestro un caso único y tampoco excepcional ; sobre estas particulares brechas pudíngoides de fricción existe una literatura relativamente abundante (algunas indicaciones al respecto se hallan en un trabajo que publiqué en 1925).

En la comunicación presentada al Octavo Congreso Científico Americano, Keidel expuso algunas otras ideas acerca de los supuestos vestigios de las glaciaciones del Gotlándico. Los esquistos y grauvacas de edad desconocida englobarían no sólo las capas del Gotlándico y terrones y bloques de caliza del Ordovícico, sino también areniscas y conglomerados que « muy probablemente » son del Paleozoico Superior, o sea del Antracolítico. Habría muchos estratos con grandes bloques de origen glacial diseminados en una pasta a veces esquistosa y calcárea, otras veces arenosa y micácea. Los varios depósitos glaciomarinos del Gotlándico deberían referirse más bien a la parte inferior que a la parte más alta de este sistema ; por consiguiente, estos depósitos serían más antiguos que las tilitas de la Table Mountain (provincia del Cabo, Sud Africa). Estos conceptos son muy interesantes, aunque no aportan ningún argumento nuevo en favor del origen glacial de los bloques y cantos pulidos y estriados.

C. SUPUESTAS GLACIACIONES DEL CARBONÍFERO INFERIOR

Creo que la primera alusión a la posible existencia de vestigios de glaciaciones eocarboníferas en la Argentina fué formulada por W. Penck, aunque de una manera poco explícita. En su obra sobre el borde austral de la Puna de Atacama, Penck (1920, pag. 139, nota 1), después de haber mencionado los conglomerados de Retamito y de la Puerta de Guanchin que refiere al Carbonífero inferior, dice que cerca de Los Angulos (departamento de Famatina, provincia de La Rioja) halló «un terrón de conglomerado de Paganzo sin estratificación, enclavado en granito. En una pasta arcillosa están englobados cantos rodados que están estriados de la manera más evidente». Según Penck, esto indicaría que «sin duda alguna» se trata de una tilita.

A este propósito, Keidel (1922, pág. 247, nota 3) observó que «en lo que a los cantos rodados estriados del conglomerado de Angulos se refiere, bueno habría sido figurarlos, por cuanto las estrías de los cantos rodados que de esta localidad se guardan en el Museo de la Dirección general de Minas son poco convincentes de un origen glaciar, desde que pueden ser estrías producidas por presión tectónica». A continuación Keidel, sin negar la posibilidad de que (a pesar del aspecto poco convincente de algunos cantos) pueda tratarse de una verdadera tilita, afirmó que en este caso no puede pertenecer al Carbonífero inferior.

En la misma publicación, Keidel (1922, págs. 255-257 y 333-335) describió brevemente, llamándolos tilitas, ciertos conglomerados que afloran en tres lugares en el valle del Arroyo de las Cabeceras, más o menos cerca de la estancia que los geólogos suelen designar con la denominación de «Leoncito Encima». Keidel había hallado fósiles marinos, que entonces refería al Pérmico, «en el afloramiento medio, situado al lado izquierdo del valle y a unos 150 metros aguas arriba de la casa de Leoncito Encima», y había notado que «la morrena en la que están acumulados muchos cantos rodados estriados, sale en el yaciente de la serie de sedimentos arenosos en la que están intercaladas las escasas camadas fosilíferas». De estas palabras se infiere que la serie de estratos arenosos y en parte fosilíferos (o «bancos marinos-glaciares», como también los llama Keidel) descansa encima del conglomerado con cantos estriados.

Du Toit (1927, págs. 33, 34) visitó los alrededores de Leoncito Encima y también observó que sobre el conglomerado que aflora en las inmediaciones de la estancia hay estratos arenosos y conglomerádicos; y consideró los primeros como tilitas y los últimos como depósitos fluvio-glaciales. Además notó, en este lugar, unas superficies estriadas cubiertas en parte por cantos, y creyó haber descubierto otros tantos «boulder pavements» particularmente característicos. En otro afloramiento, situado a la izquierda del Arroyo de las Cabeceras, unos tres kilómetros aguas arriba de Leoncito

Encima, observó « tilitas » plegadas y apretadas en medio de pizarras y grauwacas ; vió, además, que estas rocas presentan, en la superficie de contacto con las « tilitas », el aspecto alisado y estriado que se suele considerar característico de los lamiars.

El 7 de noviembre de 1936 recorri rápidamente, en compañía del ingeniero José Tarragona, el trecho del valle del Arroyo de las Cabeceras, desde la estancia del señor Salcedo (Leoncito Encima) hasta la Ciénaga del Medio, con el sólo objeto de conocer el aspecto de las rocas mencionadas por Du Toit. Noté que los conglomerados que afloran cerca de la estancia están atravesados por pequeñas fallas y por diaclasas : el buzamiento de las superficies de falla es muy fuerte y hacia el Noroeste ; el de las diaclasas es suave y hacia el Sudeste o bien muy fuerte y hacia el Este-nordeste ; y a menudo estas diaclasas han sido soldadas, formándose vetas. El tamaño de los cantos (en general redondeados y a menudo deformados o fracturados) es relativamente uniforme y la pasta que los separa no es muy abundante : por estos caracteres el conglomerado no se asemeja mucho a un depósito morénico típico. No he visto superficies alisadas comparables a lamiars, ni cerca de la casa ni en el lecho del arroyo. Estoy seguro de que si no hubiera tenido conocimiento de las opiniones de Keidel y de Du Toit, no se me habría ocurrido pensar en el posible origen glacial de los conglomerados de Leoncito Encima ; pero lo atribuyo a la circunstancia de que no he tenido la suerte de pasar por los puntos más interesantes.

Posteriormente ha aparecido el importantísimo trabajo de Keidel (por la parte geológica) y Harrington (por la parte paleontológica) sobre las tilitas de Leoncito Encima y su edad. Considero particularmente instructivos los tres excelentes perfiles y la detallada leyenda que los acompaña (Keidel y Harrington, págs. 108, 109). Los perfiles nos hacen ver una serie de estratos que divergen hacia abajo, lo cual nos obliga a suponer que hubo una enérgica compresión y laminación de las capas, con deslizamientos más o menos acentuados a lo largo de las superficies de estratificación. La leyenda distingue, en dicha serie, veinte grupos de estratos ; en seis de estos grupos Keidel ha notado laminaciones, fracturas y ondulaciones que atribuye a movimientos diferenciales.

El grupo más importante, desde nuestro punto de vista, es el indicado con el número 19, por cuanto está constituido, en su mayor parte, por tilitas ; en varios lugares está separado del grupo n° 20 (areniscas y conglomerados considerados fluvioglaciales por Du Toit) por un « plano de movimiento tectónico ».

En la parte superior del grupo n° 19, Keidel ha notado cuatro superficies pulidas y estriadas, dos de las cuales « coinciden con las caras superiores de capas de areniscas intercaladas entre las tilitas ». Según Keidel, estas superficies han sido alisadas por acción glacial y « cada una de ellas, con el estrato de tilita sobrepuesto, indica un retroceso y nuevo avance de los antiguos glaciares ». Una excelente fotografía de una de estas superficies puli-

das y estriadas (que coinciden con las caras superiores de estratos de arenisca) está reproducida en una lámina (Keidel y Harrington, 1938, págs. 111, 129, lám. VI).

Me resulta difícil comprender cómo la base de una tilita, que debería estar constituida por una superficie de discordancia, pueda coincidir con una superficie de estratificación; y me resulta imposible creer que un fenómeno tan extraordinario se haya repetido cuatro veces y justamente en el mismo lugar, causando la formación de cuatro superficies alisadas y estriadas sobrepuestas, paralelas entre sí y separadas una de otra por pocos metros de tilita en bancos de espesor uniforme. A mi manera de ver, todo se explica muy fácilmente si se supone que el alisamiento y las estrias son debidas a movimientos tectónicos a lo largo de superficies de estratificación, o sea a fallas paralelas a la estratificación. Si la cara inferior de un banco de conglomerado es obligada a moverse sobre la cara superior de un estrato de arenisca, es natural que algunos de los cantos del conglomerado marquen otras tantas estrias en la cara superior del estrato de arenisca, mientras que una parte del conglomerado, pulverizada por la fricción, destruye las pequeñas asperezas y alisa la arenisca. La lámina VI de Keidel y Harrington confirma esta suposición, por cuanto nos deja ver el paralelismo de las estrias (que yo llamaría surcos) y el tamaño relativamente uniforme de los cantos del conglomerado.

Es de la misma opinión, en lo que se refiere a dicha lámina, Dunbar (1940, pág. 673), aunque dice que « esta hermosa figura parece tan convincente que es fácil aceptarla por lo que dice su leyenda »; pero agrega que « quien lea críticamente el texto difícilmente puede abstenerse de sospechar que lo que ve es simplemente una superficie de falla con estrias de fricción ». También Dunbar considera increíble la presencia de cuatro lamiarés fósiles y otras tantas tilitas sobrepuestas en un espesor total de pocos metros; y además, pone de relieve la imposibilidad de que un glaciar alise y haga « aborregado » su fondo cuando éste está constituido por sedimentos depositados por una glaciación ocurrida en el mismo período glacial y, por consiguiente, aun sueltos; ¿quién sabe imaginar depósitos del Pleistoceno alisados, estriados y aborregados por el último avance de los hielos?

Hemos visto que en su publicación de 1922 (pág. 256), Keidel ha dicho que cerca de la casa de Leoncito Encima el conglomerado con cantos estriados « sale en *el yaciente* » de la serie de sedimentos arenosos que comprende las capas con fósiles marinos. En el grupo de perfiles publicados en 1938 están marcados con B y B' dos afloramientos con fósiles marinos y el texto nos dice que el principal de ellos, descubierto en 1914, es B'; éste pertenece al grupo n° 18 que en las cercanías del afloramiento fosilífero aparece muy distanciado de todo afloramiento de « tilitas »; mientras que en el perfil del fondo el mismo grupo n° 18 figura intercalado entre dos « tilitas » del grupo n° 19, pero sin la indicación de contener fósiles; y B se halla en el grupo n° 16, que se encuentra *debajo* de las « tilitas » (grupo n° 19) y, además,

separado de ellas por una serie, de varios metros de espesor, de esquistos arcillosos negruzcos (Keidel y Harrington, 1938, págs. 108, 109, 111). Me parece, pues, que hay contradicción entre los datos publicados en 1922 y en 1938; y me imagino que ella proceda de algún error de imprenta que los lectores no pueden descubrir e identificar porque ninguno de los mencionados trabajos contiene un mapa o croquis con la indicación de los afloramientos fosilíferos y de adecuados puntos de referencia. El grupo de perfiles de Keidel, dibujado con tanta habilidad, resultaría mucho más útil si en el texto estuviera indicada la posición de algunos puntos con respecto a la estancia, la cual dista, según Keidel (1922, pág. 256), sólo unos 150 metros del principal afloramiento fosilífero.

Los fósiles marinos coleccionados por Keidel en los alrededores de Leoncito Encima fueron estudiados por Harrington, quien comprobó que entre ellos hay sólo una forma identificable con seguridad con una especie ya conocida; dos otras formas son de dudosa determinación específica; otras dos pertenecen a especies nuevas; y las demás son específicamente indeterminables. La especie ya conocida es *Spiriferina octoplicata*, cuyo nombre se utiliza en Inglaterra para designar cierta zona del Avoniano inferior (zona que corresponde a una sección de la parte media del Carbonífero inferior del continente de Europa) pero que ha sido hallada en todos los pisos del Carbonífero y por lo menos en algunos del Pérmico; de las dos especies nuevas una pertenece a un género y otra a un subgénero cuya presencia en estratos más recientes que los del Carbonífero inferior es desconocida o dudosa. Fundándose esencialmente en estos resultados, Harrington llega a formular la siguiente conclusión: « me parece cosa bastante segura considerar esta capa fosilífera marina de Leoncito Encima como perteneciente al Carbonífero inferior » (Keidel y Harrington, 1938, capítulo IV: *Description of the fossils*, págs. 114-128). Estas prudentes palabras se hallan en el único capítulo que debemos únicamente a Harrington, como lo indica el repetido empleo de la primera persona singular; desgraciadamente, el título de la publicación de Keidel y Harrington, como también los párrafos tercero y quinto del capítulo V (pág. 128) hacen creer que la edad de los estratos fosilíferos marinos de Leoncito Encima ha sido establecida de una manera definitiva e indiscutible. En realidad no es así; en un trabajo que acaba de aparecer he expuesto las razones que nos obligan a admitir la posibilidad de que aquellos estratos sean del Carbonífero superior (Fossa, 1943, págs. 313-315).

Ya antes de la publicación del importante estudio de Keidel y Harrington, Du Toit (1937, pág. 72) se había mostrado propenso a aceptar las conclusiones de Harrington, que éste había tenido la cortesía de comunicarle por carta. Du Toit menciona la tilita de Leoncito Encima agregando que, según Harrington, parece ser del Viseano. Nótese que la zona de la *Spiriferina octoplicata* corresponde a una parte de la sección media del Tournaiano, piso inferior del Carbonífero inferior, y no al piso superior, que es

el Viséano; y que Du Toit (1937, pág. 71) afirma que se impone necesariamente la conclusión de que en la Argentina el período glacial del Antracólico empezó por lo menos en la última parte del Viséano. Es éste un ejemplo de la deformación que sufren los conceptos de los observadores (en nuestro caso, Harrington) al ser manipulados por los constructores de teorías (como Du Toit).

Keidel, en su trabajo sobre los Gondwanides (1938, pág. 190) menciona la opinión de Du Toit dejándole implícitamente toda la responsabilidad de la misma; y aun en una publicación más reciente (1940, págs. 101, 102) se muestra igualmente cauteloso, pues dice que los estratos fosilíferos de Leoncito Encima *pueden* ser referidos al Viséano o tal vez a algún horizonte más antiguo. En cuanto al origen glacial de los conglomerados de Leoncito Encima, ni Du Toit ni Keidel parecen tener duda alguna.

En cambio, los hechos que conozco me inducen a creer, como ya he dicho, que es perfectamente posible que los conglomerados de Leoncito Encima (a pesar de sus cantos estriados y de las superficies alisadas y surcadas, sobre las cuales a veces descansan) nada tengan que ver con antiguos glaciares; y también que los fósiles marinos de Leoncito Encima no sean del Carbonífero inferior.

D. SUPUESTAS GLACIACIONES DEL CARBONÍFERO SUPERIOR Y DEL PÉRMICO

Según Keidel (1940, págs. 101-105) en la Argentina también habría tilitas del Carbonífero superior (en la Sierra de Tontal y en la Sierra de Uspallata) y otras tilitas del Pérmico inferior (en la Sierra de Uspallata, en la Sierra del Tontal, en la Sierra Chica de Zonda y otras partes de la Precordillera de San Juan, en las sierras australes de la provincia de Buenos Aires, etc.). Es indiscutible que las «tilitas» señaladas en estas regiones corresponden a horizontes estratigráficos diferentes, pero me parece imposible, dado el estado actual de nuestros conocimientos, distinguir las del Carbonífero superior de las del Pérmico; pues no sólo la edad, neocarbonífera o pérmica, de la principal glaciación del Antracólico es tan discutida hoy como lo era setenta años atrás, sino que también hay discrepancias notables entre geólogos eminentes acerca de los límites entre Carbonífero y Pérmico aún cuando se trata de series marinas fosilíferas. Para tener una idea de esta gran divergencia de ideas, es suficiente comparar los trabajos sintéticos de Holland con los de Schuchert.

En atención a estas discrepancias, estimo inútil gastar palabras en discutir, en el presente capítulo, la posición cronológica de los supuestos depósitos glaciares que han sido referidos al Carbonífero superior y al Pérmico. Para nuestros fines el problema de la edad tiene escaso interés; en cambio adquiere mucha importancia cuando quiere uno intentar correlaciones con regiones que no han sido afectadas por las glaciaciones del Antracólico.

Desgraciadamente este problema no puede resolverse con los datos que actualmente poseemos y por lo tanto nuestras correlaciones resultan a menudo arbitrarias, lo cual explica las marcadas divergencias entre las opiniones profesadas por distintos geólogos y paleontólogos.

I. PROVINCIA DE SALTA. — En 1929 algunos geólogos y geofísicos de la Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales empezaron una serie de investigaciones metódicas en la provincia de Salta, donde ya estaba comprobada la existencia de acumulaciones explotables de petróleo en el tramo argentino de la Sierra de Aguaragüe. Algunos años antes Mather (1922, págs. 138-140) había señalado la existencia de tilitas antiguas en el tramo boliviano de la misma Sierra. Naturalmente, los geólogos de YPF trataron de averiguar si en la región de sus estudios había otros vestigios de aquella antigua glaciación, que se creía corresponder al Pérmico o al Carbonífero superior. En 1930 Feruglio y Ramaccioni informaron que los habían descubierto, en la quebrada de Capiazuti (Sierra de Aguaragüe) y en la Angostura del Río Pescado (Sierra de Porongal), respectivamente. Posteriormente la presencia de depósitos francamente glaciales, o glaciofluviales, o glaciolacustres, ha sido señalada en muchos otros sitios del departamento de Orán y mencionada en varias publicaciones (Feruglio, 1931, págs. 13, 15, 17; 1933, pág. 129; Casanova, 1932, págs. 852, 854; Schlagintweit, 1936, pág. 62; 1937, págs. 45, 46; Conci, 1938, pág. 74; Fossa, 1931, pág. 21; 1938, págs. 68, 69, 73). En junio de 1931 se me presentó la oportunidad de examinar las tilitas que afloran en el valle del Río Carapari y en el de Zanja Honda, cerca de Tartagal.

Los afloramientos de Zanja Honda me parecieron particularmente interesantes, por cuanto en ellos noté muchos de los caracteres que, varios años antes, había observado en morenas alpinas del Pleistoceno. En las cercanías del campamento Tartagal de la Standard Oil Company noté que en este lugar no ha habido movimientos tectónicos de mucha importancia, pues los depósitos glaciales y glaciofluviales están divididos en dos secciones por una neta superficie de erosión casi horizontal y encima de ellos descansa, también en posición aproximadamente horizontal, una potente serie de bancos de areniscas blanquecinas, amarillentas o rojizas que presentan una perfecta continuidad. La tilita incluye masas más o menos extensas de arenisca de estratificación cruzada cuyo origen es casi seguramente eólico; una de estas grandes inclusiones arenáceas está cortada superiormente por la mencionada superficie de erosión, lo cual parece indicar que hubo por lo menos dos fases glaciales separadas por un intervalo durante el cual la sedimentación eólica llenó algunas depresiones de la superficie de la morena más antigua. Deben haberse producido, sin embargo, movimientos diferenciales en el interior del depósito glacial, por cuanto en él he notado dislocaciones de modesta magnitud aún en los trechos en los cuales los bancos de arenisca blanquecina y amarillenta son casi horizontales y no presentan interrupcio-

nes perceptibles. Me inclino a suponer que estas dislocaciones, cuya extensión es reducida, proceden de la disminución de volumen de lentes de material más arcilloso distribuidas con irregularidad en la masa de detrito glacial. En la tilita de Zanja Honda los cantos y bloques no son muy abundantes. Algunos de los cantos poseen la forma característica de plancha de planchar y en unos pocos he visto estrias. El más grande de los bloques que he examinado de cerca está constituido por areniscas gris verdosa, es de forma aproximadamente elipsoidal y mide unos seis metros de largo y tres de alto. El color de la tilita varía notablemente; predomina un gris azulado, pero en ciertas partes se vuelve rojo hígado o morado, a veces con grandes manchas verdosas. Cerca del pozo Tartagal 2 los sedimentos glaciales adquieren, localmente, una fuerte inclinación hacia el oeste, la cual resulta bien visible donde aparece una espesa intercalación de arenisca en la tilita de color morado; pero más arriba y a corta distancia los bancos de arenisca blanquecina conservan su posición casi horizontal, aunque no he logrado hallar indicio alguno de una marcada discordancia angular entre las intercalaciones arenáceas de la parte superior de la tilita y los gruesos bancos de arenisca que sobre ella descansan. En este párrafo me he referido a «tilitas» sin formular reservas, por cuanto el origen glacial de estos depósitos me parece muy probable, aunque en los primeros momentos su coloración variada, tan diferente del monótono gris de las morenas pleistocénicas que conozco, me habría inspirado grandes dudas.

Las tilitas que afloran a lo largo del Río Carapari se asemejan mucho a las gris azuladas de Zanja Honda, pero no me parecen igualmente interesantes por cuanto un poco más al Este hay indicios de fuertes perturbaciones tectónicas, de manera que no tengo la seguridad de que su aspecto actual refleje fielmente los caracteres del depósito originario.

Puedo decir lo mismo de otros afloramientos de probables tilitas que he visitado en otras partes de la Sierra de Aguara Güe y en la parte boreal de la Sierra del Alto en el año 1934.

A mi manera de ver, es verosímil que sean efectivamente sedimentos glaciales del Antracolítico. Pero las tilitas de Zanja Honda, por ser las únicas en las cuales no he hallado indicios de dislocaciones tectónicas de magnitud no despreciable, me parecen las más apropiadas para justificar la hipótesis de que en las Sierras Subandinas de la provincia de Salta existen efectivamente vestigios de antiguas glaciaciones que son seguramente posteriores al Devónico y que es razonable referir al Antracolítico, por analogía con la edad de las tilitas cuya existencia ha sido comprobada con seguridad en varios países del continente sudamericano.

En su interesante comunicación sobre las glaciaciones del Paleozoico en la América del Sur (1940), Keidel menciona de paso «las tilitas descubiertas sólo pocos años atrás a ambos lados del Río Pilcomayo, donde, en la angosta faja de las cadenas pre-andinas (Sierras Subandinas), ellas parecen constituir el grupo basal del Sistema de Gondwana» y agrega en la conclu-

sión, que en las cadenas pre-andinas del Norte de la Argentina y de Bolivia se conoce la existencia de depósitos glaciales del Pérmico inferior (Keidel, 1940, págs. 91 y 107).

2. PROVINCIA DE LA RIOJA. — En la página 39 de la *Memoria de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología correspondiente al año 1915* (publicada en 1917) se lee que Rassmuss ha dedicado varios meses al levantamiento geológico regional de la extremidad norte de la Precordillera en la provincia de La Rioja, con el propósito de « resolver definitivamente uno de los grandes problemas de la geología » y que en dicha región « se encuentra también el conglomerado glacial del Pérmico descubierto, en muchos puntos situados entre los ríos Mendoza y Jachal, por el doctor Juan Keidel ; y como allá la estructura se ha formado por grandes sobrescurrimientos (*nappes de charriage*) ». Rassmuss (1918, pág. 12) menciona cierto conglomerado que se presenta a la vista en la desembocadura de la quebrada del Chilecito en la cuenca de Los Sauces ; dice que este conglomerado, sin estratificación o mal estratificado y de composición irregular y variable, contiene « cantos rodados con estrias, probablemente de origen glacial » ; y agrega que en las inmediaciones de este afloramiento las condiciones tectónicas son anormales. Según Keidel, (1922, pág. 263, nota 4) « puede ser que este conglomerado... represente la morrena pérmica ; pero sería bueno comprobarlo con el hallazgo de cantos rodados bien estriados ». Al parecer, Keidel sospechaba que las estrias observadas por Rassmuss fueran de origen tectónico. Recuerdo a este propósito que Rassmuss (1918, pág. 14) dice que « en Los Sauces la tectónica es un poco más complicada » que en Sanagasta « por la presencia del conglomerado glacial ». No entiendo cómo la presencia de un conglomerado pueda complicar la tectónica, pero he transcrito igualmente las palabras de Rassmuss por cuanto ellas demuestran que él estaba seguro de haber descubierto, en la provincia de La Rioja, restos de antiguos depósitos glaciales. En otro punto del mismo trabajo (pág. 12), Rassmuss dice que la serie que contiene los depósitos glaciales corresponde a la serie glacial de la Precordillera.

De una alusión de Keidel (1922, pág. 261) a cierta comunicación oral de Rassmuss, creo poder inferir que éste encontró conglomerados que consideró tilitas en los alrededores del Trapiche, cerca del límite con la provincia de San Juan.

La citada *Memoria* (págs. 39, 40) también nos hace saber que en 1915 Hausen trabajó durante algunos meses en el levantamiento geológico regional de la Sierra de Umango y comprobó que en esta región « los movimientos orogénicos del ciclo terciario han sido mucho más intensos de lo que se podía suponer según las relaciones tectónicas generales de las Sierras Pampeanas ». Los resultados de estos estudios de Hausen debían constituir (bajo el título de : « La litología y la geología de la región de la Sierra de Umango, provincia de La Rioja ») una de las entregas de los *Anales del Ministe-*

terio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minas (Keidel, 1922, pág. 265, nota 1); en cambio el trabajo fué publicado en Finlandia y no en la Argentina. Las observaciones de Hausen (1921, pág. 89-95) sobre supuestas tilitas del Antraeolítico que aflorarían en el Cerro de Guandacol y en la región de Carrizal están resumidas en la *Geología Argentina* de Windhausen (1931, págs. 170, 171), donde también están reproducidas dos de las figuras de Hausen. En estas figuras no vemos indicio alguno de fuertes dislocaciones, pero podemos observar que sobre las « tilitas » se apoya una serie muy espesa de estratos de areniscas y de arcillas esquistosas, así que no podemos excluir la posibilidad de que haya habido movimientos diferenciales, en alguna dirección paralela a la estratificación de las areniscas, en el seno de la misma masa de los supuestos conglomerados glaciales. En la publicación de Hausen (1921, pág. 95) leemos que este investigador consideraba equivalente a la serie de Talchir de la India cierto conjunto de sedimentos que definía con estas pocas palabras: « A graywacke-like rock with scattered small boulders. No stratification (tillite). At the base, a coarse conglomerate bed ». La semejanza, notada por Hausen, entre la parte arenosa de los sedimentos que considera de origen glacial y las grauvacas es un carácter muy común, que se observa igualmente en ciertas tilitas de la provincia de Salta y cuya explicación me parece obvia, como puede leerse en la página 362 del presente trabajo.

A propósito de la existencia de sedimentos glaciales del Antraeolítico en la Sierra de Umango, Keidel (1922, págs. 273-274) escribió que el conglomerado de Aguas Blancas (Sierra de Umango) « muestra claramente los signos de una verdadera morrena o tilita, bien que Hausen no logró hallar cantos estriados » y formuló esta declaración: « no obstante que falte aún la prueba rigurosa, es decir, el descubrimiento de cantos rodados estriados, no dudo que en el cerro de Villa Unión, las grauvacas de Bodenbender, o sea, el complejo glacial de Hausen, corresponde perfectamente al de la precordillera ».

En su sucinta reseña de la geología de los yacimientos argentinos de carbones fósiles, Rassmuss (1920, pág. 16) dice que Stappenbeck le comunicó que en la falda oriental de la Sierra de los Llanos había visto « conglomerados, tal vez glaciales, de Talchir ». La posible existencia de tilitas del Antraeolítico de la Sierra de Los Llanos ha sido admitida por Freyberg (1927, pág. 328), quien, sin embargo, destaca que en los lugares examinados por él, no ha hallado ningún indicio positivo de antiguas glaciaciones.

En el mapa que indica la distribución de los depósitos glaciares atribuidos al Pérmico y conocidos unos veinte años atrás, Keidel (1922, lám. I) marca la existencia de antiguas morenas en las cercanías de Trapiche y de Villa Unión, como si no hubiera duda alguna al respecto; en cambio, agrega signos de interrogación a los triangulitos que representan afloramientos de tilitas en las faldas orientales de las sierras de Velasco, de Famatina, y de los Llanos. Recientemente, el mismo autor (1940, pág. 105)

ha opinado que « en la región de las Sierras Pampeanas hasta ahora no se ha hallado vestigio alguno de depósitos glaciales del Paleozoico, salvo quizás en la parte más austral de la Sierra de Umango, próxima al extremo boreal de la Precordillera ».

3. PROVINCIA DE SAN JUAN. — *Departamentos de Jachal y Ullún.* — En el lado occidental del Cerro del Fuerte, en el departamento de Jachal, Keidel (1921, págs. 34-40) observó una formación estratificada y regularmente constituida por bancos de espesor variable y con límites difusos, muy parecida a ciertos depósitos de origen glacial señalados anteriormente por el mismo autor en las sierras australes de la provincia de Buenos Aires. Según Keidel, « se trata también aquí, en el Norte de la Precordillera, de un depósito perteneciente a un complejo de tilitas. Esto lo demuestran los rodados estriados que se encuentran dispersos entre muchos otros... No hay indicios seguros que permitan clasificar esta roca como morrena... Sea lo que fuere, de todos modos puede asegurarse que la faja de esa formación que se reduce y termina pronto hacia el Norte, contiene los productos del lavado de morrenas verdaderas ». A continuación, Keidel dice que su formación glacial o fluvioglacial está intercalada entre dos superficies de dislocación cuyas trazas se juntan más al Norte y más al Sur. La figura 1 de la lámina VI de Keidel representa uno de los cantos estriados de la supuesta serie glacial del Cerro del Fuerte; a mi manera de ver, es probable que estas estrias sean de origen tectónico.

Al Oeste del Cerro del Agua Negra (Lomas de los Piojos) y en la Quebrada de Talacasto también halló Keidel (1921, págs. 57-63, 88, 101-102, láms. II, III, IV, V, VI, fig. 2, y VII) la supuesta formación glacial o fluvioglacial con cantos estriados, en condiciones tectónicas no siempre normales. Esto ya lo leemos en el texto, pero resulta aún más evidente en los cortes geológicos de Keidel, en dos de los cuales (corte *g-h* de la lám. II y parte occidental del corte principal del « Perfil Meridional » de la lám. III) vemos que los supuestos depósitos glaciales están más plegados que los estratos más antiguos sobre los cuales descansan; en otras palabras, salta a la vista que la supuesta formación glacial o fluvioglacial del Pérmico ha sufrido deformaciones que no han afectado a los estratos del Gotlándico y del Devónico en el primer caso y a aquéllos del Carbonífero en el segundo.

Estas condiciones parecen absurdas, pero en la Precordillera no son excepcionales: yo mismo he visto casos perfectamente análogos en la Sierra del Tontal.

De los cantos reproducidos en las láminas, los tres que proceden de las Lomas de los Piojos no presentan, a mi modo de ver, el aspecto de cantos estriados por el hielo. En uno de ellos (fig. 1 de la lám. V) vemos un típico espejo de falla, como ya lo dice Keidel en la explicación de la lámina; otro (fig. 2 de la lám. V) muestra marcas de compresión como las de ciertos cantos de Nagelfluh (Heim, 1919, págs. 58-61), marcas que Keidel

llama « de percusión » y atribuye a movimientos tectónicos del Paleozoico : el tercero (fig. 2 de la lám. VI) deja ver surcos paralelos de fricción, que pueden ser el resultado del frotamiento a lo largo de una superficie de falla. En cambio, el canto estriado de la Quebrada de Talacasto reproducido en la figura 1 de la lámina VI de Keidel, presenta surcos y estrías en varias direcciones que se asemejan a los que se observan en algunos cantos de verdaderas morenas, aunque en éstos no he visto nunca una superficie tan áspera como en el figurado por Keidel.

Considero sumamente interesante la figura 2 de la lámina VII de Keidel. La explicación de las láminas dice : « Fragmento de subsuelo estriado constituido por la arenisca con *Spirifer antarcticus* debajo de la tillita paleozoica en el perfil principal del Cerro del Agua Negra. Por el desgaste de la roca ha salido el aparato braquial del braquiópodo. Tamaño natural ». La figura representa, en mi opinión, una típica superficie de falla y el perfecto estado de conservación de las costillas de una parte del braquiópodo demuestra que no puede ser otra cosa. El hielo del glaciar se comporta como una masa algo plástica y, por consiguiente, distribuye las presiones con cierta uniformidad, así que el detrito arenoso fino, que es el que causa las estrías propiamente dichas (no los « surcos ») habría hecho desaparecer todo rastro de la ornamentación originaria del braquiópodo o, por lo menos, la habría atenuado, gastándola como lo haría la tela de esmeril. En cambio, al rozar una contra otra dos superficies de arenisca bien cementada, puede mantenerse intacta, al saltar una esquirra, la superficie de un fósil porque, en este caso, no está más en contacto con la pared opuesta de la falla. Estas mismas consideraciones pueden aplicarse al canto estriado con restos de *Syringothyris* hallado por Rigal en una supuesta tilita del Pérmico cerca de Las Juntas del Río San Juan y descrito por Harrington (véase pág. 389 del presente trabajo).

En la obra fundamental de Keidel sobre « la distribución de los depósitos glaciales del Pérmico en la Argentina » hay un breve capítulo titulado así : « En la precordillera, la morrena y los estratos inferiores de Gondwana aparecen como partes de mantos de corrimientos » (Keidel, 1922, págs. 253, 254). Creo conveniente transcribir a continuación el trozo que se refiere más particularmente a la región comprendida entre el Río Jachal y el Río San Juan : « Al propio tiempo que el corrimiento de los sedimentos paleozoicos, en la vertiente occidental de la montaña, se hace patente por el hecho de estar separados los complejos mantos de la morrena y girones de los estratos ligados con ella, no es menos claro en la vertiente oriental ». Me parece que estas líneas (y especialmente la alusión a pedazos desgarrados de los estratos de la supuesta formación glacial) debían hacer sospechar que las supuestas morenas pueden estar constituidas por una acumulación de jirones de estratos arcillosos, arenosos y conglomerádicos, causada por la acción de « traineau éraseur » de la falda de corrimiento y sin relación alguna con las glaciaciones.

Departamentos Rivadavia y Pocitos. — Los afloramientos más conocidos

en la provincia de San Juan, de la supuesta serie glacial de la base del « Sistema de Gondwana » son los que se hallan al pie oriental de la Sierra Chica de Zonda, en los departamentos Rivadavia y Pocito. Keidel se refirió a ellos en la obra citada, pero no los describió; insistió, en cambio, en afirmar que en la zona indicada aflora « una serie compleja y heterogénea a causa de una intensa mezcla por vía tectónica » aunque « en su totalidad ofrece el aspecto de una serie aproximadamente concordante ». En esta mezcla « puede reconocerse..., por la constitución y forma de sus cantos rodados, los trozos de conglomerados que corresponden al Carbonífero inferior. En otras camadas conglomerádicas se hallan cantos rodados bien estriados, lo que prueba que en estos casos se trata de la morrena de los estratos de Gondwana. Éstos estarán también presentes pero..., es difícil indentificarlos » (Keidel, 1922, págs. 250-253).

En 1917, Coleman, eminente geólogo glacialista canadiense, visitó algunos de los afloramientos al pie de la Sierra Chica de Zonda, observando dos tipos distintos de bancos conglomerádicos con cantos estriados que le parecieron ambos de origen glacial; pero dice que no logró determinar sus mutuas relaciones, por cuanto durante la formación de la Sierra ha habido formación de pliegues y fallas, como también estrujaduras que complican las relaciones entre los distintos miembros de la serie. Un bloque estriado sobre un afloramiento de « tilita » y un canto ovalado bien estriado están reproducidos en dos excelentes figuras: las formas de los cantos no me parecen las que solíamos considerar características de las morenas, pero el eminente profesor canadiense era evidentemente de otra opinión (Coleman, 1929, págs. 166-168).

En 1923 Du Toit estudió el trecho que se extiende al pie de la Sierra Chica de Zonda, entre el Río de la Mina y los alrededores del Agua de la Chilca. Reconoció tres distintas zonas de « tilitas » y no se quejó de las complicaciones tectónicas que, según él, afectarían sólo determinados trechos, mientras que cerca del Agua de los Jejenes la sucesión de los estratos sería perfectamente normal. Las hermosas fotografías que reproduce en sus láminas dan efectivamente la impresión de que en los lugares donde han sido tomadas no hay dislocaciones de importancia. Los depósitos glaciares serían en parte antiguas morenas, en parte conglomerados y areniscas de origen glaciofluvial. En cierto lugar una modesta peña de caliza presenta pulimento y estrias que deberían atestiguar la acción del supuesto glaciar (Du Toit, 1927, págs. 28-32, láms. III B, IV-VI, VII A).

Las observaciones de Du Toit, posiblemente hechas en lugares en los cuales las condiciones tectónicas son excepcionalmente sencillas, lo han llevado a conclusiones tan simplistas, que Keidel (1938, págs. 181-186) se ha visto obligado a refutarlas; pero entre los varios argumentos aducidos para demostrar la existencia de importantes dislocaciones que Du Toit no ha visto, hay por lo menos uno que, a su vez, requiere breve comentario.

Me refirió a la figura 8 de Keidel (1938, pág. 183) que es la reproduc-

ción de una fotografía del lado derecho del valle del Río de la Mina. La leyenda alude a una escama de « estratos de Jejenes » con bancos de tilita (que según Du Toit, sería la más reciente de las tres que él ha creído reconocer en esta zona) y a un terrón en forma de cuña de « estratos de Zonda »; estas expresiones podrían hacer suponer que existe una cobijadura, por la cual los « estratos de Jejenes » han sido empujados hacia el Oeste, hasta cabalgar encima de los « estratos de Zonda ». En realidad, es ésta la posición normal, pues lo « estratos de Jejenes » son más recientes y los « estratos de Zonda » son más antiguos, correspondiendo, según Keidel (1922, pág. 368), a las series sudafricanas de Eccá y de Dwyka, respectivamente. Quien mire la figura 8 de Keidel tiene la impresión de que existe concordancia entre los « estratos de Jejenes » y los « estratos de Zonda » y que ambos pertenecen a la misma unidad tectónica, limitada al Oeste por una falla que, pasando por el portezuelo visible en último término, los pone en contacto con la masa de esquistos revueltos que engloba grandes bloques de caliza ordovícica y de grauvaca. Claro está que puede ser ésta una ilusión producida por la reproducción fotográfica, en la cual no aparecen los colores que caracterizan distintos grupos de estratos; pero el hecho me parece igualmente instructivo por cuanto demuestra que una misma fotografía puede ser interpretada de una manera completamente distinta por dos personas, una de las cuales ha examinado el terreno y otra no.

Refiriéndose a esta fotografía, Keidel (1938, pág. 193) dice que debajo de cada una de las tres zonas de tilitas descritas por Du Toit se observa una superficie de discordancia, pero que en el caso de la zona superior, que aflora en el valle del Río de la Mina, esta discordancia es debida a un movimiento tectónico. Veo en esto una razón para sospechar que no se trate de verdaderas tilitas, sino de brechas de fricción que se asemejan a tilitas. También me parece posible que estas supuestas tilitas de la tercera supuesta zona glacial no presenten un aspecto tan característico como las otras, por cuanto en el libro de Du Toit (1927) vemos dos fotografías de su zona glacial inferior (lám. III, B; lám. IV, B) y cuatro de su segunda zona glacial (lám. V, A y B; lám. VI, lám. VII, A), pero no hallamos ninguna figura que represente su tercera zona glacial.

Dice Keidel (1940, pág. 103) que la zona glacial superior de Du Toit pertenece a la base de los « estratos de Jejenes » y que las otras dos pertenecen a los « estratos de Zonda »; las dos series estarían separadas por una falla inversa de cabalgamiento (« overthrust faulting ») de gran magnitud que se manifestaría mediante « la supresión, variable de un lugar a otro, de porciones de la parte superior de la serie inferior (Zonda) y de la parte inferior de la serie superior (Jejenes) ». Estas palabras armonizan perfectamente con los conceptos expresados en el trabajo sobre los Gondwánides, pero no con mis ideas acerca de las fallas inversas de cabalgamiento, pues creo que ellas tienen por necesaria consecuencia que estratos más antiguos descansan sobre estratos más recientes, y que, por consiguiente, ellos deter-

minan repeticiones, y no supresiones, de capas o grupos de capas. Sería deseable, en mi opinión, que cuando se mencionan fenómenos tectónicos de carácter excepcional se agregara un dibujo para que los lectores que no los conocen pudieran comprender de qué se trata.

La dislocación a que acabo de referirme tendría, al parecer, alguna relación con los restos de plantas (que Keidel refiere a la «flora con *Glossopteris*») mencionados por primera vez por Bodenbender.

A este propósito, me parece necesario recordar que muchos años atrás, en las cercanías del Agua de los Jejenes (o sea, aproximadamente un kilómetro al Norte del Río de la Mina) el doctor Salas halló restos vegetales entre los cuales Kurtz creyó reconocer *Neuropteridium validum*, *Adiantites antiquus*, *Cardiopteris polymorpha*, dos especies nuevas de *Sphenopteris* y una especie indeterminada de *Lepidodendron* (Bodenbender, 1911, pág. 87). Esta supuesta asociación de formas del Carbonífero inferior de Europa con una forma común en la parte inferior del Sistema de Gondwana, ha motivado muchas discusiones y ha engendrado varias hipótesis. Según Keidel (1922, pág. 246, nota 1 y pág. 260, nota 1) la curiosa asociación sería el resultado de una mezcla tectónica de estratos fosilíferos de edad muy diferente. En 1923, Du Toit (1927, págs. 37, 38) recolectó en el Río Grande, entre la primera y la segunda de sus zonas glaciales, ejemplares de *Cardiopteris polymorpha* y de *Rhacopteris szajnochai*; este hallazgo lo indujo a afirmar que la cuestión se resolvería fácilmente si se buscaran otros restos de plantas fósiles en aquellas mismas capas fosilíferas, en los afloramientos del Río Grande y del Arroyo de los Jejenes. En realidad, nuevas búsquedas efectuadas por Keidel y Harrington no han dado el resultado esperado (Keidel, 1938, pág. 193, nota 4), pero la solución ha sido obtenida de una manera inesperada al estudiar Frenguelli una pequeña colección de plantas fósiles conservada en el Museo de La Plata. Cada uno de los diez ejemplares está acompañado por una etiqueta que dice: «Permiano-carbonífero, Agua de los Jejenes, San Juan». Además, en tres de ellas se lee la indicación del género: *Neuropteridium* en una, *Cardiopteris* en otra, y *Sphenopteris* en la tercera. Es sumamente verosímil, pues, que sean éstos los restos vegetales recolectados por Salas y entregados por él a Bodenbender, quien visitó la Sierra Chica de Zonda en el curso de un viaje costado por el Museo de La Plata. Lo interesante es que Frenguelli ha comprobado que el supuesto *Neuropteridium* no es un trozo de fronda de este género, sino una parte de una fructificación (probablemente del tipo *Rhabdocarpus*); que la supuesta *Cardiopteris* puede identificarse con *Rhacopteris semicircularis*; que la supuesta *Sphenopteris* es una forma de *Eremopteris* comparable a una especie ya conocida en la misma región; y que los ejemplares con etiqueta desprovista de indicación del género corresponden a varias formas de *Rhacopteris*, *Eremopteris*, *Lepidodendron* y *Bothrodendron*. En conclusión, se trata, muy probablemente, de una flora del Carbonífero inferior, no perteneciendo a ella forma alguna referible al Carbonífero superior o al Pérmico (Frengue-

lli, 1941). De esta manera ha desaparecido, finalmente, el motivo que indujo a Stappenbeck (1910, pág. 41) a afirmar que entre los fósiles del Agua de los Jeñenes « existe una mezcla de tipos del Carbonífero y del Permiano » y a Keidel a explicarla mediante accidentes tectónicos de un carácter particular. Puede notarse que las conclusiones de Frenguelli están perfectamente de acuerdo con el mencionado hallazgo de Du Toit, por cuanto *Cardiopteris polymorpha* es una especie del Carbonífero inferior y *Rhacopteris szajnochai* es próxima, según Kurtz (1921, pág. 145), a *R. flabellifera*, también del Carbonífero inferior.

La presencia de depósitos lacustres bandeados de aspecto típicamente glacial está perfectamente comprobada. Recientemente Frenguelli (1941, págs. 383-384) ha interpretado y descrito una concreción característica (« mar-leka ») coleccionada por Hauthal, probablemente al pie de la Sierra Chica de Zonda; y ha agregado que, según una comunicación oral de Keidel, concreciones del mismo tipo abundan especialmente entre Carpintería y el Cerro Bola, en el sitio donde se observa una cúpula suave en la cual afloran, según Du Toit (1927, pág. 31, lám. VII, B), areniscas glaciofluviales cubiertas en parte por conglomerados que él refiere a su tercera zona glacial, o sea a la superior. He visitado este lugar en 1936, he visto concreciones sueltas en el lecho de un torrente, pero no me he dado cuenta de su importancia; en cuanto a los conglomerados, me han parecido muy diferentes de los que he visto aflorar en los vallecitos que inciden el flanco oriental de la Sierra Chica de Zona, así que la correlación de Du Toit no me convence. Estoy seguro de que en alguno de estos vallecitos afloran sedimentos lacustres bandeados, por cuanto he visto fragmentos de roca muy compacta, con varves evidentes, en el detrito de pie de monte, entre el Baño de la Lechuzza y la estación de Rinconada. Posiblemente no han sido notados por otros geólogos, porque en las superficies de fracturas frescas las varves son casi invisibles, mientras que en el detrito las viejas superficies de fractura se presentan regularmente acanaladas, debido a la distinta resistencia de las zonas estivales e invernales y a la acción continuada de los agentes meteóricos.

Departamento de Barreal. — Stappenbeck (1910, págs. 37-39) fué el primero en señalar la existencia de estratos fosilíferos marinos del Antraeolítico en la Quebrada del Salto, cerca de Barreal. Keidel (1922, pág. 257) fué el primero en suponer que estos estratos marinos puedan equivaler a las capas marinas de la serie glacial del continente australiano y de Tasmania. Du Toit (1927, págs. 34, 35) visitó en 1923 la Quebrada del Salto y sus alrededores, coleccionó muchos braquiópodos y moluscos en el horizonte fosilífero descubierto por Stappenbeck y en otro que está íntimamente relacionado con una serie de sedimentos, en parte conglomerádicos, que consideró de origen glacial.

Algunos fósiles han sido estudiados por Stappenbeck (1910) y por Reed (1927), quienes han llegado independientemente a la conclusión de que son

del Carbonífero superior. Keidel anteriormente los creía del Pérmico, pero en sus publicaciones recientes (1938, 1940) admite que las del horizonte ya conocido por Stappenbeck son efectivamente del Carbonífero superior, pero sostiene que los que proceden de los estratos asociados con los depósitos glaciales son del Pérmico inferior. Quien quiera conocer el estado actual de este problema puede consultar un artículo mío que acaba de aparecer en esta Revista (Fossa, 1943). En el presente trabajo, sólo quiero ocuparme de los vestigios de las glaciaciones y, por consiguiente, no veo la necesidad de repetir consideraciones de carácter estratigráfico y paleontológico que ya he expuesto en otro trabajo anterior. Pero recordaré que para distinguir los dos grupos de estratos fosilíferos de los alrededores de Barreal he utilizado los nombres de las especies representadas, en la colección de Du Toit, por más individuos; aplicando este criterio, he llamado « estratos con *Euomphalus subcircularis* » los estratos fosilíferos ya conocidos por Stappenbeck, y « estratos con *Pseudamusium stappenbecki* » los descubiertos por Du Toit. En estas páginas los designo mediante el solo nombre del género; esta simplificación no puede ocasionar confusiones.

Según Du Toit, las capas con *Euomphalus* serían algo más recientes que las capas con *Pseudamusium* y los supuestos depósitos glaciales, perteneciendo todo el conjunto a una misma serie de estratos concordantes y no separados por interrupciones en la sedimentación. Según Keidel, las capas con los dos grupos de estratos serían de edad muy diferente y los con *Euomphalus*, más antiguos, pertenecerían a un manto de corrimiento que se ha puesto encima de las capas con *Pseudamusium*.

Du Toit (1927, lám. VII, A) reproduce una buena fotografía del vallecito en que afloran las capas con *Pseudamusium* y las supuestas tilitas, con el evidente propósito de demostrar que no hay complicaciones tectónicas sino tan sólo un suave anticlinal. Y Keidel (1938, pág. 187, fig. 9) reproduce otra buena fotografía del mismo vallecito, tomada en una dirección algo diferente, para aclarar su interpretación, según la cual las « tilitas » aparecían en el fondo de una ventana tectónica; la traza de la superficie de corrimiento no resulta visible, pero unas letras convenientemente agregadas indican aproximadamente por dónde debería pasar. En otro trabajo añade que él y Harrington comprobaron que « las varias camadas de tilitas y otros depósitos asoman en una ventana tectónica de contorno oblongo » y que « tal disposición invertida, con respecto a la edad de las capas, es debida al corrimiento de fecha pérmica » (Keidel, 1939, pág. 19, nota 1).

Reconocer una superficie de dislocación en una región montañosa casi totalmente desprovista de vegetación, como lo es la Sierra del Tontal, es cosa que no ofrece mucha dificultad a geólogos experimentados; lo que no entiendo bien es cómo se ha podido comprobar que esta superficie de dislocación delimita el marco de una ventana tectónica. En todos los otros casos que conozco, las ventanas tectónicas han sido descubiertas porque alguien ha visto aflorar rocas *seguramente* más recientes debajo de rocas *seguramente*

más antiguas; en cambio en el vallecito fotografiado por Du Toit y por Keidel afloran las supuestas tilitas y las capas con *Pseudamusium*, sobre cuya edad las opiniones de estos geólogos son netamente divergentes. Me inclino a suponer, pues, que se ha pensado en la existencia de la ventana tectónica porque se partía de la premisa de que los estratos con *Pseudamusium* son del Pérmico y los con *Euomphalus* son del Carbonífero superior. A mi manera de ver, los fósiles indican que unos y otros puedan ser del Carbonífero superior, y que es probable que los estratos con *Pseudamusium* sean algo más antiguos que los con *Euomphalus* (Fossa, 1943, págs. 316-320).

Sea como fuere, la existencia de una superficie de dislocación que forma ángulos muy agudos con las superficies de estratificación, autorizaría a sospechar que ha habido otros movimientos diferenciales en dirección casi horizontal, en cuyo caso la supuesta tilita bien podría ser una brecha tectónica.

Departamento de Calingasta. — Tapia y Rigal (1933, pág. 6 y la lám. I y perfil 2 de la lám. II), han señalado e ilustrado algunos afloramientos de supuestos depósitos glaciales y glaciofluviales del Pérmico que han observado dos o tres kilómetros al Este de la confluencia del Río Castaño y del Río de los Patos (« Las Juntas »).

En el texto leemos que estos depósitos están constituídos por « areniscas amarillentas, grises y violadas alternantes con arcillas arenosas parduscas y limoníticas y material fluvioglacial (tilitas) ». En la explicación de las láminas vemos referidos al Pérmico « depósitos fluvioglaciales, conglomerados, arenisca y arcillas fosilíferas » y también « morenas ». En la leyenda del « Bosquejo topográfico y geológico » (lám. II) está escrito: « Pérmico. — Depósitos fluvioglaciales; conglomerados alternando con areniscas y esquistos arcillo-arenosos fosilíferos ».

En tres vistas fotográficas aparecen grupos de estratos referidos al Pérmico y considerados de origen glacial o fluvioglacial, pero están demasiado lejos para que sean visibles los detalles; éstos se encuentran en el valle del Río San Juan y en el vallecito de un afluente, a distancia considerable de Las Juntas (Tapia y Rigal, págs. 12, 13 y 14, figs. 2, 6 y 14 de las láminas III, V y IX, respectivamente).

En uno de los afloramientos al Este de Las Juntas, Rigal halló un fragmento de roca con fósiles y lo consideró como un canto glacial. Este fragmento ha sido estudiado por Harrington, quien ha logrado determinar específicamente dos especies de braquiópodos que, anteriormente, sólo habían sido encontradas en Leoncito Encima y que él mismo había referido, con reserva, al Carbonífero inferior. Un vistazo a las figuras de Harrington (1939, págs. 482, 483) hace reconocer de inmediato que no se trata de un típico canto glacial; es « un trozo anguloso de una arenisca pardo rojizo claro », con aristas netas. Las figuras autorizan a suponer que es un fragmento de un estrato delgado que no ha padecido desgaste apreciable ni en las aristas ni en las caras de estratificación; en éstas sobresalen restos o im-

prontas de conchas de braquiópodos que conservan bien los detalles de su ornamentación. No logro imaginarme un glaciar que transporte fragmentos de arenisca con tanta delicadeza y los proteja del rozamiento y del desgaste, ni un torrente glacial igualmente respetuoso para con los fósiles. Por consiguiente, en mi modesta opinión, este fragmento fosilífero proporcionaría un buen argumento a quien quisiera negar el origen glacial, o glaciofluvial, del depósito que lo contiene. Fragmentos con el mismo aspecto son relativamente frecuentes en el detrito que se acumula al pie de pendientes abruptas, como bien lo saben todos los que se dedican a recolectar fósiles.

4. PROVINCIA DE MENDOZA. — *Departamento Las Heras*. — Du Toit (1927, pág. 32) ha hecho alusión a cierta fotografía de un afloramiento de tilita que vió en el Museo de la Dirección de Minas con la indicación: « Arroyo del Chiquero », Alta Cordillera, Mendoza. Keidel (1938, pág. 188) proporciona interesantes datos al respecto. La fotografía, tomada por él en 1914, representa uno de los bancos más altos de « tilita » (espeso unos doce metros) que afloran en la Quebrada Seca, al pie oriental de la Cordillera del Tigre. En lugares cercanos este grupo de estratos con intercalaciones de conglomerados de aspecto glacial se presenta limitado, superior e inferiormente, por superficies de dislocación tectónica. Por esta razón me parece posible que aun en este caso se trate de brechas de fricción debidas a movimientos diferenciales más o menos paralelos a las superficies de estratificación.

En la Sierra de Uspallata, Keidel (1939, págs. 6, 7, 12-15, 21-27, 31, 40, 46, 50, 52, 53, 55, 61, 62, 65, 69, 70, 81, 82, 84, 86, 87, 93, 94) ha observado un gran número de bancos conglomerádicos, que ha considerado de origen glacial y de edad carbonífera o pérmica; y además de estas supuestas tilitas, también ha hallado estratos bandeados (con « varves »). No me es posible discutir en pocas páginas todas las interesantes noticias que proporciona Keidel, en su importantísimo trabajo, acerca de los sedimentos que considera tilitas; ni lo creo indispensable, por cuanto el lector que consulte las páginas que he indicado hallará, en el texto o bien en los perfiles (excelentemente dibujados), las pruebas de que las supuestas tilitas están normalmente asociadas con superficies de dislocación, así que podrá juzgar por sí mismo si es probable o no que muchas de dichas « tilitas » sean tan sólo brechas de fricción, o milonitas. La complicada estructura de corrimiento tan hábilmente descrita por Keidel me resulta, hasta cierto punto, familiar, por cuanto entre 1922 y 1926 me incumbió el deber, no siempre agradable, de efectuar el levantamiento geológico de ciertas partes del Apenino Emiliano en las cuales abundan dislocaciones del mismo tipo, aunque en proporciones menos grandiosas. En mi caso, las dificultades no eran tan graves como las con que ha debido luchar Keidel, pues yo poseía buenos mapas topográficos de la región que me correspondería estudiar; además los estratos dislocados, de edad terciaria, no estaban afectados por

metamorfismo apreciable y las rocas dominantes eran areniscas, arcillas y calizas arenosas o margosas de aspecto característico, cuyos fragmentos se dejaban reconocer con relativa facilidad en las zonas de milonitización. Condiciones semejantes han sido observadas en muchas otras partes de Europa (al pie oriental de los Pirineos, en el cantón suizo de San Galo, en la cuenca carbonífera de Namur en Bélgica, etc.) y han sido descritas en varias obras que he tenido ocasión de consultar. En algunos de estos casos se ha observado cantos estriados y superficies alisadas parecidas a lamiares; pero no me consta que se haya visto algo que pudiera interpretarse como un sedimento glaciolocustre con varves. Por consiguiente, atribuyo especial importancia a las varves descubiertas por Keidel en el flanco occidental del Cerro Pelado de Uspallata (Keidel, 1939, págs. 69 y 70).

Entre las fotografías reproducidas por Keidel para ilustrar su trabajo, hay dos que me parecen dignas de particular mención: una de ellas (pág. 53, fig. 9) representa un canto con una cara casi aplanada atravesada por muchas estrías y surcos paralelos y con una incisión corta y honda, que tiene otra dirección; la otra (lám. IX) deja ver el «despedazamiento y arrollamiento entre planos de movimientos diferenciales» sufrido por cierta arenisca conglomerádica que pertenece a uno de los supuestos grupos de depósitos glaciales pérmicos.

El estudio del instructivo trabajo de Keidel sobre la Sierra de Uspallata, tan rico en datos de observación y sugerencias valiosas, me ha producido la impresión de que sus «tilitas» pueden ser, en su mayoría, brechas de fricción; seguramente debe haber, entre ellas, alguna tilita verdadera, pero me parece probable que los movimientos tectónicos hayan borrado los caracteres que, en casos normales, permiten reconocer las antiguas morenas.

El bosquejo tectónico de Keidel reproducido en su lámina I, indica con toda claridad que los cuatro supuestos grupos glaciares del Antracolitico constituyen otras tantas masas lenticulares incluídas entre distintas «series» y mantos; esta disposición me recuerda la de ciertas brechas de fricción que he observado en el Terciario del Apenino Septentrional, donde sin embargo la magnitud de las lentes de brecha es mucho menor.

En un trabajo más reciente (1941, págs. 104, 105) Keidel dice que «en la pendiente occidental de la Sierra de Uspallata la sucesión originaria de las distintas series del Paleozoico ha quedado alterada, por los movimientos tectónicos anteriores al Mesozoico, en grado tal, que la discordancia en la base de tres grupos glaciares de edad diferente es de origen tectónico». El más importante de estos movimientos se habría producido, probablemente, hacia el final del Paleozoico y habría afectado aún a las «tilitas» más recientes, que Keidel refiere al Pérmico inferior.

De aceptarse estas hipótesis de Keidel, debería esperarse que las «tilitas» del grupo glacial inferior, por haber estado expuestas a cuatro, o más, períodos de actividad tectónica, deberían presentarse mucho más dislocadas y perturbadas que las «tilitas» del último grupo glacial, que sólo habrían

sufrido los efectos de uno o dos períodos orogénicos. Si observamos los claros perfiles que acompañan el trabajo de Keidel sobre la Sierra de Uspallata (1939), no hallamos diferencia de importancia entre las condiciones tectónicas en que se presentan las series glaciales de edad diferente. A mi modo de ver, es mucho más sencillo y lógico suponer que la mayor parte, si no la totalidad, de los corrimientos a lo largo de superficies, o zonas, de menor resistencia se han efectuado durante un único período de actividad tectónica y posteriormente a la deposición de todas las supuestas tilitas; y que, cada vez que las zonas de menor resistencia estaban constituidas por grupos de estratos arcillosos o arenosos con intercalaciones más resistentes o bancos de conglomerado, los corrimientos han producido brechas de un tipo particular, que es fácil tomar por tilitas. De esta manera se explicaría el aspecto relativamente uniforme de los perfiles que representan las condiciones tectónicas que afectan supuestos grupos glaciales de distinta edad.

Departamento de San Rafael. — Windhausen (1918, págs. 34, 35), deseando demostrar que la Sierra Pintada representa una especie de eslabón de conexión entre la Precordillera de Mendoza y las Sierras Australes de Buenos Aires, escribió que también en la Sierra Pintada la base del Sistema de Gondwana está caracterizada por una discordancia y por la existencia de un conglomerado glacial del Pérmico. Du Toit (1927, pág. 32) y Salomon-Calvi (1933, pág. 69) han citado el supuesto hallazgo de Windhausen, pero Keidel (1938, pág. 156) lo niega, diciendo que los bancos conglomerádicos que Windhausen tomó por tilitas son fanglomerados intercalados entre areniscas rojas. Recuerdo que en marzo de 1934 he observado, en cierto trecho del Arroyo del Tigre, relativamente cerca de San Rafael, algunos afloramientos de conglomerados con cantos generalmente bien redondeados pero de tamaño tan diferente que, vistos de lejos, sugerían efectivamente la idea de un depósito glacial; pero la ilusión se desvanecía no bien uno se acercaba lo suficiente para distinguir la forma de los cantos menores. El sitio a que me refiero no puede distar mucho del lugar donde aparece el basamento antiguo, a lo largo del Río Diamante. Por estas razones, sospecho que el lugar que conozco haya sido visitado muy rápidamente también por Windhausen y que él haya recibido la misma impresión, sin tener tiempo suficiente para efectuar las observaciones que lo habrían obligado a rectificarla.

Keidel (1922, lám. I), en el mapa de la distribución de los depósitos glaciales que refería al Pérmico, ha indicado (agregando un signo de interrogación) la ubicación de una dudosa tilita en la parte occidental de la Sierra Pintada y a la izquierda del Río Diamante, en un punto que parece corresponder, en posición, al Puesto de la Chilena. Este lugar dista unos treinta kilómetros, en línea recta, de los afloramientos de conglomerado algo semejante a tilita que he visto en el valle del Arroyo del Tigre, afluente de derecha del Río Diamante.

5. PROVINCIA DE SAN LUIS. — En julio de 1939 noté sedimentos bandeados a lo largo del Arroyo Cabeza de Novillo, en el llamado Bajo de Velis; las « varves » me parecían evidentes; pero recordaba que ellas pueden formarse en todos los climas, con tal que el material llevado en suspensión por las aguas varíe con cierta regularidad, en cantidad y calidad, en distintas estaciones del año. Al exponer los resultados de mis observaciones escribí que, en la parte inferior de la serie de estratos examinada, « hay numerosas intercalaciones con varves afectadas por dislocaciones que hacen sospechar que se hayan producido por la acción del hielo » (Fossa, 1940, pág. 227); estas palabras aluden a cierta discordancia, limitada a un corto trecho, que he notado en la serie de sedimentos bandeados y que me parecía comparable a las que se forman cerca de la orilla, en los lagos de regiones frías, por el empuje de la costra de hielo que, al formarse, se expande horizontalmente. En el citado trabajo están reproducidas algunas fotografías de estos sedimentos bandeados (figs. 7, 8 y 10, en las págs. 219, 220, 222 respectivamente). Los datos publicados por varios autores acerca de las plantas fósiles del « Bajo de Velis » me indujeron a opinar que ellas han vivido probablemente en la última parte del Carbonífero o, posiblemente, a principios del Pérmico.

Frenguelli, Báez y Leanza (1942, págs. 161-164) han efectuado posteriormente un estudio minucioso del « Bajo de Velis » y han reconocido la presencia e importancia de concreciones características (« markelors ») que no habían atraído mi atención; sus observaciones indican que los sedimentos con varves y « markelors » son efectivamente depósitos glaciolacustres del Carbonífero superior o del Pérmico. Una excelente descripción de las « markelors » del « Bajo de Velis » se halla en el trabajo de Frenguelli (1941, págs. 381-383) sobre las concreciones de las varves.

6. PROVINCIA DE BUENOS AIRES. — El origen glacial del « conglomerado del Río Sauce Grande y de la Sierra de Pillahuincó » puede considerarse definitivamente establecido desde cuando Keidel (1916) publicó su trabajo fundamental sobre la geología de las sierras de la provincia de Buenos Aires. Los estudios posteriores han aportado nuevos elementos de juicio, que contribuyen a confirmar la interpretación de Keidel acerca del origen del conglomerado, aún cuando evidencian la necesidad de ulteriores investigaciones para aclarar problemas tectónicos y establecer más sólidamente la posición estratigráfica de otras formaciones. La edad relativa del conglomerado glacial del Río Sauce Grande y de los estratos arcillosos y más o menos arenosos que parecen tener el mismo origen, queda fijada aproximadamente por los resultados del diligente estudio, realizado por Harrington (1934), de los restos vegetales hallados en estratos algo más recientes; me refiero a *edad relativa*, por cuanto todo lo que puede hacer, en nuestro caso, un paleontólogo es efectuar correlaciones con ciertas « series » de los « sistemas » de Santa Catharina (Brasil), del Karroo (Sudáfrica), de Kumilaroi

(Australia), y de Gondwana en sentido estricto (India). La situación de estas « series » en la columna estratigráfica general es objeto de discusión desde hace ochenta años. Podemos aceptar con toda confianza la conclusión de Harrington, quien paraleliza la parte inferior de su « grupo de Bonete », fosilífera, con la « serie » de Eccá, del « sistema » del Karroo ; y, por consiguiente, tenemos buenos motivos para admitir que el conglomerado glacial del Río Sauce Grande equivale, cronológicamente, a los conglomerados glaciales de Dwyka (Sudáfrica) y del Talchir (India). Pero éstos, aún hoy, son referidos al Pérmico inferior por muchos geólogos y paleontólogos, y al Carbonífero superior por muchos otros, y cada uno de estos estudiosos alega razones que corroboran su punto de vista, sin llegar a convencer a los partidarios de la opinión opuesta. Conviene, pues, resignarse a la incertidumbre y evitar el empleo de términos cuya exactitud, en este caso especial, es discutible ; así lo hizo Waagen, en 1891, a quien debemos la introducción en el lenguaje científico del cómodo término « Antracolíptico » para designar en conjunto, el Carbonífero y el Pérmico y eximirnos de la obligación de hacer referencia, arbitrariamente, a uno u otro de estos sistemas.

Las condiciones tectónicas en que se presenta el conglomerado del Río Sauce Grande no justificarían la suposición de que las estrías observadas en sus cantos sean debidas, en general, a movimientos diferenciales a lo largo de superficies de dislocación ; por otra parte, la gran extensión de sus afloramientos y su aspecto relativamente uniforme no permiten pensar en una acumulación de material de derrumbamiento. Podemos, pues, dar por comprobado, por exclusión, su origen glacial. Entonces, dado que el presente trabajo se refiere a *supuestos* vestigios de antiguas glaciaciones, no habría motivo para gastar más palabras sobre la única formación glacial conocida en las sierras australes de la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, creo necesario señalar que también en estas sierras las tilitas han sufrido los efectos de los movimientos tectónicos, aunque esto ha ocurrido sólo en las inmediaciones de ciertas superficies de corrimiento. Keidel (1938, págs. 221-223) ha descrito y figurado un caso particularmente interesante, que demuestra que una tilita puede perder completamente su aspecto normal por simple acción mecánica.

En general se cree que los vestigios de antiguas glaciaciones más cercanos a la ciudad de Buenos Aires son los de las Sierras de Pillehuincó. Sin embargo, en su compendioso trabajo sobre las montañas del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Schiller (1930, págs. 54 y 74) ha indicado, en dos cuadros, la existencia de un conglomerado glacial del Pérmico en la Isla Martín García, lo cual es muy verosímil, dada su posición entre los conocidos afloramientos de tilitas de la Sierra de Pillahuincó y aquellos de Fraile Muerto en la República Oriental del Uruguay. En la literatura geológica no he hallado mayores datos sobre los depósitos glaciales de la Isla de Martín García.

7. TERRITORIO DEL NEUQUÉN. — En la Cordillera del Viento, Backlund (1924, pág. 296) ha observado unos esquistos arcillosos de aspecto particular, bandeados con mucha regularidad, que están metamorfoseados al contacto con el granito; estos esquistos bandeados se asemejan mucho a las arcillas con varves del Pleistoceno de Finlandia y por esta razón, dice Backlund, «uno podría inclinarse a considerarlos como depósitos glaciales del Pérmico».

8. TERRITORIO DE SANTA CRUZ. — Probablemente alguno de los numerosos geólogos que han estudiado los alrededores del Lago San Martín ha descubierto, o creído descubrir, algún vestigio de una glaciación del Antracólítico, pues Washburne (1932, pág. 177) alude al movimiento hacia el Este de los glaciales del Pérmico del Lago San Martín.

Frenguelli (1935, pág. 72, fig. 1) fundándose en la presencia de ciertos restos vegetales, indicó como posiblemente del Carbonífero los esquistos filádicos y las cuarcitas que afloran en la orilla oriental de la Bahía de la Lancha del Lago San Martín; anteriormente aquellos esquistos y cuarcitas habían sido referidos al Devónico. Más recientemente, estudiando las muestras coleccionadas en dicho lugar, Frenguelli (1941, págs. 379-381) advirtió que una de ellas está constituida por un antiguo sedimento lacustre con varves y contiene una de las concreciones características de los depósitos glacio-lacustres. Esta interesante comprobación, juntamente con el hallazgo paleontológico anterior, lo llevaron a admitir que los mencionados esquistos filádicos del Lago San Martín son sedimentos glaciolacustres del Antracólítico moderadamente metamorfoseados.

IV. CONCLUSIONES

Hemos visto que, de acuerdo con las indicaciones consignadas en la literatura geológica, existirían, en territorio argentino, vestigios de glaciaciones del Ordovícico, del Gotlándico, del Carbonífero inferior, del Carbonífero superior y del Pérmico; y que estos vestigios se hallarían en siete provincias (Salta, Jujuy, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y Buenos Aires) y en dos territorios (Neuquén y Santa Cruz). Si las opiniones de los autores que han descubierto estos vestigios resultaran confirmadas por pruebas convincentes, la Argentina sería, entre todos los países del mundo, el más afectado por las glaciaciones durante la era paleozoica. Y debe notarse que las fases glaciales del Antracólítico (y posiblemente aún del Gotlándico) habrían sido particularmente numerosas, por cuanto Keidel (1938, 1939, 1941) se refiere repetidamente a «grupos glaciales», cada uno de los cuales comprendería numerosas «tilitas» intercaladas en series de estratos que no presentan ninguno de los caracteres que se suele atribuir a las morenas;

estos « grupos glaciales » habrían sido observados en la provincia de San Juan y de Mendoza.

He puesto de relieve la circunstancia de que las supuestas tilitas se presentan casi siempre en zonas afectadas por dislocaciones notables y, especialmente, por corrimientos a lo largo de superficies paralelas o casi paralelas a la estratificación de los estratos entre los cuales las « tilitas » están intercaladas; y en esta circunstancia me he fundado para sostener la opinión de que las acumulaciones más o menos caóticas de cantos, como también las estrías observadas en algunos de éstos o en superficies de estratificación de capas de arenisca o de caliza, pueden hallar una explicación más sencilla y verosímil en acciones mecánicas estrictamente relacionadas con los corrimientos. He citado anteriormente ejemplos de cantos estriados y de superficies alisadas y estriadas cuyo origen glacial es inadmisible; ahora, para aclarar mayormente mis ideas, agrego una representación esquemática (lám. II) que deja ver cómo han de producirse estrías en los cantos de brechas o conglomerados que constituyen zonas de menor resistencia; y cómo deben formarse superficies estriadas cuando masas, o bancos, de brecha o de conglomerado constan de fragmentos o cantos unidos sólidamente por la lapidificación del material arcilloso y arenoso que originariamente se había depositado en los intersticios que quedaban entre los fragmentos, o cantos. Nótese que también estoy refiriéndome a brechas de fricción y a los fragmentos (más o menos redondeados por frotamiento o bien angulosos) que las constituyen, por cuanto me parece posible que algunas de las supuestas tilitas equivalgan a las milonitas que frecuentemente observamos en la base de mantos de corrimiento, como resultado de la trituración de rocas compactas y relativamente homogéneas. Es evidente que alternancias de estratos de diferente resistencia no pueden transformarse en milonitas típicas, sino que deben tomar el aspecto de brechas o de conglomerados en los cuales los fragmentos (redondeados o no) de las capas más resistentes aparecen englobados en una masa constituída por los restos, triturados o pulverizados, de los estratos menos resistentes (como también de una parte de la roca que constituía las intercalaciones resistentes, si es que sus fragmentos han sido gastados por fricción hasta desaparecer las aristas).

En las páginas que anteceden he manifestado las razones que me inducen a no atribuir importancia a la presencia de brechas y conglomerados con aspecto más o menos caótico, de cantos estriados, y de superficies alisadas y surcadas; estoy seguro de que en la mayor parte de los casos (y no sólo en la Argentina, sino también en la América del Norte y en Europa) ellas no tienen relación alguna con glaciaciones del Paleozoico. Pero no debe suponerse que yo llegue hasta negar la existencia del « periodo » glacial que corresponde a una parte, de moderada duración, del Antracolíptico y durante el cual hubo un número reducido de « fases » glaciales separadas por las correspondientes « fases » interglaciales. Los mismos indicios que considero tan sospechosos en regiones fuertemente perturbadas por corrimientos,

me parecen altamente significativos en otras regiones en las cuales las condiciones tectónicas son notoriamente sencillas; así, por ejemplo, no veo motivos para sospechar que los cantos estriados de la « serie » de Talchir, en la India, no sean de origen glacial, por cuanto creo que en sus afloramientos típicos (diligentemente estudiados durante más de ochenta años por geólogos y mineros), no se ha observado ninguna dislocación comparable a un corrimiento, sino tan sólo fallas de fuerte inclinación que cortan los estratos casi en ángulo recto. Tampoco niego que haya verdaderas tilitas en la Precordillera; al contrario, me extrañaría si no hubiera ninguna, pues los sedimentos con varves y concreciones características (del tipo « markela ») constituyen, a mi manera de ver, indicios relativamente seguros de la existencia de antiguas glaciaciones.

En realidad, admito la posibilidad de que algunas de las supuestas tilitas sean efectivamente sedimentos de origen glacial, pero no creo posible, en regiones perturbadas por corrimientos, distinguirlos de las brechas y pseudoconglomerados que se han producido por efecto de movimientos tectónicos. Me parece increíble que un geólogo, por competente y experimentado que sea, llegue a distinguir las estrías y surcos de origen glacial de las estrías y surcos de origen tectónico, tanto más cuanto que una enérgica acción tectónica debe hacer desaparecer todo rastro de las estrías y de los surcos que un glaciar puede haber grabado en tiempos anteriores. Si se ha logrado descifrar algún palimpsesto, ello se debe a que no han sido borradas bien las huellas de la primera escritura; me parece extremadamente improbable que los corrimientos de bloques tectónicos (efectuados bajo la presión de mantos de roca cuyo espesor total se mide en kilómetros) hayan respetado las marcas dejadas por antiguos glaciares.

Posiblemente existe una manera sola para reconocer con relativa seguridad, en las regiones de corrimientos, el origen verdaderamente glacial de algunas de las supuestas tilitas: es un buen levantamiento topográfico y geológico de toda la región. Es evidente que un mapa geológico bien hecho, en escala suficientemente grande, nos indicaría cuáles son las zonas en las cuales la presencia de dislocaciones está comprobada o bien parece probable; entonces sería razonable considerar como indicios de antiguas glaciaciones los conglomerados con cantos estriados y las superficies alisadas y estriadas que se observen *fuera* de las zonas de dislocación comprobadas o probables. Desgraciadamente no hay motivos para confiar que nuestros contemporáneos vean muchos de tales mapas geológicos detallados, pues entre los geólogos que trabajamos en la Argentina tenemos, en general, una marcada propensión hacia las observaciones aisladas, las correlaciones arbitrarias y las reconstrucciones paleogeográficas prematuras. Atribuyo a esta tendencia la enorme desproporción entre la pobre documentación cartográfica y el gran desarrollo dado a las interpretaciones subjetivas de los datos de observación disponibles. Quien no crea en esta desproporción hará bien en leer los miles de páginas escritas en los últimos treinta y cinco años por

los geólogos de la Dirección de Minas y contar, cuántas de las 816 hojas del Mapa Geológico de la República Argentina han sido publicadas por dicha repartición. Se podría objetar, a este propósito, que varias hojas levantadas geológicamente (en totalidad o en parte) están guardadas en el archivo a la espera del momento oportuno para su impresión y publicación; pero creo que este momento no puede llegar hasta que no resulten aclaradas las muchas dudas engendradas por las interpretaciones prematuras y formuladas por distintos geólogos.

Volviendo ahora al problema de las glaciaciones del Paleozoico, recuerdo que más de cincuenta años atrás, Heim (1885, pág. 408) escribía: « Afortunadamente, ya han terminado los tiempos en los cuales cada bloque de roca aislado o cada piedra con estrías era considerada como una prueba de una antigua glaciación ». No puedo compartir la opinión de tan eminente geólogo, por cuanto veo que, aún en estos últimos años, la presencia de unos cuantos cantos estriados y de algunas superficies de roca alisadas o surcadas ha sido aducida como prueba suficiente e indiscutible de la existencia de antiguas glaciaciones.

Debo agregar que, en el caso particular de los supuestos vestigios de glaciaciones del Paleozoico en la Argentina, los datos consignados en la literatura geológica a menudo resultan algo vagos, por no haber dado los autores indicaciones suficientemente claras acerca de las ubicaciones de los afloramientos de supuestas tilitas, de supuestos antiguos lamiares, etc. Esta indeterminación topográfica dificulta enormemente la comprobación de la exactitud de observaciones anteriores, comprobación que es especialmente importante en nuestro caso, por cuanto las noticias sobre supuestos depósitos glaciales antiguos implican necesariamente una interpretación subjetiva. Así, por ejemplo, si otro geólogo ha escrito que en cierto lugar aflora una tilita del Paleozoico, puedo estar seguro de que él ha visto una roca conglomerádica que se asemeja a algún depósito glacial del Cuaternario; pero no puedo estar igualmente seguro de que aquella roca conglomerádica es realmente lo que queda de una antigua morrena, por cuanto creo (por las razones que he expuesto en el presente trabajo) que rocas de origen no glaciar pueden presentar el mismo aspecto. Por consiguiente, atribuyo al término « tilita » el significado de « roca que se asemeja a un depósito glacial » y me abstengo de opinar acerca de su origen hasta tener la comprobación de que la semejanza no puede ser debida a acciones tectónicas. En general, estas acciones tectónicas dejan rastros reconocibles en los afloramientos y, por esta razón, es conveniente que los sitios donde afloran las supuestas tilitas sean visitados por geólogos acostumbrados a efectuar observaciones minuciosas en regiones perturbadas por dislocaciones; evidentemente, esto sólo es posible cuando quien ha señalado la « tilita » ha indicado con exactitud el lugar donde la vió.

Me he referido, en el párrafo anterior, al carácter necesariamente subjetivo de las afirmaciones, formuladas sin prudentes reservas, acerca de hallaz-

gos de tilitas : en mi opinión, son afirmaciones dogmáticas peligrosas, por cuanto hacen creer que se trata de hechos de observación y no de interpretaciones individuales. Por esta razón he insistido, en el presente trabajo, sobre la dificultad (en muchos casos, imposibilidad) de reconocer los restos de antiguas morrenas y antiguos lamiarés ; y he tratado de evidenciar la necesidad de someter a sereno examen crítico las noticias de hallazgos de vestigios de antiguas glaciaciones.

A mi manera de ver, en este caso corresponde que el estudioso tome la misma actitud de razonable desconfianza que se impone en el estudio de los escritos que se refieren a todo problema geológico que, en el estado actual de nuestros conocimientos, admite dos o más soluciones. A propósito de uno de estos problemas (el del origen de los distintos tipos de rocas magmáticas) H. C. Smith (1940, pág. 87) dice : « Hay afirmaciones dogmáticas a disposición de los que están dispuestos a asimilarlas, pero actualmente conviene abstenerse de conclusiones apresuradas, aunque debe uno enterarse bien de las diferentes opiniones emitidas por distintos investigadores. Toda opinión emitida por un investigador de adecuada experiencia es digna de respetuosa consideración, pero no es obligatorio creer en ella ».

Buenos Aires, 31 de diciembre de 1942.

Summary. — This paper comprises a discussion of the criteria usually employed in interpreting certain lithological features as evidence of past glaciations, a review of the supposed traces of Paleozoic glaciations in Argentina, and some considerations about the chronological distribution of Paleozoic ice ages, as suggested by findings in this country.

It has been stated in recent years that in the Argentine Republic there is evidence of glaciations of Ordovician, Silurian, Early Carboniferous, Late Carboniferous, and Permian age. In most cases the alleged evidence consists in some boulder beds with a few scratched stones and occasionally in polished and striated rock surfaces. Almost always these striated surfaces and the scratched pebbles have been found in districts where thrust faulting or overthrusting are conspicuous. The writer thinks that the supposed ice pavements and many of the supposed tillites are Paleozoic aqueous sediments which have locally acquired a peculiar appearance under the action of diastrophic forces ; therefore he finds unnecessary to resort to the hypothesis of the multiple Paleozoic ice ages. He believes that one Late Carboniferous ice age, comparable in duration and phases to that of Pleistocene, can fully explain the distribution of all true Paleozoic glacial, limnoglacial, and fluvio-glacial sediments so far known in Argentina.

LISTA DE TRABAJOS MENCIONADOS EN EL TEXTO

- AGASSIZ, L., *Études sur les glaciers*, Neuchatel, 1840.
- *La théorie des glaciers et ses progrès les plus récents*, Bibl. Univ. Genève, n. s., XLI, 118-139, Genève, 1842.
- *Sur les roches striées de la Suisse*, B. S. G. F., serie 2^a, II, 273-277, Paris, 1845.
- BACKLUND, H. G., *Kristalline Massengesteine und die Andine Geosynclinale*, G. R., XIV, (1923), n° 3, 295-300, Berlin, 1924.
- BALDREY, R. A., *Slip-planes and breccia zones in the Tertiary rocks of Peru*, Q. J. G. S., XCIV, n° 3, 347-358, láms. XXIII-XXVII, London, 1938.
- BLANFORD, W. T. y H. F., y THEOBALD, W., *Geological structure and physical features of districts of Bankura, Midnapore, and Orissa*, M. G. S. I., I, parte 3^a, Calcuta, 1859.
- BODENBENDER, G., *Devono y Gondwana en la República Argentina*, B. A. N. C. C., XV, n° 1, 201-252, Buenos Aires, 1896.
- *Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes*, B. A. N. C. C., n° 1, 1-221, Córdoba, 1911; reimpresso en A. M. A. S. G., VII, n° 3, Buenos Aires, 1912.
- BÖHM VON BÖHMERSHEIM, A., *Geschichte der Moränenkunde*, A. K. K. G. G., III, n° 4, Wien, 1901.
- CANAVARI, M., *Manuale di geologia tecnica*, Pisa, 1928.
- CASANOVA, M., *Estudio sobre las aguas de los yacimientos petrolíferos fiscales de Salta*, B. I. P., IX, n° 99, 841, 927, Buenos Aires, 1932.
- CLOOS, H., *Einführung in die Geologie*, Berlin, 1936.
- COLEMAN, A. P., *Ice ages, recent and ancient*, New York, 1926; reimpresso en 1929.
- *Ice ages in the geologic column*, B. G. S. A., L, n° 3, 449-451, Washington, 1939.
- CONCI, I., *Bosquejo geológico de la zona que explota Y. P. F. en Tranquilas, Salta*, B. I. P., XV, n° 166, 67-82, Buenos Aires, 1938.
- COTTA, BERNHARD VON, *Geologie der Gegenwart*, 5^a edición, Leipzig, 1878.
- DAUBRÉE, A., *Études synthétiques de géologie expérimentale*, Paris, 1879.
- DE FERRARIIS, C. I. C., *Corrimiento de bloques de montaña en los alrededores de Purmamarca (provincia de Jujuy)*, T. M. L. P., n° 1, Buenos Aires, 1940.
- DIRECCIÓN GENERAL DE MINAS, GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA, *Memoria correspondiente al año 1915*, A. M. A. S. G., XII, n° 2, Buenos Aires, 1917.
- DUEÑAS, E. I., *Aspecto minero del departamento del Cuzco*, B. C. I. M. P., n° 53, Lima, 1907.
- DUNBAR, C. O., *Validity of the criteria for Lower Carboniferous glaciation in Western Argentina*, A. J. S., CCXXXVIII, n° 9, 673-675, New Haven, Conn., 1940.
- DU TOIT, A. L., *A geological comparison of South Africa with South America*, P. C. I. W., n° 381, Washington, 1927.
- *Our Wandering Continents*, Edinburgh, 1937.
- DYSON, J. L., *Snowslide erosion*, « Science », LXXXCH, n° 2260, 365-366, New York, 1938.
- ESCHER VON DER LINTH, A., *Bemerkungen über Herrn Professor Sefström's Untersuchungen über die auf den Felsen Skandinaviens vorhandenen Furchen, etc.*, en *Poggendorff's Annalen*, LVI, 605-616, Leipzig, 1842.
- FALSAN, A., *La période glaciaire*, Paris, 1890.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L., *Sobre traducción española de algunos términos frecuentemente empleados en Glaciología*, B. S. E. H. N., XVI, n° 1, 86-94, Madrid, 1916.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L. y CENDRERO GURIEL, O., *Elementos de Geología*, Santander, 1927.

- FERUGLIO, E., *Observaciones geológicas en las provincias de Salta y Jujuy*, C. P. R. N. G., n° 7, Buenos Aires, 1931.
- *Fossili devonici della Sierra del Porongal nella regione subandina dell'Argentina Settentrionale*, A. M. G. B., serie 2ª, VIII, Bologna, 1933.
- FOSSA-MANCINI, E., *Appunti sulla geologia di una parte del circondario di Varese*, B. R. U. G. I., vol. L., n° 8, Roma, 1925.
- *Breve reseña de las investigaciones geológicas realizadas por los geólogos de la Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales entre marzo de 1927 y marzo de 1931*, C. P. R. N. G., n° 1, Buenos Aires, 1931.
- *Fallas actualmente activas en la Sierra del Morado (provincia de San Juan)*, B. I. P., XIII, n° 141, 65-138, Buenos Aires, 1936.
- *Nomenclatura estratigráfica para las zonas estudiadas por Y. P. F. en las provincias de Salta y Jujuy*, B. I. P., XVI, n° 171, 65-73, Buenos Aires, 1938.
- *Vistas aéreas, fallas activas y temblores mendocinos*, B. I. P., XVI, n° 179, 45-78, Buenos Aires, 1939.
- *Acerca de la edad de las capas fosilíferas del llamado « Bajo de Velis » en la provincia de San Luis*, R. M. L. P. (n. s.), tomo I, Geología, 161-232, Buenos Aires, 1940.
- *Sobre la edad de los estratos con braquiópodos de Barreal y de Leoncito Encima (provincia de San Juan)*, R. M. L. P., n. s., I, Geología, 299-324, La Plata, 1943.
- *Sobre la edad de los estratos con Reticularia lineata de La Ligua (Provincia de Aconcagua, Chile)*, N. M. L. P., VIII, Geología, n° 23, 59-73, La Plata, 1943.
- FREITAG, B. y KÄSTNER, M., *Ueber nichtglaziale Schrammerungen bei Altenheimi*, i. Sa., C. M. G. P., 1909, 521-526, Stuttgart, 1909.
- FRENGUELLI, J., « *Ptilophyllum hislopi* » (Oldham) en los « *Mayer River Beds* » del Lago San Martín, N. M. L. P., I, Paleontología, n° 3, 71-83, Buenos Aires, 1935.
- *Las concreciones de los varves y su significado geológico*, N. M. L. P., VI, Geología, n° 15, 371-386, La Plata, 1941.
- *Sobre una flórida Carbonífera del Agua de los Jejenes, San Juan, conservada en el Museo de La Plata*, N. M. L. P., VI, Paleontología, n° 36, 459-478, La Plata, 1941.
- FRENGUELLI, J., BÁEZ, C. R. y LEANZA, A. F., *El Bajo de Velis en la provincia de San Luis*, N. M. L. P., VII, Geología, n° 20, 153-175, La Plata, 1942.
- FREYBERG, B. VON, *Geologische Untersuchungen in der Sierra de los Llanos (La Rioja, Argentina)*, A. S. N. G., vol. XXXIX, entr. 3ª, 293-346, Franckfurt, A. M., 1927.
- GEIKIE, A., *On the phenomena of the Glacial Drift in Scotland*, T. G. S. G., I, parte 2ª, Glasgow, 1863.
- *Text-book of Geology*, 4ª edición, II, London, 1903.
- GERTH, H., *Geologische und morphologische Beobachtungen in der Kordilleren Südperus*, G. R., VI, fasc. 3ª, 129-153, Leipzig, 1915.
- GREENLY, E., *The Red Measures of the Menaian Region of Carnarvonshire*, Q. J. G. S., XCIV, n° 375, 331-345, lám. XXII, London, 1938.
- GREGORY, H. E., *The Rodadero (Cuzco, Perú): a fault plane of unusual aspect*, A. J. S., s. 4a. XXXVII, n° 220, 289-298, New Haven, Conn., 1914.
- *Note on the shape of pebbles*, A. J. S., s. 4a., XXXIX, n° 231, 300-304, New Haven, Conn., 1915.
- GREGORY, J. W. y BARRETT, B. H., *General Stratigraphy*, London, 1931.
- HALL, J., *On the revolutions of the earth's surface*, T. R. S. E., VII, 139-167 y 169-211, Edinburgh, 1815 (son dos comunicaciones leídas en 1812).
- HARRINGTON, H. J., *Sobre la presencia de restos de la flora de « Glossopteris » en las Sierras Australes de Buenos Aires*, R. M. L. P., XXXIV, 303-338, Buenos Aires, 1934.
- *On some Ordovician fossils from Northern Argentina*, G. M., LXXIV, n° 873, 97-124, London, 1937.

- HARRINGTON, H. J., *Las correlaciones paleo-zoogeográficas del Ordoviciano Argentino*, «Gaea», VI, 193-199, Buenos Aires, 1938.
- *Sobre un rodado con fósiles del Carbonífero inferior hallado en los depósitos glaciares neopaleozoicos de «Las Juntas» (provincia de San Juan)*, «Physis», XIV, 481-484, Buenos Aires, 1939.
- HAUG, E., *Traité de Géologie*, I, Paris, 1907.
- HAUSEN, H., *On the lithology and geological structure of the Sierra de Umango area, province of La Rioja, Argentine Republic*, A. A. A. M. P., I, n° 4, Abo, 1921.
- HEIM, ALBERT, *Untersuchungen Ueber den Mechanismus der Gebirgsbildungen*, Basel, 1878.
- *Ueber Bergstürze*, Zürich, 1882.
- *Handbuch der Gletscherkunde*, Stuttgart, 1885.
- *Geologie der Schweiz*, I, Leipzig, 1919.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E., *Sobre supuestos fenómenos glaciares en el Norte de Extremadura*, B. S. E. H. N., XVI, n° 1, 72-73, Madrid, 1916.
- *Geología fisiográfica*, en Candel Vila y otros, *Historia Natural*, tomo IV, 264-448, Barcelona, 1927.
- HERRERO DUCLOUX, A., *Sobre los fenómenos de corrimiento en ambos lados de la Quebrada de Huella, departamento de Tucumán, provincia de Jujuy*, T. M. L. P., n° 2, Buenos Aires, 1940.
- HÖFER VON HEIMHALT, H., *Die Verwerfungen*, Braunschweig, 1917.
- HOLLAND, T. H., *The geological age of the glacial horizon at the base of the Gondwana System*, Q. J. G. S., LXXXIX, n° 354, lxiv-lxxxi, London, 1933.
- IMAMURA, G., *Past glaciers and the present topography of Japanese Alps*, S. R. T. B. D., s. c., II, n° 7, Koishiwaka, 1937.
- IMAMURA, G. y HIRABAYASHI, T., *Geomorphology of Japanese high mountains*, IV: *Nivation Phenomena around the Peak of Sirouma*, P. I. A. J., XI, n° 8, 331-333, Tokyo, 1935.
- KEIDEL, J., *Geología de las sierras de la provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud África y los Andes*, A. M. A. S. G., XI, n° 3, Buenos Aires, 1910.
- *Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza*, A. M. A. S. G., XV, n° 2, Buenos Aires, 1921.
- *Sobre la distribución de los depósitos glaciares del Pérmico conocidos en la Argentina*, B. A. N. C. C., XXV, n° 3, Córdoba, 1922.
- *Ueber die Gondwaniden Argentinien*, G. R., XXX, n° 1-2, págs. 148-240, Stuttgart, 1938, 241-249, Stuttgart, 1939.
- *Las estructuras de corrimiento paleozoicas de la Sierra de Uspallata*, «Physis», XIV, n° 46, 3-96, láms. I-XI, Buenos Aires, 1939.
- *Paleozoic glaciation in South America*, Proceedings of the Eighth American Scientific Congress (Washington, May, 1940), vol. IV.¹
- KEIDEL, J. y HARRINGTON, H. J., *On the discovery of Lower Carboniferous tillites in the Precordillera of San Juan, Western Argentina*, G. M., LXXXV, n° 885, 103-129, London, 1938.
- KING, W. W., *The Permian conglomerates of the Lower Severn basin*, Q. J. G. S., LV, n° 217, 97-128, láms. XI y XII, London, 1899.

¹ No indico el año de publicación de este importante trabajo, por cuanto sólo he podido examinar la tirada aparte, de la cual el autor tuvo la gentileza de enviarme un ejemplar, que he recibido en 1942; y la tirada aparte lleva únicamente la indicación de la fecha en que se celebró el congreso. No he hallado los tomos de estos *Proceedings* en varias bibliotecas donde los he buscado, ni los he visto mencionados en los índices mensuales y anuales de la producción editorial norteamericana. Me imagino que la publicación de esos tomos ha sido demorada por condiciones creadas por la guerra. En las referencias en el texto he indicado el año del congreso.

- KURTZ, F., *Atlas de plantas fósiles de la República Argentina*, A. A. N. C. C., VII, 129-153, Córdoba, 1921.
- LAHEE, F. H., *Late Paleozoic glaciation in the Boston Basin, Massachusetts*, A. J. S., s. 4a, n° 220, 316-318, New Haven, Conn., 1914.
- *Field Geology*, 1ª edición, New York, 1916, 3ª edición, New York, 1931.
- LEINZ, V., *Estudos sobre a glaciação permo-carbonífera do Sul do Brasil*, B. S. F. P. M., n° 21, Rio de Janeiro, 1937.
- *Petrographische und geologische Beobachtungen an den Sedimenten der permo-karbonischen Vereisung Südbrasilens*, N. J. M. G. P., B. B., LXXIX, B., 26-62, Stuttgart, 1938.
- LEONHARD, G., notas ed.: J. D. FORBES, *Reisen in den Savoyer Alpen, etc.*, Stuttgart, 1845.
- LOBECK, A. K., *Geomorphology*, New York, 1939.
- LYELL, C., *Principles of Geology*, 11ª edición, vol. I, London, 1872.
- MACLAREN, C., *A sketch of the geology of Fife and the Lothians, etc.*, Edinburgh, 1839.
- MARTINS, C. y GASTALDI, B., *Essai sur les terrains superficiels de la vallée du Po, aux environs de Turin, comparés à ceux de la plaine Suisse*, B. S. G. F., 2ª série, VII, 544-605, Paris, 1850.
- MATHER, K. F., *Front ranges of the Andes between Santa Cruz (Bolivia) and Embarcación (Argentina)*, B. G. S. A., XXXIII, 703-764, Washington, 1922.
- MATHER, K. F. y MASON, S. L., *A Source Book in Geology*, New York, 1939.
- MEUNIER, S., *La géologie expérimentale*, 1ª edición, Paris, 1899; 2ª edición, Paris, 1904.
- *Catalogue sommaire de la collection de géologie expérimentale du Muséum d'Histoire Naturelle*, Paris, 1907.
- *Dictionnaire de Géologie*, Paris, 1926.
- OLDHAM, R. D., *A comparison of the Permian breccias of the Midlands with the Upper Carboniferous glacial deposit of India and Australia*, Q. J. G. S., L, n° 199, 463-471, London, 1894.
- PENCK, A., *Der Vergletscherung der Deutschen Alpen, ihre Ursachen, etc.*, Leipzig, 1882.
- PENCK, W., *Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien)*, A. S. A. W., Leipzig, 1920.
- PHILIPP, H., *Die geologische Tätigkeit des Eises, en Salomon y otros, Grundzüge der Geologie*, I, Stuttgart, 1924.
- RAMSAY, A. C., *On the occurrence of angular, subangular, polished and striated fragments and boulders in the Permian breccia of Shropshire, Worcestershire, etc.*, Q. J. G. S., XI, n° 2, 142-205, London, 1855.
- RASSMUS, J., *Investigación de la estructura tectónica de la cuenca imbrífera del Río de la Rioja, etc.*, B. D. M. G., s. B, n° 17, Buenos Aires, 1918.
- *Geología de los yacimientos de carbón en la República Argentina*, B. D. M. G., s. B, n° 23, Buenos Aires, 1920.
- REED, F. R. COWPER, *Upper Carboniferous fossils from Argentina*, P. C. I. W., n° 381, 129-150, láms. XII-XVI, Washington, 1927 (Apéndice a Du Toit, *A geological comparison, etc.*, 1927).
- RICHTHOFFEN, F. VON, *Führer für Forschungsreisende*, Hannover, 1886; reimpresión, 1901.
- SALOMON-CALVI, W., *Die permokarbonischen Eiszeiten*, Leipzig, 1933.
- SAYLES, R. W., *The Squantum tillite*, B. M. C. Z., LVI, n° 2, 141-175, láms. I-XII, Cambridge, Mass., 1914.
- SCHILLER, W., *Investigaciones geológicas en las montañas del sudoeste de la provincia de Buenos Aires*, A. M. L. P., s. 2, IV, 1ª parte, Buenos Aires, 1930.
- SCHLAGINTWEIT, O., *Los insectos fósiles del Norte Argentino y la edad del Horizonte Calcáreo-Dolomítico*, B. I. P., año XIII, n° 145, 61-69, Buenos Aires, Septiembre, 1936.
- *Observaciones estratigráficas en el Norte Argentino*, B. I. P., año XIV, n° 156, 1-49, Buenos Aires, Agosto, 1937.

- SCHUCHERT, C., *Review of the Late Paleozoic formations and faunas, with special reference to the ice-age of Middle-Permian time*, B. G. S. A., XXXIX, n° 3, 769-886, Washington, 1928.
- SCOTT, W. B., *An introduction to geology*, 3ª edición, vol. II, New York, 1932.
- SMITH, H. G., *Minerals and the microscope*, 4ª edición, London, 1940.
- STAPPENBECK, R., *La Precordillera de San Juan y Mendoza*, A. M. A. S. G., IV, n° 3, Buenos Aires, 1910.
- STOPPANI, A., *Corso di Geologia*, vol. I, Milano, 1871.
- TAPIA, A. y RIGAL, R., *Lugar favorable para el empotramiento de un dique de embalse en el curso superior del Río San Juan*, « Las Juntas », B. D. M. G., n° 35, Buenos Aires, 1933.
- THIESMEYER, L. R., *Wind-worn stones in glacial deposits in the Middle West*, « Science », XCVI, n° 2489, 242-244, New York, 1942.
- TWENHOFEL, W. H., *Principles of sedimentation*, New York, 1939.
- VINASSA DE REGNY, P., *La Terra*, Torino, 1933.
- VON ENGELN, O. D., *Type form of faceted and striated pebbles*, A. J. S., s. 5, XIX, n° 109, 9-26, New Haven, Conn., 1930.
- WAAGEN, W., *Productus Limestone fossils, IV, Geological Results*, en *Palaeontologia Indica*, s. XIII, I, 4, Calcutta, 1889-1891.
- WASHBURNE, C. W., *Late Paleozoic Glaciation of Southern Brazil*, B. G. S. A., XLIII, n° 2, 177, Washington, 1932.
- WENTWORTH, C. K., *The coarser grained clastic sedimentary products*, en Twenhofel, W. H., *Treatise on Sedimentation*, 1ª edición, 172-186, Baltimore, 1926; 2ª edición, 199-240, Baltimore, 1932.
- *Striated cobbles in Southern States*, B. G. S. A., XXXIX, n° 4, 941-953, Washington, 1928.
- WINDHAUSEN, A., *The problem of the Cretaceous-Tertiary boundary in South America and the stratigraphical position of the San Jorge formation*, A. J. S., s. 4, XV, n° 1, 1-53, New Haven, Conn., 1918.
- *Geología Argentina, Segunda Parte*, Buenos Aires, 1931.
- WOODWORTH, J. B., *Geological expedition to Brazil and Chile, 1908-1909*, B. M. C. Z., LVI, n° 1, Cambridge, Mass., 1912.
- *Boulder beds of the Caney shales at Talashina, Oklahoma*, B. G. S. A., XXIII, 457-462, Washington, 1912.

EXPLICACIÓN DE LAS ABREVIATURAS EMPLEADAS
EN LA LISTA DE TRABAJOS CITADOS

- A. A. A. M. P. : Acta Academiae Aboensis, Mathematica et Physica.
A. A. N. C. C. : Actas de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba (República Argentina).
A. J. S. : American Journal of Science.
A. K. K. G. G. : Abhandlungen der K. K. Geographischen Gesellschaft in Wien.
A. M. A. S. G. : Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minas.
A. M. G. B. : Giornale di Geologia-Annali del R. Museo Geologico de Bologna.
A. M. L. P. : Anales del Museo de La Plata.
A. S. A. W. : Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-physikalische Klasse.
A. S. N. G. : Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft.
B. A. N. C. G. : Boletín de la Academia Nacional de Ciencias en Córdoba (República Argentina).
B. C. I. M. P. : Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú.
B. D. M. G. : Boletín de la Dirección de Minas y Geología.
B. G. S. A. : Bulletin of the Geological Society of America.
B. I. P. : Boletín de Informaciones Petroleras.
B. M. C. Z. : Bulletin of the Museum of Comparative Zoölogy at Harvard College.
B. R. U. G. I. : Bolletino del Regio Ufficio Geologico d'Italia.
B. S. E. H. N. : Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural.
B. S. F. P. M. : Boletim do Serviço de Fomento da Produção Mineral.
B. S. G. F. : Bulletin de la Société Géologique de France.
C. M. G. P. : Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie.
C. P. R. N. G. : Contribuciones de la Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales a la Primera Reunión Nacional de Geografía.
G. M. : The Geological Magazine.
G. R. : Geologische Rundschau.
M. G. S. I. : Memoirs of the Geological Survey of India.
N. J. M. G. P. : Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie (B. B. : Beilage-Band).
N. M. L. P. : Notas del Museo de La Plata.
P. I. A. J. : Proceedings of the Imperial Academy of Japan.
Q. J. G. S. : Quarterly Journal of the Geological Society.
R. M. L. P. : Revista del Museo de La Plata.
S. R. T. B. D. : Science Reports Tokyo Bunriku Daigaku.
T. G. S. G. : Transaction of the Geological Society of Glasgow.
T. M. L. P. : Tesis del Museo de La Plata.
T. R. S. E. : Transactions of the Royal Society of Edinburgh.

INDICE

I. Rectificación de una opinión expresada por el autor en 1940.....	347
II. Pruebas de la existencia de antiguas glaciaciones.....	349
A. Depósitos conglomerádicos caóticos.....	351
B. Significado de la forma y de las estrías de los cantos.....	352
C. Superficies de rocas alisadas, estriadas o surcadas.....	356
D. Pavimentos estriados.....	360
E. Granos angulosos y minerales no alterados.....	362
F. Sedimentos bandeados (con « varves »).....	363
G. Un ejemplo típico de la dificultad de comprobar la existencia de glaciaciones del Paleozoico.....	364
III. Indicios de glaciaciones del Paleozoico señalados en la Argentina.....	365
A. Supuestas glaciaciones del Ordovícico.....	365
B. Supuestas glaciaciones del Gotlándico.....	369
C. Supuestas glaciaciones del Carbonífero Inferior.....	373
D. Supuestas glaciaciones del Carbonífero Superior y del Pérmico.....	377
1. Provincia de Salta.....	378
2. Provincia de La Rioja.....	380
3. Provincia de San Juan.....	382
a. Departamentos de Jachal y Ullún.....	382
b. Departamentos de Rivadavia y Pocitos.....	383
c. Departamento de Barreal.....	387
d. Departamento de Calingasta.....	389
4. Provincia de Mendoza.....	390
a. Departamento de Las Heras.....	390
b. Departamento de San Rafael.....	392
5. Provincia de San Luis.....	393
6. Provincia de Buenos Aires.....	393
7. Territorio del Neuquén.....	395
8. Territorio de Santa Cruz.....	395
IV. Conclusiones.....	395
Lista de trabajos mencionados en el texto.....	400

LÁMINAS

LÁMINA I

Reproducción de dos fotografías de la misma cara de un fragmento de roca con surcos y estrías, recogido en el Cerro Morado de Purmamarca (provincia de Jujuy), por el doctor C. I. C. De Ferrariis.

El fragmento ha sido fotografiado en iguales condiciones de luz y en dos posiciones diferentes, para que resultaran convenientemente iluminadas algunas particularidades interesantes.

En ambas fotografías se ve que la superficie surcada y estriada es casi perfectamente plana y que todos los surcos y estrías son aproximadamente paralelos, como suele ocurrir en las superficies de falla. Además, en la fotografía inferior puede observarse (arriba de las puntas de los dedos índice y medio de la mano izquierda) otra superficie casi plana y paralela a la cara que presenta los surcos y las estrías, lo cual indica que se trata de una roca estratificada y que la cara estriada y surcada corresponde a una superficie de estratificación, que actuó como superficie de falla. Por consiguiente, los surcos y las estrías parecen imputables a una « falla paralela » o « falla de estratificación » (« bedding fault » de los geólogos de habla inglesa), y no a la acción de un antiguo glaciar.

Mayores datos acerca de la procedencia de este fragmento y de la interpretación de sus estrías se hallan en las páginas 365-368 del presente trabajo.

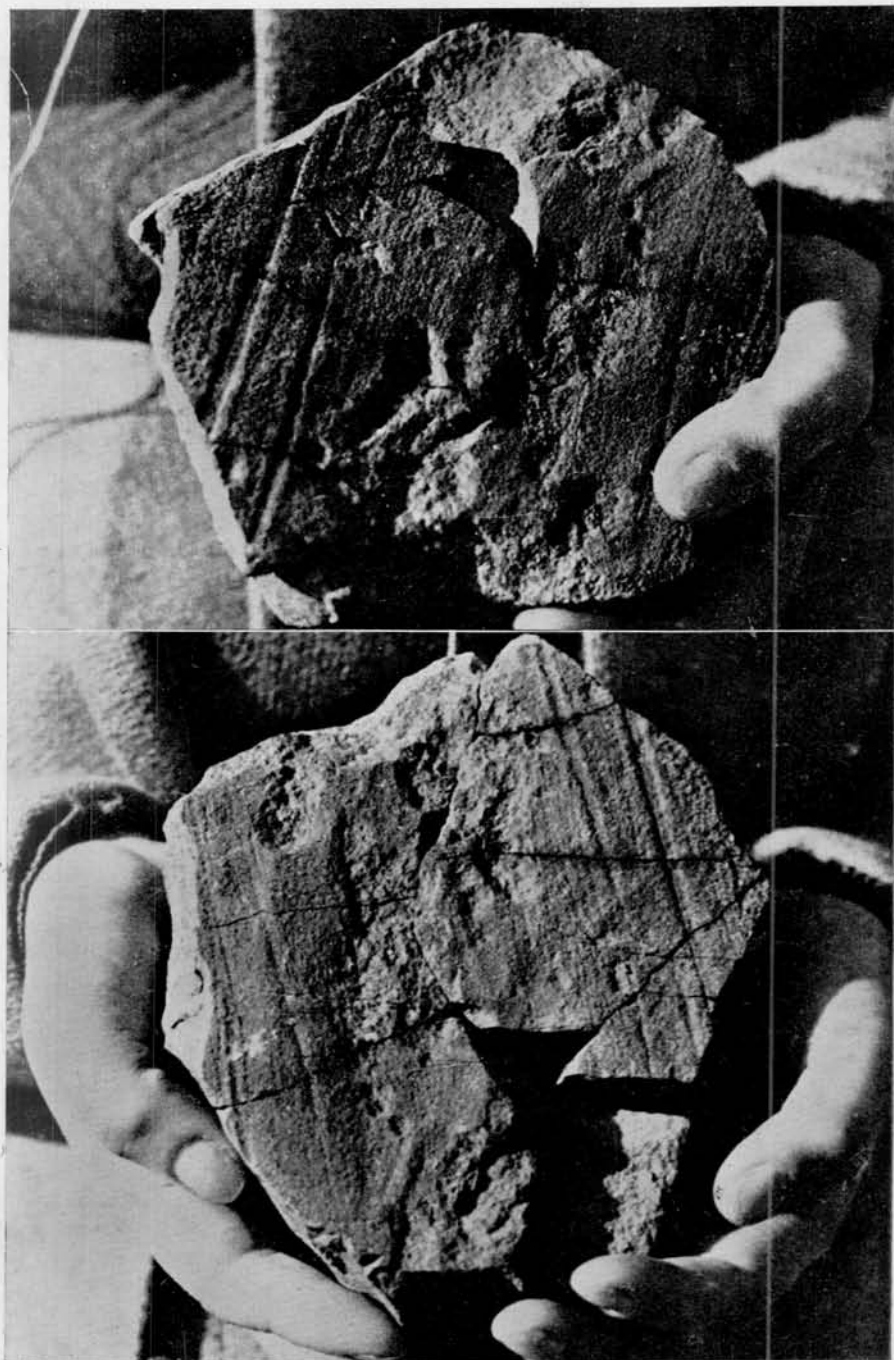


Diagrama que se propone explicar la formación de estrías en los cantos y en las superficies de estratificación por acciones puramente geomecánicas. A la izquierda y en segundo término vemos un prisma recto de base cuadrada que suponemos haber aislado, idealmente, de una serie concordante de estratos de arenisca compacta y fuertemente cementada que alterna con bancos de conglomerado en la parte superior y con una intercalación de capas delgadas, de diferente resistencia, en la parte inferior. Las bases del prisma son paralelas a las superficies de estratificación (que suponemos planas) y la altura les es perpendicular. Imaginémosnos que esta serie de estratos sea sometida a una presión lateral que tiende a empujar la parte superior del prisma hacia la derecha del lector, sin que el extremo inferior del prisma pueda moverse. Si esta presión aumenta constantemente, llegará un momento en que se producirán deformaciones permanentes o roturas en los lugares de menor resistencia. En primer término y algo a la derecha vemos la forma que puede haber adquirido el contenido de nuestro prisma después de haberse producido, por presión lateral diferencial, deformaciones, roturas y movimientos de los fragmentos en tres zonas de menor resistencia, indicadas en la figura con las letras A, B y C.

La zona A corresponde a la parte mediana, menos fuertemente cementada que las restantes, de un banco de conglomerado; la presión diferencial ha determinado el corrimiento de la parte superior del banco con respecto a la inferior, venciendo la resistencia opuesta por el cemento de los cantos de la parte media; así los cantos pueden resultar gastados, estriados o surcados. De esta manera se explica la presencia de cantos estriados en el interior de bancos de conglomerados de origen no glacial.

La zona B corresponde a la base de otro banco de conglomerado, en el cual los cantos están más firme y uniformemente cementados; aquí se ha producido un corrimiento a lo largo de la superficie de estratificación inferior del banco, corrimiento que ha determinado la formación de surcos y estrías en la capa inmediatamente inferior, que no es tan resistente como el conglomerado. De esta manera se explica la formación, por causas tectónicas, de ciertas superficies alisadas, estriadas o surcadas que pueden ser confundidas con antiguos lamières, aunque no tienen la más remota relación con los glaciares.

La zona C corresponde a un grupo de estratos de sedimentación cíclica, en el cual algunas capas delgadas y rígidas, relativamente resistentes (por ejemplo, de arenisca con cemento calcáreo), están intercaladas entre capas fácilmente deformables (por ejemplo, esquistos arcillosos y arenáceos); aquí el corrimiento ha afectado una zona de espesor no despreciable y ha determinado en un primer tiempo la separación de las capas delgadas en fragmentos angulosos, y luego el desgaste, con redondeamiento de los ángulos y de las aristas, de estos fragmentos, a medida que ellos frotaban uno contra otro. De esta manera se explica la formación de ciertas rocas autoclásticas que pueden ser tomadas por tilitas, especialmente cuando se ha producido una mezcla de fragmentos de capas de naturaleza muy diferente y cuando algunos trozos de capas relativamente duras han sido estriados o rayados por otros más duros aun.

Nuestro diagrama sólo representa los tres casos más sencillos; pero puede servir para explicar casos de mayor complejidad. Imaginémosnos, por ejemplo, que la distancia entre la zona A y la superficie B no sea tan grande como lo indica la figura 2, sino apenas superior al espesor de los cantos mayores; entonces pueden producirse dos corrimientos: uno de cantos sobre cantos, con formación de estrías uniformemente orientadas en muchos cantos; y otro de conglomerado sobre arenisca, con formación de estrías y surcos paralelos en ésta. Así se explicaría la formación de «boulder pavements» encima de falsos lamières.

