

VEINTICINCO AÑOS DE INVESTIGACIONES GLACIOLO-
GICAS NORDICO - ARTICAS BAJO LA DIRECCION DE
HANS W. SON AHLMANN

por C. TROLL (Bonn) (1)

Título original del alemán:

FÜNFUNDZWANZIG JAHRE NORDISCH - ARKTISCHE
GLETSCHER FORSCHUNG UNTER LEITUNG
VON H. W. SON AHLMANN

*Apartado del Geologischen Rundschau Bd. XXXIV, 1943 Heft 2/6,
pp. 282 - 293, con un 1 mapa.*

En las últimas dos décadas han sido alcanzados una serie de adelantos metódicos en la investigación de los glaciares, los que prometen insospechadas posibilidades para el futuro. El método de la sismografía experimental desarrollado en el Instituto Geofísico de Göttingen, fué usado, en primer término, para las necesidades de la Geología práctica de los Yacimientos (E. Wieckert, L. Mintrop), y fué ampliado desde 1926 y propuesto por W. Meinardus para la medición de los espesores del hielo de los glaciares Alpinos (H. Mothes). Con ayuda de este método, fué entonces posible efectuar la expedición alemana a Groenlandia, A. Wegener, 1930 - 1931, con K. Wolcken, B. Brockamp y E. Sorge; las mediciones del espesor del hielo en las márgenes y en el centro del hielo continental, las que nos han permitido los primeros conocimientos sobre del límite superficial entre la roca y el hielo, en el interior de Groenlandia.

Una segunda esencial ampliación llegó de parte de las mediciones: R. Finterwalder, el hijo del clásico investigador de los glaciares alpinos, S.

(1) Traducción: Dr. A. E. Corte (U. N. C., Instituto del Riego, Dpto. del Agua); y R. A. Faltis (Barreal, San Juan).

Finterwalder, desarrolló en Asia Central (Expedición Alemana-Rusa, Alai Pamir, 1928) y en el Himalaya (Expedición Nanga Parbat, 1934), un método para poder determinar exactamente la velocidad de movimiento de la superficie de un glaciar, con 2 fotogrametrías transversales tomadas en diferentes tiempos. Como con este procedimiento es posible determinar el movimiento de un perfil total de la superficie de un glaciar, es posible también determinar con la aplicación de la teoría glaciar mecánica, de M. Lagally, el espesor del ya medido glaciar y con esto la cantidad media del hielo que se licúa.

La ejecución de estas mediciones en diferentes perfiles de un mismo glaciar, nos da la pérdida de hielo entre dos perfiles, lo que en lo sucesivo permite calcular no sólo el contenido total del hielo de un glaciar sino calcular el aumento de nieve en la zona nevé. R. Pillewizer efectuó estudios fotogramétricos de glaciares en Spitzbergen y por W. Evers y R. Finsterwalder en los glaciares de Noruega. La más reciente ampliación original de los métodos sale en sí de la Micro-Paleontología.

A V. Vareschi le fué posible realizar ensayos muy difíciles (en los Alpes de Suiza y Tirol) sobre el contenido de polen en los glaciares para la determinación de las capas anuales y estacionales del Firn y de los glaciares. Así le fué posible determinar hasta dónde está la estratificación de la región de la nevé en la región de ablación y hasta dónde, entonces, en el dominio de un glaciar se efectúa un constante escurrimiento o un movimiento diferencial (movimiento de corte en superficie) (ver. Geol. Rund. 34, 1943, p. 62). Es comprensible la enorme importancia de este método para la investigación de los glaciares, como así mismo la tan difícil pregunta del movimiento de los glaciares. Al mismo tiempo con los éxitos en la investigación de los glaciares alpinos, efectuóse en los últimos 25 años, bajo la iniciativa y orientación intelectual del geógrafo Hans W: son Ahlmann y con la colaboración de investigadores de Suecia, Noruega y Dinamarca, un programa de estudios de glaciología, el cual quizá por el método empleado, es el menos revolucionario, pero por su claro planteamiento y la premeditada y exacta ejecución, fué especialmente exitoso y llevó paso a paso hacia siempre más hondas miras en el carácter de los glaciares. Estos trabajos se relacionan ante todo, con el contenido de los glaciares; su mantención, ablación, derrame, su dependencia con los factores climáticos y los procesos vitales de los glaciares en diferentes climas. Hasta ahora han sido investigadas (en el marco de este programa de investigaciones) de acuerdo a un plan universal, los glaciares de Escandinavia, Spitzbergen, Islandia y Groenlandia, es decir, países situados alrededor del Mar del Norte de Europa (Mar de Noruega y Escandinavia). Hoy se perfilan conocimientos

de gran alcance, lo que justifica una mirada retrospectiva sobre el trabajo hasta ahora hecho.

1. ESCANDINAVIA Y LOS ALPES

Ahlmann empezó sus primeras observaciones de glaciares en el año 1818 y las siguió durante años en las montañas de Noruega, en los tres pequeños glaciares del macizo Hornuhg en Jotunheim; es decir, en los glaciares: Styggedalbrae, Skagatølsbrae y Midtmaradalsbrae, ya que se prestan por sus reducidas dimensiones para los estudios de la manutención del contenido del hielo (economía del hielo) (1.3,19,29). Los llamativos pequeños dominios de firn lo llevaron a la comprensión de que no es necesario que el límite del firn sea también el límite del dominio de alimentación y del dominio de consumición. La metamorfosis de nieve a firn (firnificación) y de firn a hielo del glaciar (glaciación) se cumple de manera muy diferente abajo y arriba del límite de firn; en la región de firn, ante nada por una especie de sublimación entre los cristales; en la región de consumición por fundición y recongelación (formación "Sörpe" y "Flein"). Como el glaciar puede recibir también, abajo del límite del firn, superficialmente hielo nuevo (hielo Sörpe), el cual dura durante el verano, es más correcto distinguir entre *región del firn* y región del hielo. Más adelante, para sus observaciones teóricas, incluyó también los glaciares del oeste y del este de los Alpes y utilizó en vez del límite del firn, el límite Enquistsche, o sea el límite de glaciación que se encuentra un poco más alto. Trató de definir la proporción entre la distribución vertical de la temperatura y el límite de la glaciación como también la total humedad condensada en las altas regiones y expresar el contenido en un glaciar (economía del glaciar) por intermedio de los elementos meteorológicos que reinan en el límite del firn o glaciación. Las temperaturas medias de verano en el nivel de glaciación de los Alpes están entre más 3°, 5° C. (en Säntis y en Vorarlberg) y más 0,5° C. en el Monte Rosa (Mapa en 2). Para un exacto juicio del contenido de hielo es necesario tomar en cuenta la acumulación y la ablación en las diferentes alturas de un glaciar y descomponer la ablación en sus dos componentes: fundición y evaporación directa y determinar su relación con la radiación, la condensación, la temperatura del aire y el viento. Para la continuación de estos estudios 1923/26 sobre el glaciar Styggedal entró Ahlmann en íntima colaboración con la clásica escuela geofísica de Bjerknes (3) en Noruega.

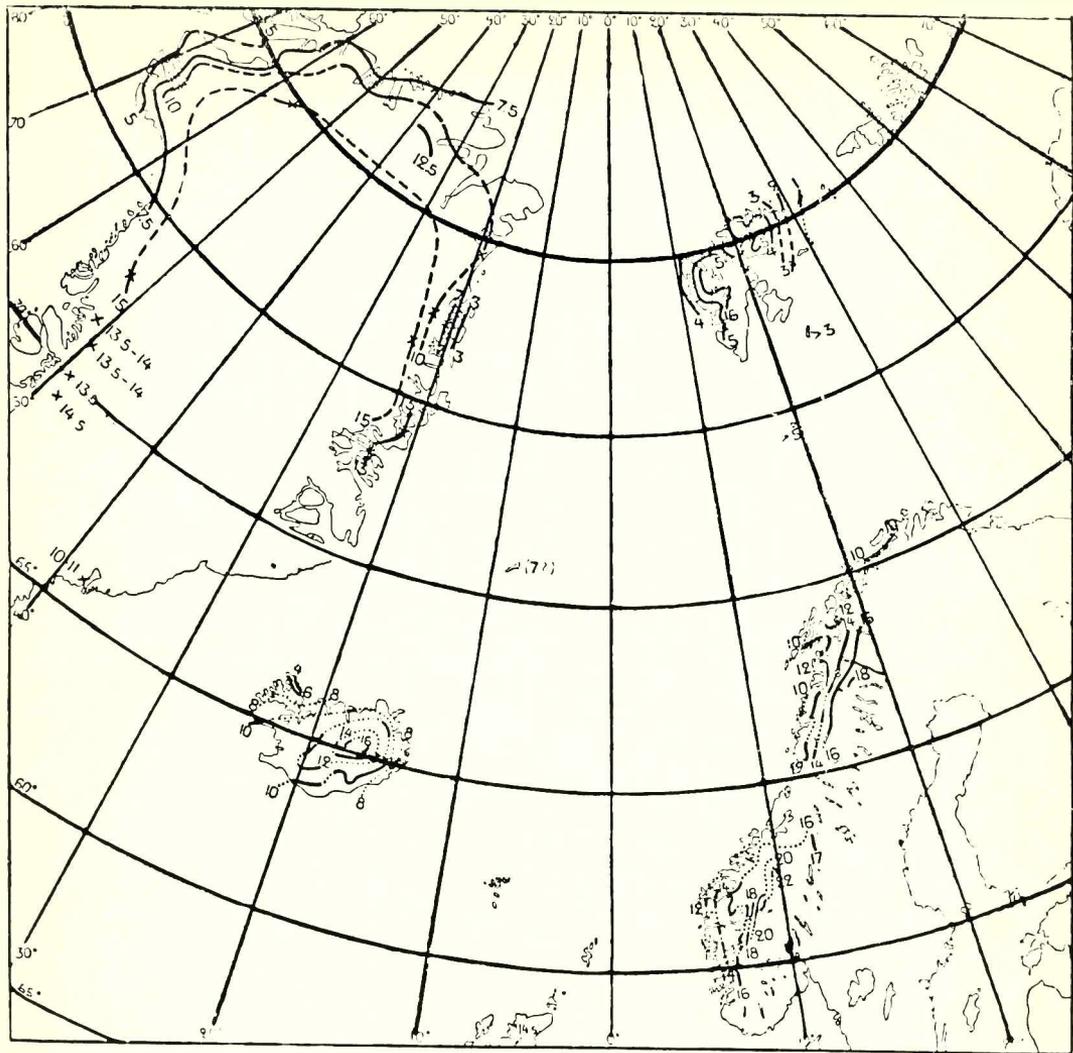
Para la medición de la ablación construyó Tveten, en el Instituto Geofísico de Bergen, un aforador para hielo (Ablation Gauge) y más tarde,

Devik en Trondhjem construyó el ya mejorado ablatógrafo (9 - 17). Ahlmann comprobó también, en el S. de Noruega (8), la enorme importancia que tiene la escarcha en la manutención de los glaciares nórdicos; esto fué reconocido antes por A. Hamberg y H. Köhler, quien trabajó sobre ello en el territorio de Sarek. En 1925 pudo terminar las investigaciones efectuadas por los suecos durante años, sobre el glaciar Karsak en Laponia, el cual en los veranos 1922, 1924 y 1925, sufrió un fuerte derretimiento; para lograr su objetivo empleó una fotogrametría hecha por O. Tryselius y transformada en Carta por el consorcio Luftbild y Stereographik de Munich.

2. SPITZBERGEN

En 1931, se inició la ampliación de las investigaciones en el ártico, lo que fué posible sólo con la ayuda de las grandes expediciones. En 1929 anticipó Ahlmann un programa de investigaciones glaciológicas y meteorológicas simultáneas (5). Favorecido por el interés del pueblo sueco para encontrar los restos de la expedición polar (con globo) de S. Andrees, desaparecida en 1897, llegó a efectuarse en 1931 la expedición ártica sueco-noruega (10 - 11 - 12 - 13).

Los investigadores suecos-noruegos, en colaboración, trabajaron en cartografía, oceanografía, geología y geomorfología, pero ante todo en meteorología y glaciología. En base a las mediciones de la ablación con el Ablatógrafo de Devik y a las mediciones de la radiación con el actinógrafo de Robitzsch, pudo A. Angström (13/VII y VIII) establecer una ecuación provisoria para las relaciones entre ablación, radiación, temperatura del aire y velocidad del viento. Los resultados obtenidos para el N. E. son: El 37 % de la ablación se produce por la radiación y el 63 % restante se produce a expensa de la convección del calor. Pero como aún no se pudo alcanzar el deseado grado su suficiente exactitud, se estableció una íntima colaboración entre Ahlmann y el geofísico noruego H. O. Sverdrup, para una nueva expedición Sueco-Noruega en el año 1934, en la cual fué elegida la parte oceánica occidental de Spitzbergen (15 - 16). Sverdrup efectuó investigaciones exactas sobre la compensación del calor entre la atmósfera, la superficie de la nieve y las temperaturas internas de los glaciares árticos. El lugar de la acción fué un perfil de la Kreuzbai encima del glaciar "14 de Julio" y la meseta de Jsachsen. Las mediciones efectuadas en el perfil sobre estratificación y temperatura de firn y hielo; las mediciones sobre radiación y ablación suministraron por vez primera un material sin lagunas para la calificación de la economía total de un glaciar. En



El límite del firn y el límite de los glaciares en los países alrededor del Mar del Norte Europeo (Según H. W: son Ahlmann). Las cifras dan la altura s. n. m. en centenas de metros.

la meseta de Jsachsen, en una altura de 850 m., el 55,9 % de la ablación se debe a la acción de la radiación (de donde pertenece el 52,4 % al derretimiento y sólo el 3,5 % a la evaporación directa) y solamente el 44,1 % se debe a las acciones meteorológicas (conducción del calor, condensación del vapor de agua, viento); cuando disminuye la altura la participación de los factores meteorológicos aumentan más y más a expensa de la radiación, (65 % en 600 m., 76 % en el nivel del mar). La más grande acción en el derretimiento la tiene el viento. Como los vientos del N. E. son decisivos para la acumulación invernal en la zona del Firn, son también decisivos los vientos S. O. en el verano para la ablación de las lenguas de los glaciares.

3. TIPOS CLIMÁTICOS DE GLACIARES

La comparación del material recogido en 4 zonas inspiró a Ahlmann, por primera vez, a establecer tipos geofísicos de glaciares. Para las latitudes nórdicas, él dividió (13/VIII y 18):

I) **GLACIARES TEMPLADOS:** ejemplo: alpinos y escandinavos. Están constituidos por hielo cristalino a causa de una cristalización bastante rápida, por el crecimiento anual de la precipitación sólida; en el interior está la temperatura en el punto de congelación, excepto en el invierno donde las capas superiores están congeladas hasta una profundidad de varios metros.

II) **GLACIARES POLARES.** Están constituidos, por lo menos en sus partes más altas y superiores, de firn cristalino duro, el cual se forma por recristalización repetida y lenta, del sobrante anual de la precipitación sólida. La temperatura del glaciar es (por lo menos en la zona de alimentación), negativa también en el verano hasta una profundidad de 100 y más metros.

IIa) **GLACIARES SUPRAPOLARES.** (ej.: la Antártida y la mayor parte del hielo continental de Groenlandia). Están constituidos por lo menos en su zona de alimentación de firn cristalino hasta una profundidad de varios centenares de metros. También la temperatura es en el verano muy baja y por lo general no hay derretimiento.

IIb) **GLACIARES SUBPOLARES.** (ej.: las capas de hielo de las tierras del N. E.). Están constituidas en su zona de alimentación por firn cristalino, pero sólo hasta una profundidad de 10 ó 20 metros. Las temperaturas del verano permiten derretimiento con formación de poca agua. La principal diferencia está entonces en las temperaturas del verano; si éstas

son suficientemente altas para que las temperaturas invernales en el interior del glaciar lleguen hasta el punto de congelación, se forma por recongelamiento el hielo de los glaciares templados. Cuando el agua de ablación no alcanza para calentar al glaciar, tenemos entonces glaciares polares, y están constituídos en su mayor parte de firn. En el mismo año igual que Ahlmann y totalmente independiente de él, clasificó también M. Lagally (Zur Thermodynamik der Gletscher, Ztschr. F. Gletscherkunde, 1932) por intermedio de conclusiones teóricas, tres tipos geofísicos de glaciares, a los que llamó: 1) Tipo frío; 2) Tipo caliente; 3) Tipo de transición. Ellos corresponden total y completamente a los tipos suprapolares, templados y subpolares de Ahlmann.

Otra clasificación sistemática inmediata percibió Ahlmann partiendo de las temperaturas del verano y de la cantidad de precipitación sólida anual en el límite de la nieve, el cual es igual a la ablación. Conforme a esto se diferenció en el Norte 5 tipos: 1) En las regiones continentales (la zona costera norte de Groenlandia, el norte de Groenlandia Occidental y las Tierras del N. E.), encontramos el límite en la nieve entre 500 - 800 mts. s. n. m. con una temperatura de verano 0° C.; aquí la acumulación = ablación en el límite de la nieve entre 100 - 350 mm. solamente. 2) En el hielo continental de Groenlandia Norte, Oeste y Este, con igual pronunciado clima ártico continental, y muy pocas precipitaciones y temperaturas estivales fuertemente negativas, está el límite de la nieve por causa de la muy fuerte ablación por radiación en mayores alturas (1350 - 1500 m.) Aquí la acumulación = ablación en el límite de la nieve con 200 - 350 mm. 3) En el clima ártico marino del oeste de Spitzbergen son relativamente altas las temperaturas. A las precipitaciones muy fuertes corresponde una muy fuerte ablación por calor, el límite de la nieve se encuentra levemente sobre el punto de congelamiento. Aquí la acumulación = ablación con mayor precipitación: ± 650 mm. En oposición a los dos primeros tipos, se trata de "glaciares activos", quiere decir, glaciares con fuerte gasto de precipitación con un fuerte acarreo de hielo. 4) Los glaciares cerca de la costa de Noruega e Islandia son subártico - marítimos, hasta templado - marítimos. Estos tienen muy fuertes precipitaciones pero también muy fuerte ablación por calor, el límite de la nieve está entre 400 - 1300 mts. s. n. m., la temperatura del verano en el límite de la nieve está muy sobre el punto de congelación. La acumulación = ablación entre 1500 - 3000 mm. es decir, glaciares muy activos. 5) Los glaciares del interior de Escandinavia y de Islandia interior forman un tipo subártico - continental hasta templado - continental. Con pocas precipitaciones y temperaturas más altas, se encuentra el límite de la nieve también alto: 1000 hasta 2200 m. La temperatura estival en el límite

de la nieve es levemente positiva. La acumulación=ablación sólo entre 500-2000 mm. A estos tipos de las latitudes mayores deben ser agregados los tipos climáticos de las latitudes menores, en los cuales a causa de la posición alta del sol y a la mayor altura de la zona de glaciación con respecto a la nieve del mar, la ablación por radiación recibe una mayor parte. Conducían hacia este resultado de mediciones con el actinómetro y el ablatógrafo de Monterins en los glaciares del Monte Rosa, los cuales fueron usados por Ahlmann para su comparación. Un caso extremo son las montañas de Oeste de Argentina y del Hindukusch, en las cuales casi toda la ablación se debe a la evaporación directa (Troll, e. *Der Büsserschnee in den Hochgebirgen der Erde. Ein Beitrag zur Geographie der Schneedecke und ihrer Ablationformen.* *Pet. Mitt. Erg. H. 240, Gotha, 1942.* Troll, C.: *Neue Gletscherforschungen in den Subtropen in der Alten und Neuen Welt. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin, 1942*). En las regiones alrededor del mar del Norte europeo la influencia de la latitud está fuertemente repelida frente a la influencia oceánica y continental. La distribución de tierras y mares y el juego de los ciclones dominan la glaciación. La altura del límite de la nieve en relación con el límite de los glaciares, en las tierras alrededor del Mar del Norte, están dibujados en un elocuente mapa (Ver mapa adjunto).

4. ISLANDIA

En el año 1936 fué Ahlmann a los glaciares de Islandia, a la parte E. del Vatnajökull, al Hoffellsjökull y Heinabergsjökull (con sus lenguas hacia el S., para estudiar también el contenido de un glaciar en un clima supermarítimo; estos glaciares se prestan especialmente para estos estudios. La expedición Sueco - Islándica fué guiada por J. Eythorsson, de Islandia, el joven Sig. Thorarison, también de Islandia, continuó las investigaciones hasta 1937 - 1938, y desde entonces es colaborador íntimo de Ahlmann en el Instituto Geográfico de Stockholmo. Las series de mediciones más exactas (hasta cierto punto), de la deposición de la nieve, de la ablación, de los elementos climáticos suministraron valiosísimo material para la iniciación de estudios generales. Las precipitaciones, en esta parte de Islandia, son enormemente altas en el roce con las corrientes cálidas del mar y de la capa de hielo del Vatnajökull y alcanzan a 6500 mm. en un año. La ablación fué medida en 17 partes entre 75 y 1345 mts. s. n. m. Hasta la altura de 250 mts. s. n. m. esta ablación actúa prácticamente durante todo el año en el clima marítimo de Hoffellsjökull. Ella fué también controlada en

el año 1936 - 1937 por las observaciones mensuales de todo el invierno. En la parte frontal del glaciar la ablación se eleva anualmente a 10.000 - 11.500 mm. en el límite del firn en 1.150 mts. s. n. m. 3.000 mm. Solamente el 10 % y hasta el 20 % de la ablación total se produce a expensas de la radiación abajo de los 200 mts. s. n. m., el resto a expensas del calor del aire y condensación. A mayor altura donde la ablación se concentra más y más hacia el verano, la parte de la radiación es otra vez mayor; en el límite del firn es $\pm 40\%$. Se trata acá de uno de los glaciares más activos de la tierra, en 400 - 500 m. de altura alcanza el movimiento diario, 2 metros. Las temperaturas tienen una influencia mucho más grande que las precipitaciones sobre el contenido del hielo de un glaciar. La ablación sube muy rápida, con temperaturas en aumento o en un clima fresco de verano y suave en invierno y baja la precipitación sólida. También el pronunciado balance negativo del Hoffellsjökull en los tres años de observaciones tiene por causa no la disminución de la precipitación sino (como nos enseña la comparación de los valores meteorológicos con los valores medios anuales), el fuerte transporte de calor, en especial por los vientos.

5. GROENLANDIA

Ultimamente, antes del estallido de la guerra, le fué posible a Ahlmann cerrar el círculo de sus observaciones alrededor del Mar del Norte. El eligió el N. E. de Groenlandia y especialmente el glaciar Fröya en la isla Clavering, el cual está situado en un clima polar especialmente seco (Myggbukta, 78 mm. precip. anual) y fué muy bien tomado aerofotográficamente, en un trabajo conjunto de alemanes y noruegos (Lacmann, O. Karte von Nordostgrönland, Bl. Claveringöya U. S. W. Oslo, Norges Svalbard - og Ishaus - Undersök, 1937). Ahlmann fué allá junto con el meteorólogo B. E. Eriksson en julio de 1939, en una corta expedición de verano para levantar estaciones de observaciones, y el estudiante de zoología noruego K. Rodall (32-34) tuvo la suerte de poder efectuar la lectura de los instrumentos glaciológicos y meteorológicos, durante todo el invierno. Los resultados fueron transmitidos por telegrafía durante la guerra a Estocolmo. En el material publicado hasta ahora se destaca nuevamente la gran importancia de la ablación. La ablación aquí es en general mucho más insignificante que en el glaciar 14 de Julio, o más aún que en el Vatnajökull; se acerca al valor 0 en las más altas gradas del glaciar igual que en el hielo continental de Groenlandia, a pesar del cielo limpio de verano. A la radiación (Einstrahlung), se enfrenta una muy fuerte irradiación y por

parte un fuerte caudal de reflexión, y las temperaturas del aire quedan demasiado bajas para la acción de licuación. Por eso pertenece el glaciar Fröya al tipo polar. La glaciación con la poca precipitación sólo es posible con poca ablación; por ello está el glaciar Fröya totalmente en oposición al Hoffelsjoköll, donde las enormes precipitaciones en la misma zona de acumulación son atacadas por una considerable ablación y rápidamente consumidas bajo el límite de la nieve. La publicación de los resultados totales de Groenlandia (34) todavía no está concluída.

6. OSCILACIONES DE GLACIARES, OSCILACIONES DEL CLIMA Y OSCILACIONES DEL NIVEL EUSTÁTICO DE MAR

El conocimiento exacto de las causas meteorológicas de las actuales oscilaciones de los glaciares y del balance del hielo, permiten también sacar conclusiones sobre las oscilaciones de los glaciares del pasado, determinados por historia y geografía. En 1939 volvió Ahlmann otra vez a su vieja región de trabajo, el glaciar Stygedal en Jotunheim, donde mientras tanto, la topografía noruega publicó mapas maravillosos y el retroceso del glaciar ha sido muy bien observado en todo el tiempo. El retroceso de los glaciares noruegos también tiene por causa la intensificación de la ablación de verano y la prolongación del tiempo de ablación. Las oscilaciones de la acumulación influyeron sólo en *forma subordinada sobre los corrimientos de los frentes de los glaciares. Ahlmann determinó, aunque en forma general, la regla de la influencia reinante de la temperatura sobre la economía de un glaciar. Luego agregó una segunda regla: la relación de la ablación con la radiación y el calor de convección. Cuanto más extensos son los campos de hielo y nieve, y cuanto más alto sobre el nivel del mar se encuentran, tanto más grande (por lo menos en las más grandes alturas), la relativa influencia de la radiación directa y tanto más pequeña es la influencia de convección y condensación.*

Sobre el hielo continental, en grandes alturas, la radiación tiene una influencia reinante absoluta; en cambio, en los glaciares locales, la convección y condensación. Los estudios de Ahlmann sobre las actuales oscilaciones del clima y glaciares en Escandinavia y Spitzbergen (15/IV/28, 29, 33) fueron completadas en forma muy valiosa por Thorarinsson. El juntó el material sobre las oscilaciones de los glaciares de Islandia de los últimos 250 años, sobre todo con el aprovechamiento de los lagos glaciarios (23/IX y XI, 26), y trató de relacionar la licuación general de los glaciares,

de la tierra con la oscilación eustática del nivel del mar en los últimos 100 años.

Con la disminución general de los glaciares nórdicos se inició, en 1918 - 1919, un fuerte aumento de temperatura, especialmente en la temperatura de invierno del ártico (A. Wagner) (1); ella se incrementó con el crecimiento de la circulación general de la atmósfera, se manifiesta como corriente importante de calor en las regiones polares, y en el Mar del Norte europeo con un aumento del tiempo tormentoso, y con el retroceso del límite de los hielos flotantes hacia el Norte. Ahlmann relacionó ya el rápido retroceso del glaciar 14 de Julio con el aumento de la circulación del aire (15/V). Las observaciones de Vatnajökull subrayaron aún más estas relaciones. De todos modos se desea demostrar por separado, no sólo los ascensos de la temperatura de invierno, sino también los muy eficaces cambios de la temperatura de verano, otoño y primavera. Desde 1680 tuvieron los glaciares de Islandia dos estadios de máxima (1750 - 60 y 1840 - 1850), aparte de tres estadios secundarios en 1710 - 20, en 1810 - 20 y en 1890. Ellos mostraron una tendencia a avanzar en 1870, en 1910 y a principio de 1920 y 1930. En general estuvieron los glaciares en retrocesos desde la mitad del siglo XIX y ellos son actualmente más pequeños que lo que fueron en un tiempo desde 1680. A principios del siglo XIII estuvo el Skeidararjökull más o menos de la misma extensión que hoy y en el tiempo de las "Sagas" mucho más pequeño que hoy. La disminución de los glaciares se manifiesta sobre todo con una disminución de la potencia del hielo. Al retroceso linear del frente del Hoffelsjökull de 1,3 Km. entre 1890 y 1936, corresponde a una pérdida areal del frente del glaciar de 4,5 Km². y una pérdida potencial de agua de 45 mts. Ahlmann y Thorarinnsson calcularon cuidadosamente el derretimiento de los glaciares de la tierra desde su máximo avance, en la mitad del siglo XIX, y llegaron a la conclusión de una pérdida mínima de un 10 % de su volumen. Esto deberá expresarse en una oscilación eustática del nivel del mar de 0,05cm./año (30). La Antártida y el hielo central continental de Groenlandia no son incluidos porque la licuación del hielo del "Shelf" no tiene fuerte acción eustática y porque, según Ahlmann, en el interior del hielo continental de Groenlandia el hielo que está bajo fuerte acción de la radiación, no sufre esta dilución. El valor encontrado coincide en cierto modo, en la escala de valores, con la labor efectuada por B. Gutenberg sobre los registros de los mareógrafos de la tierra, los que daban para la última década un levanta-

(1) El trabajo de A. Wagner, *Klimaänderungen und Klimaschwankungen* (Braunschweig, 1940) está prolijamente reproducido en el *Ged. Rundsch.* 32, pp. 279 - 388. R. Scherhag, W. Wiese, A. Angström y L. Weickmann.

miento medio del nivel del mar de 1,1 mm. por año. También coincide muy bien este valor, con la disminución del levantamiento de la costa, lo cual fué constatado por Bergsten (cerca de Estocolmo), para el último medio siglo. Este levantamiento fué para 1825 - 1927 de 0,44 cm/año, para 1887 hasta 1927 no más de 0,31 cm/año. La disminución puede, por consiguiente, ser causada por la oscilación eustática. Y si Bergsten en los últimos años estableció nuevamente un refuerzo en el desplazamiento positivo de la costa de Escandinavia, podríamos concluir a la inversa, que los glaciares de la tierra están nuevamente en aumento (aunque aún no es posible reconocer el avance de los glaciares). Con ello se estará de acuerdo que está terminando la oscilación del clima ártico y también la disminución del hielo en el Mar del Norte. (L. Weikmann in *Wiss. Veröff. Dt. Wiss. Inst. Kopenhagen, Reihe Arkhs, N° 1942*).

7. GLACIARES DEL TIPO MORFOLÓGICO OROMÉTRICO

Por Ahlmann hemos conocido más arriba los glaciares de tipo Geofísico y los glaciares extratropicales. Además del modelo de los viejos glaciólogos se han establecido tipos morfológicos de glaciares (13/VIII). El distingue (exceptuando los campos de firn y hielo sin movimiento, los que no son glaciares en sentido estricto), tres grupos: 1) Conjuntos unidos de capas de hielo con movimiento en todas direcciones. 2) Glaciares los cuales se limitan a una más o menos marcada forma de superficie, la cual les condiciona el movimiento. 3) Glaciares que se extienden en forma de abanico sobre un llano al pie de una región glaciada. Al primer grupo pertenece el hielo continental, capa de hielo (de tipo noruego) y glaciares de altura con lenguas de hielo que fluyen en valles. Al segundo grupo pertenecen los glaciares del valle (del tipo alpino), redes de corriente de hielo ("Transitions Glaciers") glaciares de cubeta (Karglefrcher), glaciares en escalones, y las lenguas de hielo aisladas. Al tercer grupo pertenecen los glaciares de antepaís (tipo Alaska) glaciares de pie y el hielo de la plataforma continental. Con ayuda de una novedosa reproducción de las relaciones de la forma de los glaciares por medio de la Orometría, trató Ahlmann de relacionar la morfología de los glaciares con los puntos de vistas de la glaciología (23/X). Para este fin se divide la superficie de un glaciar, independiente de su extensión absoluta, en 10 intervalos de altura. Después se expresan las áreas de estos 10 intervalos en porcentaje de superficie total del glaciar. Las áreas pueden ser representadas llamándose: "curvas de distribución areal del glaciar". Tomando el conjunto de una

serie de ejemplos típicos, se obtienen curvas de distribución areal normales para 8 tipos.

1) Hielo continental más glaciares en capa.

2) Transaction Glaciers.

3 - 6) Cuatro tipos de glaciares de valle.

7) Glaciares de antepaís, y

8) Glaciares de cubeta (Kargletsche). Con ayuda de sus curvas normales es posible llevar cada glaciar exactamente por vía orométrica, al tipo que más se acerca. Con la experiencia ganada en Islandia sobre la distribución vertical de los valores de temperatura y ablación de un glaciar, finalmente hace Ahlmann cálculos para otros tipos morfológicos. *El llega a la conclusión que la temperatura es el factor dominante en la economía de un glaciar, también debe ser así en los otros tipos.* Pero este dominio de la temperatura está más marcado en los hielos continentales y capas de hielo que en los otros tipos. Más cerca está a ellos el tipo de glaciares del valle con grandes cubetas de firn (glaciar tipo de Aletsch), y por último, vienen los glaciares de antepaís. *Cuanto más grande es el área relativa de los intervalos de altura superiores de un glaciar tanto más grande será la acción del cambio de temperatura sobre él. El reconocimiento del dominio de la temperatura en la economía glaciar logrado alrededor del Mar del Norte, da también un fuerte apoyo a la concepción térmica en la discusión sobre las causas climáticas de las viejas oscilaciones de un glaciar y también sobre las edades de hielo diluviana.* Ahlmann pide sin embargo (23/X), que se considere en todas las explicaciones geológicas las diferentes manifestaciones de los glaciares de tipo morfológico, no sólo en su aparición diferencial en el espacio sino también en el cambio temporal, el cual hace cambiar un tipo en otro, ya sea por su crecimiento o por su disminución. Como un glaciar reacciona en su extensión por un determinado cambio de temperatura, depende muy mucho de su posición de altura y de la extensión de su zona de alimentación y consumisión. Hay un punto crítico donde se torna del positivo al negativo el resultado del cambio de clima de un glaciar. Glaciares de meseta con sus extensas regiones de alimentación, como el glaciar de Jostedalbrae, reaccionan siempre más fuerte a causa de los cambios de clima que los glaciares genuinos del valle, como el glaciar de Styggedarbrae (29).

Sólo resta felicitar a Ahlmann y a sus colaboradores nórdicos y agradecerles por el enorme enriquecimiento de nuestros conocimientos sobre los glaciares; de las condiciones de su crecimiento, su contenido en hielo y sus manifestaciones vitales; una ciencia fertilizada también por la geología dinámica y la geología de la edad del hielo. Esperamos que a Ahlmann le

sea posible investigar en los años venideros, también en igual sentido, los pequeños glaciares de las zonas tropicales y subtropicales y con ello cerrar un programa de investigación geognóstica fundamental de nuestro planeta.

BIBLIOGRAFIA

(Abreviatura: G. A. = Geografiska Annaler, Stockholm)

1. AHLMANN, H. W.: SON. - *G'aciers in Jotunheim and their physiography.* - G. A., 1-57.
2. *Le niveau de glaciation comme fonction de l'humidité sous forme solide.* - G. A. 6, 1924, S. 223-272.
3. *Physico-geographical researches in the Horung Massif, Jotunheim.*
 - I. AHLMANN, H. W.: SON: *The recrystallization of snow into firn and the glaciation of the latter.* G. A. 5, 1923, S. 51-57.
 - II. AHLMANN, H. W.: SON: AND EYTHORSSON, J. - *Introductory of the temperature conditions in the Horung Massif during the summer of 1923-1926.*
 - III. AHLMANN, H. W.: SON - *Precipitation conditions in the Horung Massif.*
 - IV. AHLMANN, H. W.: SON - *Ablation.* - G. A. 9, 1927, S. 13-66.
 - V. LINDSKOG, E. - *The drainage especially that of the Stygge-dal Glacier.*
 - VI. AHLMANN, H. W.: SON - *The flow of the ice of the Stygge-dal G'acier.* - G. A. 10, 1928.
4. AHLMANN, H. W.: SON UND TRYSELIUS, O.: *Der Kaarsa - Gletscher in Schwedisch - Lappland.* G. A. 11, 1929, S. 1-32.
5. AHLMANN, H. W.: SON - *Projet d'un programme de recherches glaciares.* G. A. 11, 1929, S. 313-320.
6. *Glaciaererna och deras geografiska betydelse.* Ymer 49, 1929, S. 1-19.
7. *Aktuell polarsforskning.* Nordisk Ts., 1929, S. 1-19.
8. *On the formation of Hæarfrost and its relation to glacial growth. I.* of Geol. Chicago 37, 1929, S. 275-280.
9. DEVIK, O. - *Ein Registrierinstrument zur Messung der Ablation Det Kungl. Norske Videnskab. Selskabs Föhandl. 2, N° 31. Trondjem, 1929.*
10. AHLMANN, H. W.: SON UND MALBERG, S. - *Sommer vid Polhaved* Stockholm, 1931.
11. AHLMANN, H. W.: SON - *Den planerabe svensk-norke Spetsbergs - expeditionem sommaren, 1931.* Ymer 51, 1931, S. 187-200.

12. *Den svensk-norske expeditionen till Nordostlandet och far vattnen därom kring sommaren 1931.* Svensk Geogr. Aarsbok 1931, S. 229-242 und Ann. de Geogr., 1932, S. 177-187.
13. *Scientific Results of the Swedisch-Norwegian Arctic Expedition in the Summer of 1931.*
 - I AHLMANN, H. W: SON - *Tre Cartography of the coast-districts of North-East Land and its environments.*
 - II AHLMANN, H. W: SON - *Thes Inland Cartography of North-East Land.*
 - III ROSENBAUM, L. - *Determinations of latitude and longitude.*
 - IV ROSENBAUM, L. - *Special Cartography.*
 - V AHLMANN, H. W: SON - *Geomorphology.* - ERIKSON, B. E.: *Climatology an Meteorology.* AANGSTROM: *On the total radiation from sun and sky at Sveanor.*
 - VII AHLMANN, H. W: SON - *Glaciology.* AANGSTROM, A.: *On the dependence of ablation on air temperature, radiation and wind.*
 - VIII FJELDSTAD, E. J. - *Snow and ice temperatures.*
 - IX AHLMANN, H. W. SON - *Present glaciation round the Norwegian Sea.* G. A. 15, 1933, S. 1-216, 261-348.
 - X KULLING, O. - *Hecla Hoek Formation round Hinlopens-tredet* G. A. 16, 1934, S. 161-245.
 - XI KULLING, O. UND AHLMANN, H. W. SON - *Observations on raised beaches and their faunas.* Surface Markings.
 - XII MOSBY, H. - *Physical Oceanography.*
 - XIII SCHOLANDER, P. F. - *Vascular plants from Northern Spalbard with remarks on the vegetation in North-East Land.* G. A. 18, 1935, S. 1-33.
14. SANDFORD, K. S. - *North East Land: 1924 and 1931.* G. A. 17, 1935, S. 219-227.
15. AHLMANN, H. W: SON - *Scientific Results of the Norwegian-Swedish Spitsbergen Expedition in 1934.*
 - I. AHLMANN, H. W: SON: *The stratification of the snow and firn on Isachsen's Plateau.* - II. AHLMANN, H. W: SON: *Ablation measurements at the Headquarters on Isachsen's Plateau.* - III. SVERDRUP, H. U.: *The temperature of the firn on Isachsen's Plateau, and general conclusions regarding the temperature of the glaciers on West-Spitsbergen.* - IV. SVERDRUP, H. U.: *The ablation on Isachsen's Plateau and on the fourteenth of July Glacier in relation to radiation and meteorological conditions.* - V. AHLMANN H. W: SON: *The fourteenth of July Glacier.* G. A. 17, 1935 S. 22-88, 145-218. - VI SVERDRUP, H. H.: *Results of the meteorological observations on Isachsen's Plateau.* - VII AHLMANN, H. W: SON: *The firn structure on Isachsen's Plateau.* - VIII OLSSON, H.: *Radiation measurements on Isachsen's Plateau.* G. A. 18, 1936, S. 3473, 225-244.
16. SVERDRUP, H. U. - *The Eddy Conductivity of the air over an smooth*

- snow field. *Results of the Norwegian-Swedish Spitsbergen Expedition in 1934*. Geofysiske Publikasjoner 11, N° 7, Oslo, 1935.
17. AHLMANN, H. W: SON - *Determination of the ablation of snow and ice*. Sven-Hedin- Festschrift, G. A. 37, 1935, S. 470-480.
 18. *Contribution to the physics of glaciers*. The Georg. Journal 86, 1935, S. 97-113.
 19. *Dannelsen av den siste endemorene ved Styggedalsbreen*. Norsk G. Ts. 5, 1935, S. 499-500.
 20. *Investigations into the life of glaciers*. Arctica 3, Leningrad, 1935, S. 39-44 (russisch und englisch).
 21. EYTHORSSON, J. - *On the variations of glaciers in Iceland*. Some studies made in 1931, G. A. 17, 1935, S. 121-137.
 22. AHLMANN, H. W: SON: *Paa skidor och till hasta i Vatnajökulls rike* Stockholm, 1936, 204 S.
 23. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S. - *Vatnajökull, Scientific Results of the Swedish-Icelandic Investigations 1936-1937-1938*: I. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S.: *Object, resources and general progress of the Swedish-Icelandic investigations*. - II. THORARINSSON, S.: *The main geological and topographical features of Iceland*. - III. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S.: *Previous investigation of Vatnajökull, marginal oscillations of its outletglaciers, and general description of its morphology*. - IV. AHLMANN, H. W: SON: *Vatnajökull in relation to other present day Iceland glaciers*. G. A. 19, 1937, S. 146-231. - V. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S.: *The Ablations*. G. A. 20, S. 171-233. - VI. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S.: *The Ablation*. G. A. *The Accumulation*. - VII. AHLMANN, H. W: SON: *The regime of Hoffellsjökull*. - VIII. THORARINSSON, S.: *Hoffellsjökull, its movement and drainage*. - IX. THORARINSSON, S.: *The icedammed lakes of Iceland with particular reference to their values as indicators of glacier oscillation* G. A. 21, 1939 S. 39-66, 171-242. - X. AHLMANN, H. W: SON: *The relative influence of precipitation and temperature on glacier regime*. G. A. 22, 1940, S. 188-205. - XI THORARINSSON, S.: *Oscillations of the Iceland Glaciers in the last 250 years*. G. A. 25, 1943, S. 1-54.
 24. THORARINSSON, S.: - *Das Dalvik-Beben in Nordisland*. 2 Juni, 1934. G. A. 19, 1937, S. 232-277.
 25. AHLMANN, H. W: SON - *Den svensk-isländiske Vatnajökull-expeditionen*. Ymer 57, 1937, S. 1-28.
 26. THORARINSSON, S.: - *Über anomale Gletscherschwankungen mit besonderer Berücksichtigung des Vatnajökullgebietes*. Geol. Fören. Förhandlingar 60. Stockholm, 1938. S. 490-506.
 27. AHLMANN, H. W: SON: UND THORARINSSON, S. - *The Vatnajökull glacier*. Geogr. Review 28, 1938, S. 412-438.
 28. AHLMANN, H. W.: SON: UND LINDBLAD, TH.: - *Die Grössenveränderungen des Kaarsajökels in Schwedisch-Lappland während der Jahre 1909-1939*. G. A. 22, 1940, S. 80-94.

29. AHLMANN, H. W: SON - *The Styggedal glacier in Jotunheim, Norway, its regime, its variations in size and their climatological causes, and some general remarks on these.* G. A. 22, 1940, S. 95-130.
30. THORARINSSONN, S. - *Present glacier shrinkage, and eustatic changes of sea-level.* G. A. 22., 1940. S. 131-159.
31. *Ett jökellopp.* Ymer, 1940.
32. AHLMANN, H. W: SON. - *Färden till Nordostgrönland, sommaren 1939.* Ymer, Stockholm, 1939.
33. *Glaciärerna som uttryck för de paagaende klimatändringen* Ymer, 1939.
34. AHLMANN H. W: SON - *Studies in North-East Greenland 1939-1940: I. AHLMANN, H. W: SON: The main morphological features of north-east - Greenland.* - II. AHLMANN, H. W: SON: *Glacial conditions in North-East Greenland in general, and on Clavering Island in particular.* G. A. 23, 1941, S. 145 - 209. - III. AHLMANN, H. W: SON: *A Accumulation and ablation on the Fröya glacier its regime in 1938-39, and 1939-40.* - IV. ERIKSSON, B. E.: *Meteorological records and the ablation on the Fröya Glacier in relation to radiation and meteorological conditions.* G. A. 24, 1942, S. 1-50.
35. *Le régime des glaciers.* *Revue de Geographie Alpine.* Grenoble, 1941.
36. *Det warmare vädret i Norge och fa Svalbard.* Ymer, 1941.
37. *Natur och människor, inom, isomraaden kring nordligaste Atlanten.* Ymer, 1941.