

constituye el total mensual más alto, y los 18 mm que cayeron el 21 de junio significaron la mayor precipitación total en 24 horas. Por su parte, Trípoli registró 12,5 mm de lluvia en junio, la mayor del mes desde 1884. Más adelante, en septiembre, Trípoli registró la mayor cantidad de lluvia de 100 años, con un total de 94,3 mm, de los cuales 77,9 mm cayeron el 28 de septiembre lo que supuso un nuevo máximo en 24 horas. Nalut, con un total de 53,3 mm también alcanzó un nuevo máximo de precipitación total mensual en septiembre. El 5 de noviembre, Benina registró 108,7 mm de lluvia en unas siete horas, llevando el total mensual a 141,8 mm, la precipitación total más alta en noviembre desde 1925. En diciembre la configuración pluviométrica fue extremadamente local. Mientras que Trípoli tuvo el diciembre más seco desde 1888 con 5,6 mm (sólo el 7 por 100 del valor normal), Gharyan registró una precipitación el triple de la normal, recogiéndose 85 mm el 4 de diciembre (la precipitación diaria más alta desde que se iniciaron las medidas).

En SUDAN, julio fue excepcionalmente seco. Los restantes meses del año fueron casi normales, excepto octubre en que una onda del este intensificándose en la baja troposfera produjo cantidades de lluvia por encima del promedio.

Tempestades y ciclones tropicales: Durante el período de mayo a julio fueron frecuentes las tempestades de polvo o el polvo levantado por el viento en SUDAN, registrándose con frecuencia baja visibilidad. El informe de MADAGASCAR cita tres depresiones tropicales (*Dora, Fatou y Berenice*) en sus proximidades, pero ninguna de ellas dio lugar a condiciones meteorológicas excepcionales.

K.J.

LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO ANUAL DE LOS ARBOLES Y EL CLIMA — ANALISIS RETROSPECTIVO Y NUEVOS RESULTADOS

Por F. RÖTHLISBERGER*

Antecedentes históricos

La historia de la investigación de los anillos de crecimiento anual de los árboles puede reconstruirse desde hace aproximadamente quinientos años. Ya Leonardo da Vinci (1452-1519) observó una correlación directa entre el espesor de los anillos de crecimiento anual de los árboles y la precipitación (Fürst (1963)). El naturalista sueco, Carl von Linné (1707-1778), estudiando los robles cerca de la frontera norte del país, encontró una relación entre los anillos anchos y las altas temperaturas del verano y entre los anillos estrechos y las bajas temperaturas estivales (Trendelenburg (1955)). Kasthofer (1822), ingeniero de montes suizo, comparó los pinos cembros (*Pinus cembra*), que en un tiempo fueron sepultados por el Glaciar Unteraar, con los que todavía subsisten y estableció, basándose en la gran anchura de los anillos, que los enormes "árboles subterráneos del mundo prehistórico" tuvieron que haber crecido en una fase climática más caliente.

Esto indica ya de una forma clara que, el orden de sucesión de los anillos de crecimiento arbóreo, junto con las fluctuaciones características en su anchura podrían em-

* Instituto Federal Suizo de Investigación Forestal, Birmensdorf (Suiza).

plearse para determinar su edad. Se supone que las configuraciones de los anillos de los árboles de una región climáticamente homogénea deberían ser similares. Esta semejanza se origina por la común reacción del crecimiento a las condiciones que sean fundamentalmente estables, aunque puedan cambiar de año en año (ver Figura 1). Dibujando la curva de los espesores anuales de crecimiento de los anillos de los árboles talados recientemente, nos permite determinar la edad de los árboles de la misma zona cortados en tiempos anteriores, a base de mover las dos curvas hasta que coincidan. Haciéndolo de esta forma, es a menudo posible (cuando se emplean muestras que cubran un cierto número de años) prolongar, al mismo tiempo, la cronología. Comparando diversas curvas medias de fechado podemos construir una curva tipo con la cual pueden ser fechadas las secuencias desconocidas de los anillos de crecimiento. Este método fue empleado por primera vez en casos prácticos por Kùchler en Texas (EE.UU.), en 1859, para establecer si las sequías, frecuentes en aquellos tiempos en la zona de San Antonio, se ajustaban a un modelo uniforme. Consiguió dibujar una curva tipo retrocediendo hasta el siglo dieciocho, y encontró que los trozos de la curva con estrechos anillos de crecimiento coincidían con períodos secos, mientras que los trozos con anillos anchos coincidían con períodos de precipitación relativamente elevada (Delorme (1972)).

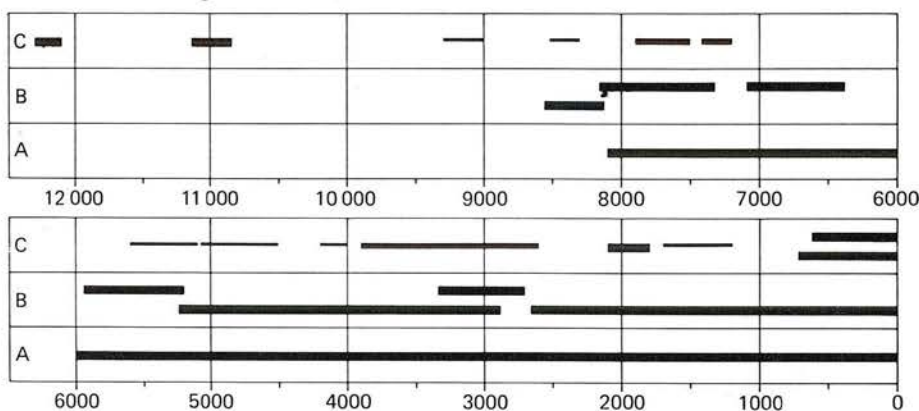


Figura 1. Cronologías de los anillos de crecimiento de los árboles durante los últimos 1200 años. Las líneas gruesas representan las curvas tipo, las medias aquéllas que cubren 2-4 veces y las delgadas cubren únicamente una sola vez.

A - Pino cola de zorro (*Pinus aristata*); EE.UU.

B - Roble (*Quercus*); República Federal de Alemania.

C - Alerce (*Larix decidua* Mill), abeto (*Picea abies*) y pino cembro (*Pinus cembra*); Alpes.

A partir de estos pocos pioneros, hasta 1901, se concedió escaso interés, por no decir ninguno, a las investigaciones sobre los anillos de crecimiento anual de los árboles. Luego, fue el astrónomo y físico americano, Andrew Ellicot Douglass (1867-1961) quien primero demostró las posibilidades que ofrecía la dendrocronología. Su interés principal se centró en la influencia del ciclo de actividad de las manchas solares sobre el tiempo atmosférico, pero no dispuso de suficientes datos meteorológicos para este tipo de investigación. Esto le condujo a comprobar la validez de los árboles como "anuarios meteorológicos". En las zonas secas del sudoeste de los Estados Unidos de América, los árboles producen únicamente anillos estrechos en los veranos secos, de modo que Douglass no tuvo dificultad en sincronizar las curvas y extenderlas por medio del proceso de comparación de fechas. Aunque sólo pudo demostrar la influencia entre el ciclo de las manchas solares sobre las curvas de los anillos individuales de crecimiento, fue el primer científico que fechó con precisión las ruinas prehistóricas aztecas de Nue-

vo México. De este modo, Douglass dio a los arqueólogos un nuevo método para determinar las fechas, con una precisión inferior a un año.

La dendrocronología demuestra su importancia

Gracias a la gran edad alcanzada por ciertas especies arbóreas en América del Norte, fue posible extender las curvas a tiempos anteriores. Entre las especies de larga vida está la Sequoia gigante de la Sierra Nevada (California), que puede alcanzar una edad de más de 3.000 años, así como el pino cola de zorro (*Pinus aristata*), descubierto no hace mucho, en 1956, y que todavía subsiste después de más de 4.500 años, en las cercanías de las White Mountains. En la zona abrigada de la lluvia de Sierra Nevada, se han conservado, durante muchos años, árboles muertos, algunos de los cuales han servido para enlazar con éxito, por el método de comparación de fechas, con las formas de los anillos de los árboles aún vivos. El resultado es que se ha podido conocer la cronología más larga del mundo, hasta 8.100 años (Ferguson (1969) y comunicación personal). Empleando el C^{14} de la madera fechada en esta cronología, se midieron las fluctuaciones en el contenido de C^{14} de la atmósfera durante los últimos 7.200 años (Suess (1979)).

A partir de los comienzos de la dendrocronología, en América del Norte, su estudio se extendió por todo el mundo, llegando a ser un método preciso, en arqueología, para determinar las fechas. En Europa Bruno Huber (República Federal de Alemania), animado por el trabajo de Douglass, evaluó y sincronizó las formas de los anillos de crecimiento anual de los robles de la Europa central. Actualmente existen un cierto número de curvas tipo que abarcan más de 2.000 años (en algunos casos "cronologías flotantes"). Con el método de comparación de fechas se puede alcanzar hasta el año 8500 a. J.C. (Becker (1979) (ver *Figura 1*)).

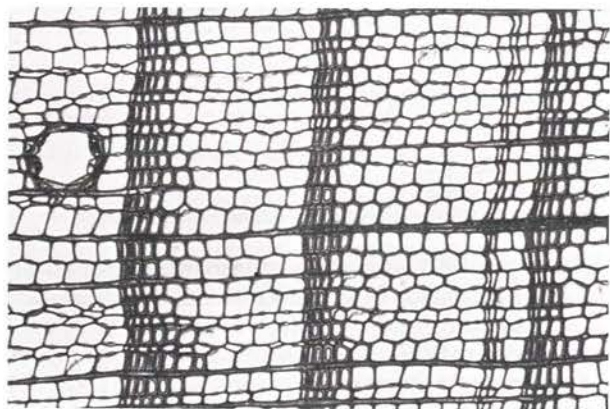


Figura 2. Sección transversal de una alerce fósil de siete metros de espesor en la morrena final del Glaciar Zmutt (Alpes suizos occidentales). Edad determinada por el C^{14} , 1.550 (± 100) años a.J.C.

De la dendrocronología a la dendroclimatología

La ciencia de la dendroclimatología es una ampliación posterior de la dendrocronología e investiga las correlaciones entre los anillos de crecimiento anual de los árboles, con una serie de factores meteorológicos tales como la temperatura, la precipitación y la insolación, siendo los dos primeros los factores del medio ambiente que influyen con

más importancia en el crecimiento del bosque. En las zonas de clima templado, cualquiera de estos elementos (o la combinación de ambos) puede tener un efecto decisivo sobre el espesor de los anillos de crecimiento anual; tanto un verano húmedo y excepcionalmente frío como otro soleado, pero excesivamente seco, dan como resultado un menor crecimiento (y, por tanto, anillos más estrechos) que lo normal. Por otra parte, en regiones con climas rigurosos, tales como la zona cerca del límite superior de la vegetación arbórea de los Alpes, el borde de la zona ártica y las correspondientes regiones del hemisferio sur, y en los desiertos cálidos y áridos, tenderá a dominar uno de estos factores, ya sea la temperatura o la precipitación. Artmann (1949) y Brehme (1951) examinaron los alerces (*Larix decidua* Mill) y los pinos cembros (*Pinus cembra*) cerca del límite superior de la vegetación arbórea alpina y descubrieron una relación entre los espesores de los anillos de crecimiento anual y las temperaturas y las horas de insolación, en el verano. En 1976, después de calcular los espesores de los anillos de crecimiento de muestras provenientes de todas las partes de América del Norte, valiéndose de las técnicas de ordenador, Fritts consiguió calcular, con éxito, las fluctuaciones de la presión del aire y los movimientos de las zonas de altas y bajas presiones, durante los últimos 400 años.

Densitometría por rayos X

Si en las investigaciones se utiliza solamente el espesor de los anillos de crecimiento, se pueden cometer errores de cierta importancia en su interpretación, por lo menos en las zonas de clima templado. Si se examinan los anillos individuales de una sección transversal, se encuentra una zona primaveral más clara y luego una zona estival más oscura. Con el microscopio se puede identificar la madera de primavera (o temprana) con sus grandes células de color claro, que se diferencia notablemente de las células de paredes gruesas y color oscuro de la madera de verano (o tardía) (ver *Figura 2*). El mérito en desarrollar el método densitométrico, para obtener datos medidos en el interior de los anillos de crecimiento, se debe a H. Polge, científico que trabaja en el *Centre national des recherches forestières* de Nancy (Francia). Los resultados que obtuvo en 1963 y 1966, descubrieron nuevos horizontes en el campo de la investigación de los anillos de crecimiento. No se trata solamente de la medida del espesor de los anillos, sino que con la ayuda del análisis por rayos X y con la técnica microdensitométrica se determinaron también la densidad de la madera de primavera y verano, en cada anillo de crecimiento (ver *Figura 3*).

Trabajos realizados por el Instituto Federal Suizo de Investigación Forestal (SFIFR)

El Instituto Federal Suizo de Investigación Forestal (SFIFR) adoptó el método de Polge y además lo desarrolló. En los párrafos siguientes se resumen los resultados de un cierto número de estudios actuales realizados bajo la supervisión del Dr. F.H. Schweingruber.

Parece evidente que la densidad de la madera de verano tiene una importancia particular en la investigación de los anillos de crecimiento. Varias especies de coníferas que crecen cerca del límite superior del bosque alpino (abeto negro, abeto, pino, alerce, y cembro) pueden ponerse en correlación, basándose en la densidad máxima. Al mismo tiempo, hay una correlación evidente entre la densidad máxima de los anillos de crecimiento de tales árboles y las temperaturas medias estivales entre junio y septiembre. (Schweingruber, Fritts et al. (1978)). Estos resultados iniciales indujeron a aco-

meter un programa más ambicioso de investigación. Uno de los objetivos de tal programa fue definir las zonas geográficas de validez de las curvas de los anillos de crecimiento (densidad máxima y espesor), durante los últimos 300 años. Esto hizo posible tratar con unidades climatológicas a gran escala, de suerte que el trabajo pueda empezar sobre la reconstrucción selectiva de la cronología del Holoceno, a partir del centro de la unidad climatológica. De esta forma, se pueden esperar buenos resultados climatológicos y de gran alcance, con el mínimo gasto.

Fotografía



Imagen de rayos X



Curva de densidad

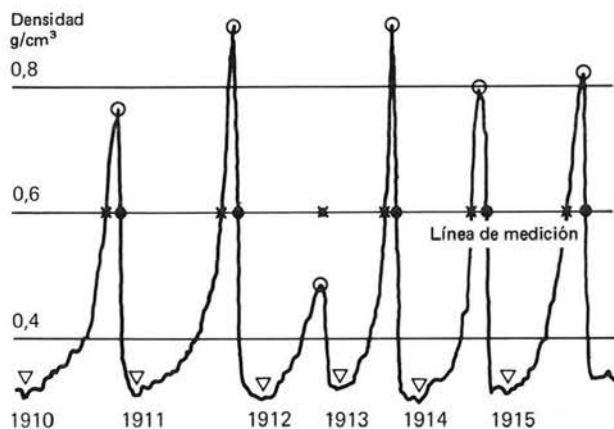


Figura 3.— Fotografía de una muestra actual de madera, con la radiografía por rayos X y la gráfica. Espesores de los anillos de crecimiento, el espesor de primavera (madera temprana) y el de verano (madera tardía) se han obtenido midiendo la distancia sobre el eje de abcisas entre los puntos señalados en la gráfica:

Espesor de anillo ●● Densidad máxima
 Espesor de la primavera ●x Densidad mínima
 Espesor de la madera tardía x●
 Densidad máxima ○
 Densidad mínima ▽

(de Schweingruber *et al.* (1979))

Ya han sido evaluadas muestras de toda la región alpina y de las Islas Británicas (Schweingruber *et al.* (1980)). Además, se están recogiendo actualmente testigos de sondeos de los Pirineos y de Escandinavia. Los resultados muestran que una sola unidad climática está representada por la región alpina, desde Schneeberg (al sudoeste de Viena) al Cottienne Alps (al sudoeste de Turín) y en dirección norte, hasta las Montañas de Harz (cerca de los 52°N, sobre la frontera entre la República Democrática Alemana y la República Federal de Alemania) (ver *Figura 4*); (Schweingruber *et al.* (1978)).

Empleando métodos numéricos, se calcularon las correlaciones cuantitativas entre los datos de medida anual de la madera y las temperaturas del verano (Schweingruber, Fritts *et al.* (1978)). Las diferencias entre las temperaturas actuales y las reconstruidas a partir de los datos de los anillos de crecimiento (densidades y espesores) son inferiores a un grado kelvin. Por tanto, no es difícil demostrar nuevas relaciones entre la densidad máxima y otros parámetros dependientes del clima. Dos ejemplos claros de esto son la escorrentía de fusión de un glaciar y las variaciones del frente del glaciar (ver *Figura 5*) (Röthlisberger *et al.* (1989)). El conocimiento de la extensión del glaciar du-

rante las fases de deshielo en los últimos 120 años (1850, 1890, 1920 y 1973) sirve como base del cálculo. Durante los períodos de avance o retroceso del glaciar, se pueden

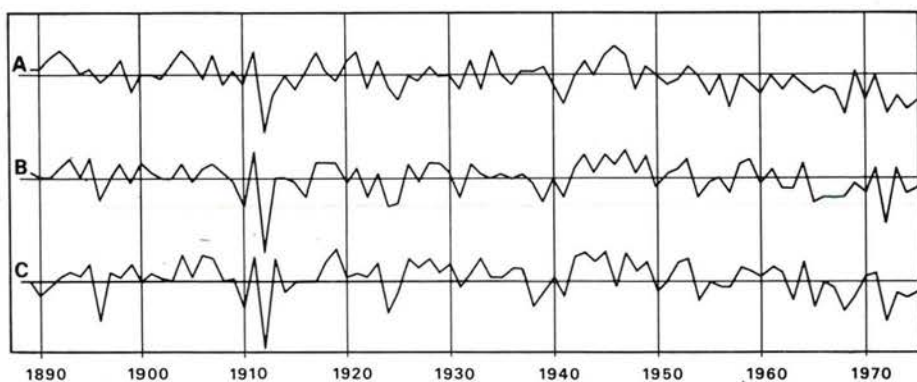


Figura 4. Gráficas medias de la densidad máxima del abeto (*Picea abies*) de las localidades subalpinas:

- A — Mariazell (Austria), Alpes orientales.
 - B — Rigi (Suiza), Alpes septentrionales.
 - C — Mt. Cenis (Francia, Italia), Alpes del sudoeste.
- (de Schweingruber, Fritts *et al.* (1978)).

observar diferentes retrasos al compararlos con las densidades medias móviles a lo largo de cinco años, correspondientes a la curva tipo para Lauenen (Bernese Alps). Estos retrasos varían desde menos de un año hasta más de 16 años (Gamper and Suter (1978)) y dependen no solamente del tamaño, exposición y pendiente del glaciar sino, sobre todo, del estado instantáneo de equilibrio entre la acumulación y la ablación. Si tal equilibrio se logra, los tiempos de reacción para los movimientos de la lengua del glaciar son todos prácticamente menores que cinco años, como se observó en 1710, 1740, 1820 y 1850.

Es interesante señalar que las curvas medias, basadas en muchas buenas medidas individuales (cerca de 30), nos permiten informar sobre las características del clima. Las curvas individuales de árboles de buen crecimiento también muestran una estrecha correlación entre la densidad máxima y las temperaturas estivales. Esto es de gran importancia y supone una gran ayuda para establecer la curva de crecimiento de los anillos en el Holoceno, ya que las "cronologías flotantes" sólo cubren escasamente el principio. Tenemos aquí los primeros elementos de una cronología de anillos de crecimiento de 10.000 años de los Alpes.

Los troncos de los árboles de los pantanos y del límite superior de la vegetación arbórea (Renner (1978)) y los bosques enterrados, en algún momento del pasado, por los glaciares, es el material de base para establecer la cronología del Holoceno de los Alpes (Röthlisberger (1973); (1976); Röthlisberger y Schneebeli (1979)). Ya se dispone de cuarenta y tres curvas de anillos de crecimiento, correspondientes a los 9.000 últimos años (ver Figura 1) (Röthlisberger, Schweingruber *et al.* (1980)). Actualmente se están investigando, en el SFIFR, otros 250 troncos (Bircher (1977); Renner (1977)). Los resultados que se obtengan deberán ser añadidos a las recientes curvas tipo de 700 años de Lauenen (Schweingruber *et al.* (1978)) y Ober Gurgl (Lamprecht (1978)) (ver Figura 6). Sin embargo, la "cronología flotante" más larga reunida se basó en cuatro alerces, cada uno de los cuales tenía una edad superior a 400 años. Esta cronología se extendió desde 3900 (± 120) a 2600 años a.J.C. La Figura 7 muestra las medias mó-

viles de cinco años de las densidades máximas de los anillos de crecimiento durante este período de 1300 años. La curva presenta distintas fases frías y calientes (baja y alta densidad respectivamente). Es interesante observar que el estudio de los datos anuales

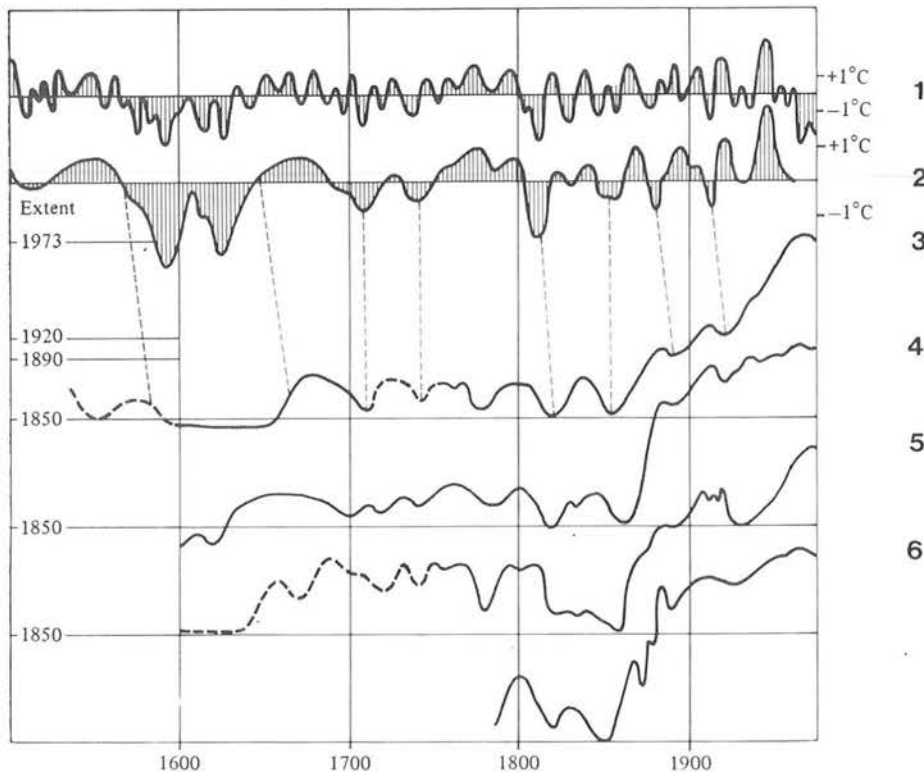
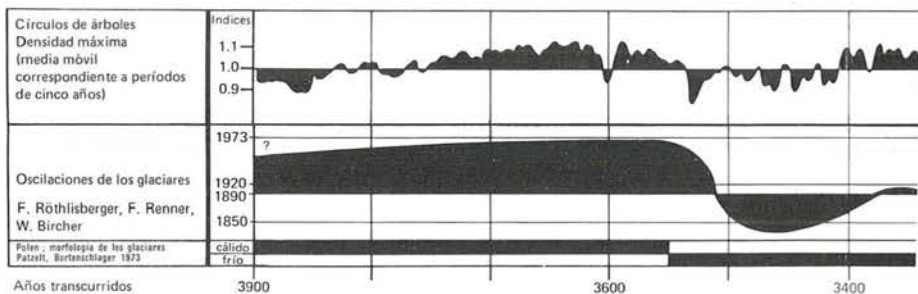


Figura 5. Densidades máximas de los anillos de crecimiento de los árboles y las fluctuaciones del glaciar:

- (1) Lauenen (Alpes suizos occidentales), densidad máxima del *Picea*, medias móviles de cinco años. (Haeberli y Schweingruber (1979))
- (2) Lauenen, máxima densidad, promedio.
- (3) Oscilaciones medias de 23 glaciares suizos. (Furrer, Gamper y Suter (1980))
- (4) Glaciar Rhône. (Holzhauser (1978); Furrer, Gamper y Suter (1980))
- (5) Glaciar Grindelwald. (Zumböhl (1976); (1979))
- (6) Glaciar Fiescher. (Holzhauser (1978))



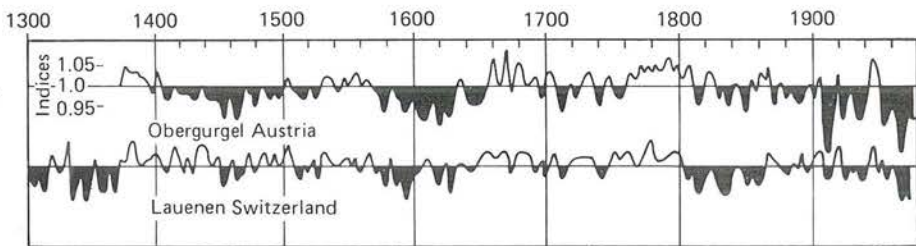


Figura 6. Cronologías suavizadas (basadas en las medias móviles de cinco años), que muestran una concordancia entre las curvas de máxima densidad anual del abeto (*Picea abies*) en lugares alejados 200 km de los Alpes.

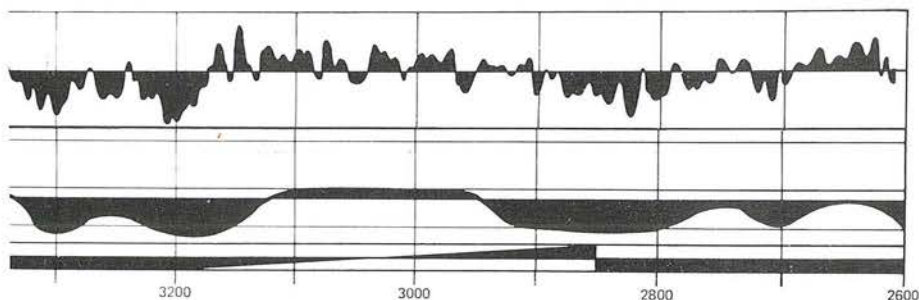
(de Schweingruber *et al.* (1978)).

individuales muestra que los períodos de baja densidad se caracterizan por una forma sensiblemente irregular de la curva, mientras que los períodos más calientes tienen una configuración uniformemente lisa. Estas fases relativamente calientes o frías se producen a intervalos irregulares y tienen diferentes intensidades. Es una cuestión discutible si las fases sensibles y variables reflejan perturbaciones y cambios en la atmósfera, mientras que las secciones uniformes indican una cierta estabilidad climática.

Los detalles de los movimientos glaciares en los Alpes y los resultados de los estudios sobre la morfología del glaciar y los análisis del polen realizados en los Alpes orientales, se prestan a ser comparados con esta curva de densidades de los anillos de crecimiento de 1300 años. Se comprenderá que la densitometría por medio de los rayos X puede aportar una contribución útil, confirmando y suplementando los resultados obtenidos por otros caminos de la investigación climatológica. Sin embargo, en todas estas comparaciones e interpretaciones, no debemos olvidar que los anillos de crecimiento anual de los árboles cubren solamente una parte, especialmente el período vegetativo, del calendario meteorológico de doce meses.

Figura 7. Densidades máximas de los anillos de crecimiento del alerce (*Larix decidua Mill*) en las medias móviles de cinco años, oscilaciones del glaciar en los Alpes y análisis del polen y morfología del glaciar en los Alpes orientales, durante el período de 3900 a 2600 años (± 120) a.J.C.

(Röthlisberger, Renner, Bircher, Patzelt y Bortenschlager (1973))



Referencias

- ARTMANN, A. (1948). Jahrringchronologische und klimatologische Untersuchungen an der Zirbe und anderen Bäumen des Hochgebirges. Dissertation, Munich, 98 p.
- BECKER, B. (1979). Die Postglaziale Eichenchronologie Süddeutschlands und ihre Bedeutung für die Datierung neolithischer Chronologien aus der Schweiz. *Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte*, 36. pp. 91-92.
- BIRCHER, W. (1977). *Lageänderungen von Gletscherzungen im Saatal*. Univ. Zurich Geographical Inst. thesis, 83 pp.
- BREHME, K. (1951). Jahrringchronologische und -klimatologische Untersuchungen an Hochtalgebirgslärchen des Berchtesgadener Landes. *Zeitschrift für Weltforstwirtschaft*, 14 pp. 65-80.
- DELORME, A. (1972). Dendrochronologische Untersuchungen an Eichen des südlichen Weser- und Leineberglandes. Dissertation, Göttingen, 130 pp.
- FERGUSON, C.W. (1969). A 7104-year annual tree-ring chronology for Bristlecone Pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bull*, 29, 3/4, pp. 1-29.
- FRITTS, H. C. (1976). *Tree-rings and climate*. Academic Press, London, 567 pp.
- FURRER, G., B. GAMPER-SCHOLLENBEGGER and J. SUTER (1980). Zur Geschichte unserer Gletscher in der Nacheiszeit. Methoden und Ergebnisse. In: *Das Klima*, Springer Verlag (in print).
- FÜRST, O. (1963). Vergleichende Untersuchungen über räumliche und zeitliche Unterschiede interannueller Jahrringbreitenschwankungen und ihre klimatologische Auswertung. *Flora*, 153, pp. 469-508.
- GAMPER, M. and J. SUTER (1978). Der Einfluss von Temperaturänderungen auf die Länge von Gletscherzungen. *Geographica Helvetica*, No. 4, pp. 183-189.
- HAEBERLI, W. and F.H. SCHWEINGRUBER (1979). Klima seit der Eiszeit. In: *Die Schweiz und ihre Gletscher. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart*. Schweiz. Verkehrszentrale, Kümmerly & Frey, pp. 26-45.
- HOLZHAUSER, H. (1978). *Zur Geschichte des Fieschergletschers*. Univ. Zurich Geographical Inst. thesis, 120 pp.
- HUBER, B. (1971). Dendrochronologie. In: *Handbuch der Mikroskopie in der Technik* (ed. by H. Freund). Vol. 5, part I, Umschau Verlag, Frankfurt a.M., pp. 171-211.
- KASTHOFER, K. (1822). Bemerkungen auf einer Alpen-Reise über den Susten, Gotthard, Bernardin, und über die Oberalp, Furka und Grimsel... Nebst Betrachtungen über die Veränderungen in dem Klima des Bernischen Hochgebirgs. Aarau, 354 pp. (climate pp. 273-349).
- LAMPRECHT, A. (1978). *Die Beziehung zwischen Holzdichtewerten von Fichten aus subalpinen Lagen des Tirols und Witterungsdaten aus Chroniken im Zeitraum von 1370-1800*. Univ. Zürich. Geographical Inst. thesis, 77 pp.
- PATZELT, G. and S. BORTENSCHLAGER (1973): Die Postglazialen Gletscher- und Klimaschwankungen in der Venedigergruppe (Hohe Tauern, Ostalpen); mit sechs Pollendiagrammen. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 16 (supplement). pp. 25-72.
- POLGE, H. (1966). Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants - Applications dans les domaines technologique et physiologique. *Annales des Sciences forestières*, 23, Fascicule 1, Nancy, 206 pp.
- RENNER, F. (1977). *Ehemalige Gletscherstände im Witenwasserer- und Muttental. Urseren*. Univ. Zürich Geographical Inst. thesis, 64 pp.
- RÖTHLISBERGER, F. (1976). Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferpècle und Arolla. In: *Die Alpen*. 3/4, pp. 59-152.
- SCHWEINGRUBER, F.H., H. C. FRITTS, O.U. BRÄKER, L.G. DREW and E. SCHÄR (1978). The X-ray technique as applied to dendroclimatology. *Tree-ring Bull*, 38, pp. 61-91.
- SCHWEINGRUBER, F.H., O.U. BRÄKER and E. SCHÄR (1979). Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and England. *Boreas*, 8. pp. 427-452.
- SCHWEINGRUBER, F.H., E. SCHÄR and O.U. BRÄKER, O.U. (1978). X-ray densitometric results for subalpine conifers and their relationship to climate. In: *Dendrochronology in Europe*, (ed. by J. Fletcher), British Archaeological Reports. International Series 51, pp. 89-100.
- SÜESS, H.E. (1970). Bristlecone pine calibration of the radiocarbon time scale from 5200 B.C. to present. In: *Radiocarbon variations and absolute chronology* (ed. by Ingrid U. Olsson), John Wiley and Sons, New York, pp. 303-309.
- TRENDELENBURG, R. (1955). *Das Holz als Rohstoff*. (second ed.), C. Hanser, Munich, 541 pp.
- ZUMBÜHL, H.J. (1976). Die Schwankungen des Unteren Grindelwaldgletschers in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts. *Zeitschrift für Gletscherkunde* XI/1, pp. 12-50 and 95-100.
- ZUMBÜHL, H., G. BUDMIGER and H. HAEBERLI (1979). Historische Dokumente (Grindelwaldgletscher). In: *Die Schweiz und three Gletscher, von der Eiszeit bis zur Gegenwart*. Schweiz. Verkehrszentrale Kümmerly + Frey, pp. 48-69.