

Carlos A. Quintana

LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO



EL TREN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

1310 ❄️ 1850

F H N
FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

**Universidad
Maimónides**

VAZQUEZ MAZZINI **M** EDITORES

LA PEQUEÑA
EDAD DE HIELO

Carlos A. Quintana

LA PEQUEÑA
EDAD DE HIELO

EL TREN DEL CAMBIO CLIMÁTICO
1310 ❄ 1850

F H N
FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

VAZQUEZ MAZZINI  EDITORES

Fundación de Historia Natural Félix de Azara
Departamento de Ciencias Naturales y Antropológicas
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones
Universidad Maimónides
Hidalgo 775 - 7 piso (1405BDB),
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina
Teléfonos: 011 - 4905-1100 (int. 1228)
E -mail: secretaria@fundacionazara.org.ar
Página web: www.fundacionazara.org.ar

Diseño y producción gráfica

José Luis Vázquez, Fernando Vázquez Mazzini, Cristina Zavatarelli

Imagen de tapa

“Los cazadores en la nieve”, de Brueghel el Viejo

Imagen de contratapa

Composición de Carlos Quintana sobre una foto de paisaje de Gustavo A. Martínez

Reservados los derechos para todos los países. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada, o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia, CD Rom, Internet, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial. Este trabajo refleja exclusivamente las opiniones profesionales y científicas de los autores y no es responsabilidad de la Editorial el contenido de la presente obra.

Primera edición 2013

Impreso en Argentina

Se terminó de imprimir en el mes de abril de 2013, en la Ciudad de Buenos Aires

Vazquez Mazzini Editores
Tel./Fax: (54-11) 4905-1232
info@vmeditores.com.ar
www.vmeditores.com.ar

Carlos A. Quintana

La pequeña edad de hielo : el tren del cambio climático 1310-1850 . - 1a ed. - Buenos Aires : Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 2013.

96 p. ; 23x16 cm.

ISBN 978-987-29251-0-9

1. Ecología.
CDD 577

*A Diana, mi compañera.
Todo lo opuesto al frío glaciario*

Carlos Adrián Quintana

(1964). Nació en la ciudad de Buenos Aires, pero eligió vivir en Mar del Plata con su esposa Diana y su pequeña hija Caterina. Trabaja en el Laboratorio de Arqueología de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Publicó numerosos artículos científicos de paleontología y zooarqueología y dos libros de divulgación científica: “Señor Pata de Cabra – Crítica a la Sinrazón Pura” y “Los Fósiles de Mar del Plata” el cual recibió un premio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

ÍNDICE

1. HABLANDO DEL CLIMA

Constitución - Villa Domínico

Constitución. Un pronóstico equivocado.....	9
Avellaneda. El clima siempre cambia.....	10
Sarandí. El frío glaciario.....	12
Villa Domínico. El calor interglaciario.....	15

2. EL INICIO DE LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO

Wilde - Quilmes

Wilde. El tiempo del clima.....	17
Bernal. Vikingos acalorados.....	22
Quilmes. Comienza el frío.....	24

3. ¿CÓMO LO SABEMOS?

Ezpeleta - Villa Elisa

Ezpeleta. El registro del clima.....	27
Don Bosco. Conocer o creer.....	29
Berazategui. Conservado en el hielo.....	32
Plátanos. El clima adentro de los árboles.....	36
Hudson. El frío que viene del sol.....	45
Pereyra. Volcanes que congelan.....	53
Villa Elisa. Clima de mar.....	61

4. LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN EL SUR

City Bell - La Plata

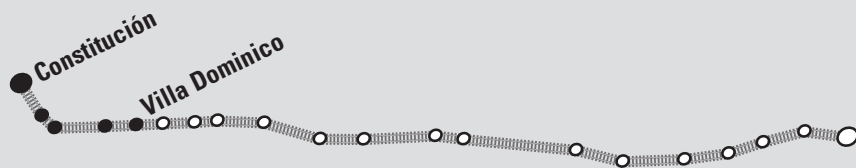
City Bell. El frío criollo.....	67
Gonnet. Con la lengua seca.....	74
Ringuelet. Desenterrando el clima.....	80
Tolosa. El clima del pasado en... las plantas.....	88
La Plata. Termina la estación fría.....	90

Fuente de las imágenes del cuaderno.....	93
--	----

Bibliografía comentada.....	94
-----------------------------	----

Capítulo 1

HABLANDO DEL CLIMA



Constitución

Un pronóstico equivocado

La silueta de Juan Francisco Sagredo resaltaba aún en una estación multitudinaria y ocupada por la prisa y la preocupación de cada viajero. Siempre prolijo, de sombra larga que no reconocía encorvamientos y con una pronunciada calva que compensaba la barba sutil que se prolongaba en una eterna corbata oscura y angosta.

Hacia muchos años que no iba a la ciudad de La Plata en tren, pero en esta ocasión le pareció que debía volver a usar el viejo ferrocarril a modo de un cierre simbólico de su carrera. Había estudiado geología en esa ciudad tomando casi diariamente ese transporte, lo mismo que en sus primeros años de docencia. Aunque siempre trabajó en La Plata nunca quiso dejar su barrio, “me queda cerca de la estación” se justificaba hasta que compró su primer auto.

Ese 24 de Noviembre era su último día de trabajo, después de más de treinta años finalmente se jubilaba, satisfecho pero cansado ya de la docencia. Este último viaje en tren representaba un vínculo con aquellos años de estudiante, llenos de expectativas e incertidumbres sobre su vida. Ni bien llegó a la estación de Constitución también sintió, como tantas veces, la conexión con Florentino Ameghino quién, siendo subdirector del Museo de La Plata hace más de un siglo, viajaba diariamente en ese mismo tren y, como él mismo, aprovechaba el viaje para leer.

Todos esos recuerdos le venían juntos pero desordenados y evocados por el típico ruido y aroma de la estación. Este viaje sería distinto. Ya no estaría ocupado, y preocupado, por estudiar para algún examen o para repasar lo que expondría en alguna clase. Esta era una merecida despedida del mundo académico, así que estaba preparado para disfrutar del viaje y del paisaje.

Por primera vez compró un boleto que no era de cartón y se dirigió al andén del tren de las 8:10 hs. Llegó temprano, de modo que pudo elegir el lugar de su preferencia: al medio pero un poco atrás, el asiento de la ventanilla. “Esta debe ser la actitud al viajar” pensó cuando se sentó mirando hacia el destino y no al revés. Se estiró y, con el tren todavía detenido, comenzó a saborear un viaje que sería relajado, casi de recreación.

El golpe del primer movimiento de la formación fue como un anuncio que comenzaba a cerrar el ciclo. Al rato se miró y se sintió raro de no saber qué hacer con las manos, ya que no tenía su maletín con un libro para estudiar o un texto para

corregir. Pero inmediatamente hizo una mueca de satisfacción y se dejó llevar por el paisaje ferroviario.

Avellaneda

El clima siempre cambia

— *¡Hola profe! ¿Qué raro vos en el tren?*

La pregunta casi le perforó el tímpano, no por estridente, sino porque lo estremeció la inesperada interrupción de sus pensamientos. Junto con la sorpresa se interrogaba sobre quién era ese joven. Le “sonaba” su cara.

— *Hola profe. — Repitió — ¿Vas hasta La Plata? Yo siempre viajo en este horario, nunca te vi antes. ¿Te acordás de mí? Mario Guiducci, cursé el año pasado Geología General, tengo que dar el final en Diciembre.*

Sagredo tuvo un vago recuerdo de uno de los tantos alumnos, se sentaba al lado de la ventana “¡ahora sí me acuerdo! El preguntón desgarrado” se dijo al mismo tiempo que lo corregía.

— “Profe” no: profesor. Sí, voy hasta La Plata ¿Cómo le va?

— *Bien profe, pero casi no llego y tengo una clase a las 12 hs. ¿Me puedo sentar con vos?*

— Bueno, ya se sentó. — Contestó Sagredo remarcando el tono formal, sin tuteo, al que estaba acostumbrado y esperando que el preguntón se dedicara a la lectura para disfrutar el viaje que tenía planeado.

Mario estaba entusiasmado por charlar con el profesor fuera del ámbito de la facultad. Pero se sentía cohibido, finalmente pensó: “en el tren todos somos iguales”. Sin meditarlo más inició una charla “de ascensor”.

— *Hace calor ¿eh?*

— Más vale, ya estamos en Noviembre.

— *Sí, claro, profe pero antes el clima era más estable.*

— “Profe” no: profesor. ¿Antes cuándo?

— *Bueno... antes. Mi abuelo me decía que los primeros calores fuertes empezaban en Diciembre, el clima era más parejo.*

— Pero ¿antes cuándo? — Insistió Sagredo haciéndole notar su falta de precisión — ¿Más parejo cuánto?

— *Vamos profe, con esto del calentamiento global, que se derriten los glaciares, que el nivel del mar, que se desprenden bloques de hielo de la Antártida...*

Coincidiendo con el aviso de salida de la estación, Sagredo hizo una pausa para pensar qué le respondería mientras Mario seguía hablando. Sabía en qué se podía meter y, en realidad, quería disfrutar “su” viaje. Recién estaban en Avellaneda y eso lo animó a replicarle:

— Veo Mario, me parece que usted tiene la idea de que el clima, y tal vez el mundo, es un sistema fijo, que nunca cambió. ¿Prestó atención el año pasado?

— *Si profe, la tectónica de placas, la erosión y todo eso... pero todos sabemos que el clima ahora está loco. Cada vez hace más calor. ¿Viste las fotos de antes y de ahora de los glaciares de la Patagonia?*

— Sigue sin ser específico de cuándo es “antes”. “Antes” pueden ser 40 años, 40.000 ó 4.000.000. Depende de esa referencia si ahora hace más o menos calor. Y eso porque el clima tiene ciclos más o menos regulares, que duran tiempos más o menos largos, y dentro de esos ciclos puede haber otros más cortos. Por ejemplo si hace memoria del curso del año pasado recordará que hace unos 20.000 años terminó un largo período frío...

— ¡Claro! ¡La Era del Hielo!

— ¿Como la Era del Hielo? Usted querrá decir la última glaciación del Pleistoceno. — Corrigió ligeramente ofuscado y con tono académico.

— *Eso decía, la última glaciación, como en la película.*

— ¿Qué película?

— *“La Era del Hielo” profe, la de dibujos animados ¿la viste?*

— “Profe” no: profesor. Y no, no la vi. Pero no se disperse, le decía que la terminación del período que conocemos con el nombre de Pleistoceno marca un cambio de clima importante y hubo extinciones en todos los continentes. Y ese cambio involucró el comienzo de un ciclo más cálido que llamamos Interglaciario, y es en el que vivimos ahora.

— *¿No te digo? Como en la película, se estaban extinguiendo los mamuts y se descongelaban los glaciares, todos los animales corrían porque se les venía el agua encima.*

Las ofertas a voz en cuello de un vendedor ambulante, sorprendieron a Sagredo y evitó que le contestara ofuscado.

— Veo Mario, usted debería poder distinguir una película de dibujitos animados de los fenómenos que realmente ocurren en la naturaleza. Ya estudió que los procesos geológicos tardan mucho tiempo para que sean percibidos durante la vida de una persona. Una deglaciación no ocurre de un día para el otro, a nadie “se le viene el agua encima”, se trata de fenómenos que duran

miles o decenas de miles de años y no son lineales: hay avances y retrocesos y el resultado depende de la tendencia general.

Sagredo hizo una pausa esperando el comentario de Mario, que se quedó mudo por primera vez y sin encontrar una analogía de la película.

— Como le decía — continuó, dándose cuenta del silencio y disfrutándolo como si fuera un triunfo — desde el inicio del Pleistoceno (hace unos 2 y medio millones de años) la temperatura disminuyó, con altibajos, hasta congelar totalmente las zonas más altas y más extremas del planeta. Por ejemplo, en las etapas más frías, desde Norteamérica hasta el norte de Europa había dos grandes bloques de hielo. Durante todo ese tiempo se sucedieron períodos glaciares (fríos) e interglaciares (cálidos), pero el que nos interesa es el último período frío.

— *El de la Era del Hielo, digo... el de la última glaciación.*

— Ese, sí. Hace unos 120.000 años bajó la intensidad de radiación solar, debido a una menor inclinación del eje terrestre. Además, la forma de la órbita de la tierra hacía coincidir, en el Hemisferio Norte, al invierno con la posición más cercana al sol y al verano en la más alejada.

— *Inviernos más cálidos y veranos más fríos. Había menos diferencia entre estaciones.* — Dedujo Mario.

— ¡Claro! Pero con una tendencia a mayor frío. Por ello, las nevadas de invierno permanecían durante el verano y se acumulaban formando bloques de hielo que crecían año tras año. — Completó el profesor mientras entraban en la estación Sarandí.

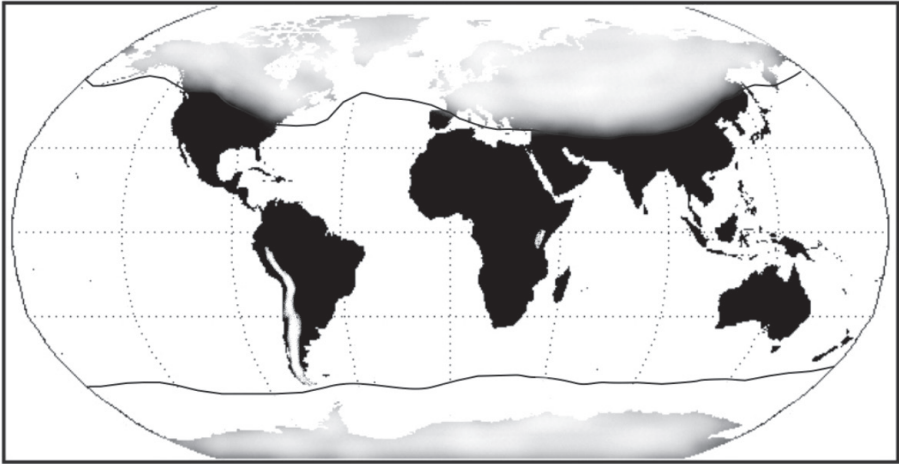
Sarandí

El frío glacial

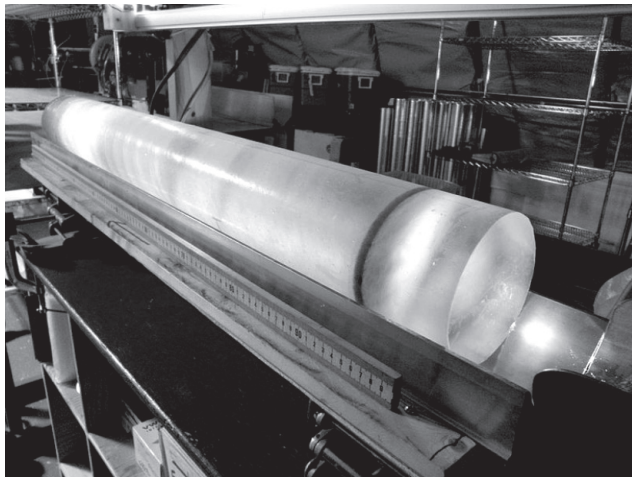
— *Pero... profe, eso no podía ocurrir en los dos hemisferios a la vez, porque entonces coincidían inviernos frescos y veranos cálidos en el sur. ¿Había un período glacial en el Norte y uno interglacial en el Sur?*

La primera pregunta oportuna lo sorprendió tanto a Sagredo que se le pasó corregirle el “profe” que tanto lo irritaba.

— No, no. Las glaciaciones afectaron a ambos hemisferios a la vez. Los registros geológicos nos muestran que en las latitudes altas (las cercanas a los polos) de ambos hemisferios se generaron grandes masas de hielo casi al mismo tiempo, lo cual es un interrogante interesante. Aparentemente lo que



Durante los máximos avances de las glaciaciones se formaron grandes placas de hielo en los polos del planeta y crecieron los glaciares continentales.



En este tubo de hielo antártico se puede analizar el clima del pasado. Nótese una inusual capa de ceniza.

Foto: H. Roop, U. S. Antarctic Program, Photo Library.

ocurrió fue que, ya comenzada la glaciación en el Hemisferio Norte, la circulación oceánica de agua profunda cambió e influyó en el mayor enfriamiento del Atlántico sur. Y, como consecuencia, la Antártida y el Cono Sur también se enfriaron generando mucho hielo continental y oceánico.

— *Entonces estuvo congelado todo el planeta al mismo tiempo.*

— En realidad las glaciaciones generaron grandes masas de hielo solo en las zonas polares, en los alrededores de los polos y en las montañas más altas. Incluso durante el máximo pico de frío de hace unos 22.000 años cuando las temperaturas bajaron unos 5° C en el ecuador y hasta unos 15° C hacia los polos.

En el Hemisferio Norte el hielo cubrió casi todo Canadá y parte de Estados Unidos, desde Inglaterra se podía ir caminando a Francia.

En el Hemisferio Sur la cosa fue distinta, las masas de hielo avanzaron mucho pero estaban relegadas a la cordillera y pre cordillera, mientras que la Antártida nunca se unió con Tierra del Fuego. Por ejemplo, la provincia de Buenos Aires, La Pampa o Entre Ríos nunca tuvieron masas de hielo, aunque fueron afectadas por las bajas temperaturas, la disminución de las lluvias y el descenso del nivel del mar. Este menor impacto de grandes bloques de hielo en América del Sur está relacionado con el mayor carácter oceánico de esta parte del continente, la influencia reguladora del agua fue un factor determinante.

— *Bien, durante todo el Pleistoceno se congelaron más los polos y crecieron los glaciares continentales. Pero... ¿Qué tiene que ver esto con que ahora vamos hacia una época de más calor que antes?* — Sintetizó Mario e hizo una pausa como esperando un cierre de Sagredo.

— Tiene que ver que “antes”, como dice usted, el clima era distinto al de “ahora” y que lo que tiene que esperar es el cambio, más que la estabilidad. Pero, también, que se cumplió un ciclo, porque hace unos 20.000 años, cambiaron las condiciones, empezó a aumentar temperatura y se redujeron las masas de hielo. El clima cambió y, si ahora cambia, no debería sorprendernos. Además, la glaciación no duró todo el Pleistoceno, sino que hubo una sucesión de períodos glaciares e interglaciares, con ciclos más o menos estables de unos 100.000 años. Mire Mario, si lo graficamos...

Sagredo buscó instintivamente el maletín y quedó con el gesto en el aire, sobreco-gido por no haberse dado cuenta que lo había dejado, ya vacío, en su casa. Mario se le adelantó y le ofreció un cuaderno cuadriculado, de esos de espiral, y una birome.

El profesor hizo el esfuerzo de dibujar a mano alzada sobre sus piernas y luchando contra el movimiento del tren. Aprovechó a realizar el esquema cuando finalmente el tren se detuvo en Villa Dominico.

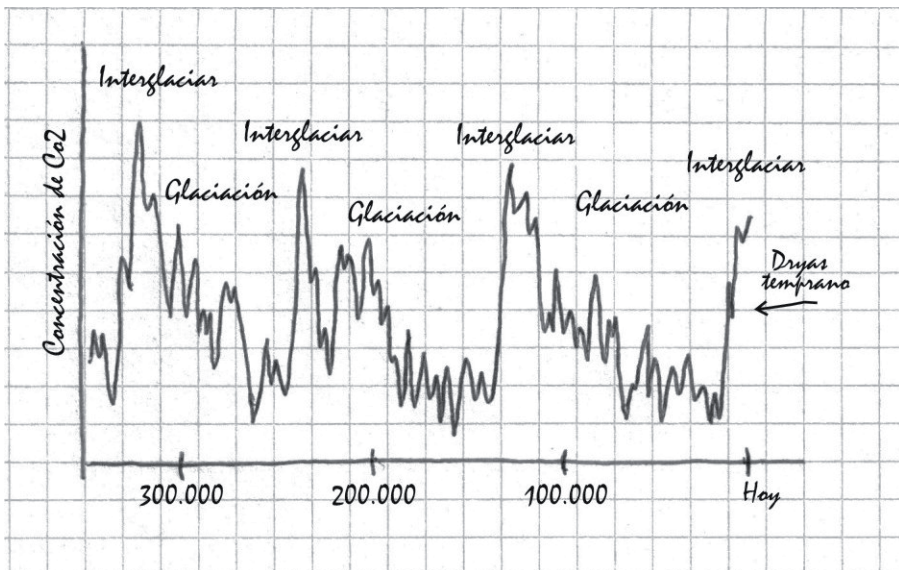
Villa Domínico

El calor interglaciar

— ¿Ve? Es un zigzag con picos de altas temperaturas que duran poco, los interglaciares, y un proceso más largo de bajas temperaturas, las glaciaciones.

— Si, está claro. Pero profe... ¿cómo se puede medir la temperatura de hace un millón de años?

— Los paleo climatólogos son muy ingeniosos. No pueden medir la temperatura directamente, pero sí otras variables que son afectadas por la temperatura. En este caso, por ejemplo, le dibujé de memoria las variaciones de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico depositado en glaciares de la Antártida. Obviamente la concentración de CO₂ aumenta o disminuye según lo hace la temperatura. Le decía, el último período glacial empezó hace unos 120.000 años y la temperatura fue disminuyendo paulatinamente hasta que ese ciclo terminó.



— Y comenzó el interglaciar ¿así de golpe?

— No, como le comenté antes, el clima tiene ciclos menores dentro de ciclos mayores. Fíjese en el dibujo que el período glacial no es una línea recta sino que es como un serrucho, tiene pequeños zigzags en los que el CO₂ nos indica que la temperatura sube y luego baja. Durante esta última glaciación hubo períodos de calor en los que retrocedieron los glaciares, el nivel del mar aumentó y avanzaron los bosques. Pero duraron relativamente poco tiempo en el contexto de una tendencia en la que prevalecía el frío, el zigzag en conjunto

va hacia abajo. Pero en el último tramo de ese largo ciclo, hace unos 20.000 años, cambiaron las condiciones y paulatinamente la temperatura aumentó.

— *Entonces profe, el período interglaciar empezó con ese calentamiento de hace 20.000 años.* — Afirmó, pero como preguntando, mientras miraba hacia la puerta del vagón.

— Más o menos, Mario. Y le recuerdo lo de “profe”. En ese momento comenzó el aumento de temperaturas y todos los cambios que ello acarrea. Pero ocurrieron algunos nuevos fenómenos de enfriamiento...

— *Pero no pudieron durar 100.000 años, si no todavía estaríamos enfriados.*

— Interrumpió ansioso y consciente de que estaba comprendiendo de a poco.

— Efectivamente, fijese en el gráfico. ¿Ve que hacia el final la curva baja un poco? Se trata de un fenómeno que apareció rápido, duró poco y desapareció rápido.

— *¡Eh! ¿No era que los procesos geológicos son largos?*

— Sí, largos en términos de la vida de una persona. En este caso digo que fue corto porque duró “solamente” unos mil años. Fue un enfriamiento llamado Dryas Temprano que, con mayor o menor intensidad, afectó a todo el planeta.

— *¿Dryas? ¿Fue el que lo descubrió?* — Casi toda la pregunta fue mirando hacia el pasillo.

— No el nombre es por una plantita, *Dryas octopetala*, que es típica de la tundra y cuando su polen se detecta en los sedimentos está “cantando” un cambio de ambiente debido a las bajas temperaturas... pero... ¿Qué lo distrae? ¿No me diga que no sacó el boleto y está atento por si viene el inspector?

— *No, boleto tengo, lo que pasa es que en Domingo siempre sube una viejita que vende maní con chocolate y se está demorando...*

— ... como el inicio del interglaciar — continuó Sagredo — aunque la temperatura aumentó después de los 20.000 años antes del presente, se considera que el interglaciar actual empezó cuando finalizó el Dryas Temprano: hace unos 11.500 años.

¿Vio Mario? No debe sorprenderse de que el clima cambie, y debe ser precavido en afirmar que “vamos” hacia tal o cual clima. ¿Cómo sabe si ahora no estamos en un pequeño zigzag dentro de un ciclo mayor con una tendencia distinta?

— *Sí, claro. Pero el tren va a llegar a Wilde, así que me voy a buscar a la viejita y sus maníes con chocolate. ¿Te acordás que te dije que casi no llego? Me quedé dormido y no tuve tiempo de desayunar.*

Capítulo 2

EL INICIO DE LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO



Wilde

El tiempo del clima

Sagredo se quedó solo y perplejo por la salida de Mario.

“Ya casi en Wilde” pensó, mientras trataba de saber si prefería que el preguntón no regresara para disfrutar del viaje en su apacible soledad o si la charla lo entretendría hasta el destino.

— Yo quería otro viaje, “mi” viaje. — Mascullaba para sí — Encima que me pongo a despabilar a este pibe, su interés termina en el maní con chocolate. No hay caso, estos chicos de ahora piensan en ellos no más, seguro que ni me prestó atención.

Aparecer de la nada, sentarse de un salto y ponerle una caja de maní en la mano fue todo un solo movimiento que sobresaltó a Sagredo.

— *¿Sabés quién subió acá en Wilde? La profesora Gamba, creo que vive cerca de la estación.*

— *¿Marina Gamba?*

— *Sí, esa ¿Viste? Valió la pena profe. ¿Te acordás?*

— “Profe” no: profesor. *¿Que si me acuerdo de qué Guiducci?*

— *¿Cómo de qué? ¡El maní con chocolate en caja! estos son los buenos, no como los que vienen en bolsitas, ya casi no se consiguen. Esta caja es para vos.*

— *¿Eh? ¡Ah! Bueno... gracias.*

— *Estos son los que comía con mi abuelo cuando me llevaba al cine. Mi abuelo, profe, el que me decía que el clima de antes era más parejo.*

— *¿Y está seguro que son distintos a los que vienen en bolsita?*

— *Por supuesto, de acá al Pleistoceno. Me decías que el clima cambia permanentemente, bueno... que tiene ciclos más o menos constantes. ¿Enton-*

ces no debemos preocuparnos por el calentamiento global? ¿Ya tenemos un destino marcado y estamos en una época cálida pero vamos hacia una glaciación dentro de unos 10.000 años? — Preguntó, señalando el gráfico del cuaderno con la caja de maníes.

— No es tan así Mario, ya le dije que es muy temerario afirmar hacia dónde “va” el clima. Veamos, por el calentamiento global debemos preocuparnos porque hay evidencias claras que a partir de la Revolución Industrial aumentaron los gases de invernadero y, en consecuencia, la temperatura. Nosotros lo estamos causando y lo deberíamos frenar. De todos modos todavía falta mucho trabajo para determinar cuánto de ese calentamiento es producido por el Hombre y cuánto puede ser natural. Recuerde que estamos en una etapa cálida.

Y no, el destino no está marcado. Lo que creemos que tenemos resuelto puede cambiar sin previo aviso. — Dijo pensando en sí mismo dentro del tren. Aparentemente las condiciones nos muestran que estamos transitando un período interglaciar que alguna vez terminará en una larga etapa fría. Si continúan los mismos ciclos del Pleistoceno efectivamente será dentro de unos 10.000 años. Pero es difícil asegurarlo con certeza absoluta. En estos cambios hay muchas variables involucradas, desde terrestres como la posición del eje del planeta y la circulación oceánica, hasta extraterrestres como la forma de la órbita de la Tierra o la actividad de la superficie del Sol.

Ninguno se dio cuenta que ya salían de Wilde. Mario masticaba sus maníes como hipnotizado escuchando al profe, pero reaccionó:

— Claro, son todos procesos muy largos. Nunca vamos a saber de un cambio franco de clima hasta miles de años después...

— Depende. — Se apuró a decir Sagredo sabiendo que le ofrecía una carnada que sería difícil de resistir — Hubo variaciones del clima que se pudieron detectar más o menos mientras ocurrieron.

— ¿Pero en qué quedamos profe? ¿Los cambios de clima se pueden percibir o no? ¿Afectan a una persona durante su vida o solo se sienten a largo plazo?

Sagredo se sonreía hacia dentro, sin manifestarlo, satisfecho, como cada vez que lograba sorprender e interesar a sus alumnos. “Todavía tengo el toque” pensó o, más bien, sintió. Con la excusa de comer algunos maníes hizo una pausa para generar algo más de suspenso. Y respondió:

— La naturaleza es muy ladina para mostrarse tal cuál es. Y cada vez que creemos que hemos resuelto un problema, surgen dos más. Eso es lo divertido de la ciencia, no hay temas agotados por los hombres. En todo caso, como decía Ramón y Cajal, hombres agotados en los temas.

Si bien los procesos geológicos y climáticos asociados son muy largos, en

términos de una vida humana, excepcionalmente ocurren fenómenos rápidos...

— *Como el de la plantita.*

— ¿Qué plantita?

— *La flor de la tundra ¿cómo se llamaba?*

— Ah, sí. Usted se refiere al Dryas Temprano. Aunque duró “poco”, unos mil años, el efecto que sin duda percibieron los hombres y mujeres de entonces fue su desaparición. Se trató de un calentamiento rápido.

— *¿Como el del calentamiento global actual?*

— No, mucho más intenso. En menos de 100 años la temperatura aumentó, por ejemplo en Groenlandia, hasta 10 °C. Los glaciares retrocedieron y las temperaturas de las corrientes oceánicas se distribuyeron de un modo parecido al actual.

— *Bueno, pero no sabemos si ese fenómeno fue percibido por las personas...*

— Le aseguro que sí, impactó de modo significativo.

— *Pero, yo me refiero a que fue hace tanto tiempo que no quedó registrado en la memoria colectiva.*

— ¿De qué memoria colectiva me habla? La memoria es un proceso del cerebro y por lo tanto de los individuos, no de los grupos.

Mario se quedó descolocado por la obviedad del argumento de Sagredo. Pero sin pausa se enmendó:

— *Sí, lo que quiero decir es que nadie que lo haya vivido pudo dejar su testimonio. No tenemos detalles de qué sintieron, ni de cómo afrontaron ese nuevo escenario.*

— Efectivamente no tenemos detalles como los que usted se refiere, aunque podemos deducirlo. Por ejemplo algo parecido, y de lo que sabemos bastante, ocurrió hace poco.

— *¿Poco cuánto?* — Preguntó imitando el tono de Sagredo cuando exige precisiones.

— Setecientos años.

— *¡¿Y te parece poco?!*

— Por supuesto. Venimos hablando de que el Pleistoceno comenzó hace más de 2.000.000 de años, que la última glaciación inició hace 120.000 años, que

el interglaciar hace 11.500. Este fenómeno que me refiero empezó hace 700 años y terminó hace unos 160.

— *Paró hace 5 minutos.*

— No, le digo que fue hace 160 años.

— *Hace 5 minutos paró el tren a medio camino a Bernal. Si se retrasa mucho me pierdo la clase. ¿Y qué me decías que empezó hace 700 años? Siendo que el interglaciar es una etapa cálida debió ser un enfriamiento.*

— Efectivamente: la Pequeña Edad de Hielo. — Al mismo tiempo que decía esto pensaba “otra carnada que no va a despreciar”.

— *¿Es un chiste? Me corregís porque uso “Edad de Hielo” y ahora me venís con una edad de hielo pequeña.*

— Pero se llama así porque duró relativamente poco, es un término informal que se extendió en el uso. El primero que lo aplicó fue un geólogo holandés, François Matthes, pero con un sentido algo distinto. Ahora se usa para denominar al enfriamiento que empezó en el Siglo XIV y terminó a mediados del XIX.

— *¿Quinientos años, profe? Casi nada por lo que estuvimos viendo hasta ahora.*

— Efectivamente, y en realidad duró unos 540 años, empezó hacia el año 1310 y terminó cerca de 1850. Fue uno de esos pequeños ciclos dentro de ciclos mayores con una tendencia distinta.

— *Como en el que estamos ahora.*

— No ahora seguimos en una etapa de calentamiento interglaciar más o menos “normal”, si no fuera por las emisiones de gases de la industria.

— *Yo digo en el tren. Nuestro ciclo hasta La Plata está interrumpido por un cambio abrupto e inesperado: paramos entre estaciones. El zigzag de marcha y detenimiento se alteró por una parada donde debió haber movimiento. Si retomamos el viaje habrá sido un ciclo menor dentro de uno mayor.*

— ¡Ja! Buena analogía Guiducci. Espero que dure poco, en términos de un viaje en tren, no de procesos geológicos.

— *Entonces ¿la Pequeña Edad de Hielo fue una glaciación breve? ¿Se congeló todo de modo muy rápido? Me hace recordar a la película “El Día Después de Mañana”.*

— Parece que usted tiene una fijación con las películas. A veces el cine de ficción tiene algunos aciertos científicos o, sus yerros, sirven para debatir un

poco sobre la ciencia. Pero esta película es de las que tiene peores conceptos científicos. Fíjese: el error principal es que si hay un enfriamiento glaciario no puede haber un aumento del nivel del mar que inunde Nueva York, sino todo lo contrario porque justamente la formación de hielo influye en el menor volumen de agua en el océano. Para que ocurra una inundación como la que deja a semejante ciudad bajo el agua en minutos debe haber un calentamiento que derrita, también en minutos, todo el Polo Norte, Groenlandia, la mayoría de la Antártida y los glaciares continentales: eso es un disparate.

Sagredo se molestaba con cada traspié de la película que criticaba, cada error grosero realmente lo alteraba porque no podía comprender por qué los guionistas no se asesoran aunque sea mínimamente. Si también es posible, pensaba, hacer una película ajustando los márgenes de ficción para que la trama científica sea más creíble.

— Además — continuó, hablando cada vez más rápido — está el tema de la velocidad de la glaciación que se muestra en ese film, es imposible que en unas horas se enfríe así el planeta o que las personas se congelen como estatuas entre una respiración y otra. Y en la trama es doblemente absurdo que el origen del congelamiento sea ¡un huracán producido en el Ártico! — Hizo una pausa porque se dio cuenta que había apretado los puños y levantado la voz — Los huracanes se generan y toman fuerza en zonas cálidas, normalmente la superficie del mar, y suelen perder fuerza en el continente. Lo que muestra esa historia es justamente lo contrario. Parece a propósito.

— Claro, profe, mucho no me cerraba una glaciación con un aumento del nivel del mar y, encima, tipo maremoto. ¿Pero... entonces si esa glaciación de la Pequeña Edad de Hielo fue breve también comenzó rápido? — Expresó, para volver a la pregunta inicial mientras el tren retomaba su marcha.

— No debe pensar este proceso como una glaciación en sentido estricto, como la última del Pleistoceno por ejemplo, sino como un período anormalmente frío. Y que haya sido breve no implica que haya comenzado rápido. Fue un fenómeno que afectó a todo el planeta, pero de modo muy diverso, el clima no era igual en todos lados o al mismo tiempo. En algunas zonas de Europa hacía mucho frío cuando en otras hacía calor. En el Hemisferio Norte abundaban las lluvias y en el Sur las sequías. Aunque los glaciares continentales avanzaron durante la Pequeña Edad de Hielo no se generaron grandes placas de hielos continentales. Este período se caracterizó, principalmente, por una alta inestabilidad, hubo muchas sucesiones cortas de frío y de calor, con una preponderancia del frío, en un contexto de clima impredecible. Además, hubo tres momentos en que se registraron picos pronunciados de frío. A pesar de toda esta situación, que fue muy sufrida por quienes la vivieron, el promedio de la disminución de la temperatura a nivel global fue de 1 grado.

Bernal

Vikingos acalorados

Mientras se detenía la formación Sagredo no pudo evitar mirar hacia afuera sorprendido.

— ¿Estamos en Bernal? ¿Pero que le hicieron a esta estación?

— *Hace unos años que la vistieron un poco, profe, quedó como un collage de lo antiguo y lo moderno.* — Sin entender el asombro de Sagredo, Mario volvió al tema. — *¿Entonces la Pequeña Edad de Hielo no empezó abruptamente?*

— El comienzo de este proceso se verificó en Groenlandia porque, por su ubicación, es muy sensible a los cambios de temperatura, funciona como una señal de alarma. Cuando el mar se congela más tiempo del que se considera normal y avanzan los bloques de hielo anuncia que se aproxima un período frío. Y los que primero se dieron cuenta fueron los que colonizaron esa gran isla y el Norte de lo que hoy es Canadá: los vikingos.

— *¡Los vikingos! Me los imagino navegando con sus cascos de cuernos conquistando territorios con esas espadas enormes...*

— ¡Pare Mario! Deje de confundir las películas con la historia. Los vikingos nunca usaron cascos con cuernos, eran lisos, y los que fueron a Canadá más que espadas llevaban herramientas de labranza, arpones y redes: eran agricultores y pescadores.

El que inició esos viajes fue Erik Thorvaldsson, más conocido como Erik El Rojo, a fines del Siglo X. Hacía más de cien años que los nórdicos estaban habitando Islandia, y Erik se animó a navegar hacia el Oeste.

Mientras el tren retomaba su marcha Mario lo escuchaba y trataba de evitar, sin lograrlo, que el relato no se transformara en imágenes de una película de aventuras en su mente.

— *Entonces... este Erik era un explorador que buscaba nuevas tierras.* — Afirmó buscando la aprobación de Sagredo.

— No tanto, si bien fue un aventurero tenaz hizo el viaje porque lo echaron de Islandia. Parece que era un tipo pendenciero y lo desterraron por tres años. Como ya había tenido problemas similares en Noruega, navegó hacia los mares desconocidos del Oeste.

Así fue que descubrió una gran isla a la que nombró Groenlandia e inició un asentamiento con muchas familias que lo acompañaron.

Unos años más tarde un tal Bjarni Herjolfsson se perdió en el mar yen-

do hacia Groenlandia y encontró las costas orientales de Canadá, pero no desembarcó. El que sí lo hizo un tiempo después fue Leif Eriksson, el hijo de Erik El Rojo. Llegó al Norte de Terranova, la llamó Vinlandia y fundó una colonia. Actualmente esos asentamientos vikingos se conocen por los restos arqueológicos.

— *Pará profe. ¿En qué época ocurrió todo eso?*

— Ya le dije que “profe” no: profesor. Y también que esto fue a fines del Siglo X, habrán sido los años novecientos ochenta y pico.

— *Entonces si llegaron a Groenlandia y Terranova ¡Colón no descubrió América! Fueron los vikingos.*

— América la “descubrieron” los pueblos del noreste de Asia hace más de diez mil años. Pero los primeros europeos en llegar, efectivamente, fueron los vikingos y 500 años antes que Colón.

— *¡Já! Habría que cambiar los nombres de las avenidas, tendrían que llamarse Avenida Bjarni Herjolfsson ¿Te imaginás? No podríamos pronunciarlo. Y las plazas lo mismo: Plaza Leif Eriksson. En vez de Teatro Colón: Teatro Eric El Rojo. Y el 12 de Octubre...*

— No se disperse, Mario, que la historia no terminó bien. Regresemos a la Pequeña Edad de Hielo.

— *Sí, claro... Pero justamente me dijiste que empezó en el Siglo XIV, aunque tu relato es del Siglo X, te dispersaste cuatro siglos. Además si podían navegar tan al Norte entre Groenlandia y Canadá mucho hielo no habría ¿Qué tiene que ver la Pequeña Edad de Hielo con los vikingos?*

— Mucho. A veces hay que irse un poco atrás en el tiempo para comprender la intensidad de un cambio, se necesita algo para comparar. Durante el Siglo X el planeta estaba pasando por un período particularmente cálido, que a veces se lo denomina anomalía climática, uno de esos picos hacia arriba del zigzag.

— *¿Otro período con nombre propio?*

— Sí, lo llamaron Óptimo Climático Medieval o Período Cálido Medieval. Justamente por eso no había grandes masas de hielo hacia el noroeste de Europa, los inviernos poco fríos no llegaban a acumular nieve que se solidificara. De este modo Islandia fue habitable con una agricultura de subsistencia y pudieron colonizar con éxito Groenlandia “la tierra verde”. En realidad en Groenlandia solo pudieron instalarse en una franja de su lado Oeste, porque el resto era un bloque de hielo, como ahora. Y por lo mismo se entusiasmaron

con Vinlandia, que era un territorio más prometedor, de hecho fue llamada así por las vides silvestres y los bosques. Podían navegar con barcos pequeños, los famosos Drakkar, entre Groenlandia y Canadá pero no sin problemas con el hielo.

Sagredo frunció el ceño y prosiguió:

— Pero todo cambió unos siglos después. El frío se comenzó a manifestar junto a veranos muy lluviosos, ventosos y un clima muy variable. El hielo avanzaba aún durante el verano, el mar se congelaba, las cosechas comenzaron a perderse y se les dificultó hallar bacalao en los mismos lugares de antes. Además del clima, hacía tiempo que los indígenas de Canadá les hicieron saber que no los querían cerca y llegaron a combatir por los recursos. En síntesis, les cambió el mundo y la vida se les hizo muy dura.

Para mediados del Siglo XIV, seguramente mucho antes, ya habían abandonado Groenlandia. Las investigaciones arqueológicas dieron a conocer varios grupos habitacionales de granjeros vikingos cuyos últimos pobladores se habían comido hasta las vacas lecheras y los perros.

— *La pasaron mal.*

— Sí, sus últimos años en las tierras del Oeste fueron difíciles. El clima los debió complicar mucho. Tenga en cuenta el cambio que se venía: fríos prolongados, avance de hielos continentales y marítimos, menos pesca, grandes variaciones en la altura del nivel del mar...

— *Empezó la Pequeña Edad de Hielo.* — Completó Mario coincidiendo con la entrada del tren a Quilmes.

Quilmes

Comienza el frío

— *Así se sintió el inicio de la Pequeña Edad de Hielo en el Atlántico norte ¿Y en el resto de Europa?*

— Lo sintió la gente “en carne propia”. El año clave fue 1315, con un frío intenso y el clima muy variable. Las lluvias fueron muy abundantes y por primera vez se congeló el río Támesis en su paso por Londres.

— *¿El Támesis congelado?*

— Sí, algunos lo aprovecharon para jugar con deslizadores primitivos y hasta organizaron mercados y ferias de entretenimiento sobre el río de hielo. Pero los más desprotegidos lo sufrieron. De todos modos, como le dije antes, du-

rante este período si bien prevaleció el frío, se caracterizó por la inestabilidad. De hecho algunos años fueron cálidos.

— *Bueno, por lo menos tenían un veranito cada tanto.*

— Tampoco era para alegrarse porque esas variaciones tan pronunciadas generaban pérdidas de cosechas y mayor impacto de diversas enfermedades sobre todo cuando coincidía con períodos de humedad alta. En cada cambio los campesinos debieron adaptar sus siembras y las técnicas de labranza, en una época que precisamente no se caracterizaba por romper con las tradiciones. Estaban acostumbrados que los hijos hicieran lo mismo que sus padres que, a su vez, imitaban a sus abuelos. Por ello, ante el cambio de cualquier tipo, en lugar de adecuar sus costumbres toda la sociedad prefería hacer rituales y buscar una solución sobrenatural para que todo vuelva a la “normalidad”. Lo peor fue que hubo ciclos de bajas temperaturas y lluvias abundantes que duraron hasta 10 años seguidos.

Sagredo dio una inspiración profunda como para pensar, al mismo tiempo que trataba de hacerse una imagen mental del escenario para transmitir mejor la idea.

— Como le decía, 1315 fue un año terrible, en Europa llovió durante meses casi sin parar. Recuerde que estamos hablando de fines de la Edad Media, la gente no estaba educada, prevalecía el pensamiento mágico, las diferencias entre la nobleza y el campesinado eran enormes. Además, dependían casi exclusivamente de una agricultura muy primitiva, no existía la medicina, ni la educación pública, ni se había explorado todo el planeta. De hecho la jerarquía religiosa imponía la idea que éramos el centro del universo. Para la revolución copernicana y los libros de Galileo, fundacionales de la ciencia, todavía faltaban más de 200 años. En este contexto una lluvia de cuatro meses era tomada como el fin del mundo. Los animales de consumo también murieron y la pérdida de cosechas y de campos sembrados fue total, así que no había qué comer. Los pobres, que cada vez eran más, comían ratas, animales podridos y hasta pastaban como si fueran vacas. La mortandad fue enorme en los años siguientes.

Mario comprendió el paisaje asolador generado por el relato de Sagredo.

— *Evidentemente el clima determinaba la vida de las personas, la historia estaba condicionada...*

— No se apure — Interrumpió Sagredo que ya sabía hacia dónde apuntaba su nuevo alumno — En ese contexto el clima afecta profundamente a las sociedades, sobre todo a aquellas que estaban poco tecnificadas y practicaban una agricultura que era apenas algo más que de subsistencia. Pero la historia, la vida de la gente, no está determinada por el clima, aún en aquella época

las decisiones de las personas eran vitales para que una sociedad prospere o se extinga.

Un ejemplo claro de la influencia de las decisiones del Hombre para controlar su vida, a pesar del clima, la podemos encontrar en dos momentos críticos de Irlanda durante la Pequeña Edad de Hielo. El rigor del clima de 1740, caracterizado por un frío intenso, causó la muerte de la mayoría del ganado y arruinó profundamente las cosechas. Esto afectó a las poblaciones más vulnerables del Sur y del Oeste del país: el hambre no se hizo esperar y la gente comenzó a enfermarse y a morir. El gobierno tomó medidas para paliar la situación: impidió la exportación de cereales, envió comida y obligó a los hacendados a alimentar a los pobres. Con estas medidas se evitaron decenas de miles de muertes causadas por el frío.

Cien años después, una peste causada por un hongo barrió en pocas semanas con toda la cosecha de papas, que era la base de la alimentación del país. Pero la situación había cambiado, Irlanda ya había sido anexada a Gran Bretaña y las decisiones se tomaban desde Londres. El nuevo gobierno central decidió dejar la situación en manos del libre mercado y sin socorrer a los afectados. De hecho, exportó la mayoría de lo que se pudo rescatar de Irlanda, y la ayuda enviada fueron soldados armados para proteger la mercancía a exportar. La consecuencia fue una hambruna que le costó la vida a más de un millón de personas.

Como ve Mario, el clima propone pero el Hombre dispone. El determinismo ambiental es una ilusión.

Mientras decía esto con el rabillo del ojo pudo ver el viejo cartel de hormigón negro de letras blancas que decía: Ezpeleta.

Capítulo 3

¿CÓMO LO SABEMOS?



Ezpeleta

El registro del clima

— *Volviendo al inicio de la Pequeña Edad de Hielo, supongo que, a pesar del desarrollo de la época, también se dieron cuenta que se les venía el frío porque ya tendrían registros de temperatura ambiente.*

Sagredo esperó para continuar, mientras arrancaba el tren y se alejaba del ruido de la estación.

— En el Siglo XIV ya existían los termómetros, pero no eran de uso común sino más bien rarezas, de hecho no existía algo como el pronóstico del clima. En esa época la Iglesia tenía una fuerte influencia en la sociedad y para ellos el universo era fijo, nada debía cambiar, todo debía considerarse inmutable desde la creación y obviamente eso también incluía al clima. Por ello nadie registraba las condiciones climáticas. A lo sumo la gente miraba el cielo, o había adquirido algún conocimiento inductivo a partir del comportamiento de los animales...

— *¡Claro! Como en el tsunami del 2004 en Indonesia, todos los animales lo percibieron antes y se salvaron yéndose de esa zona, si la gente se hubiera fijado en eso se habrían salvado miles de vidas.*

— ¡Ah, sí! los animales clarividentes. ¿Y cómo me explica que durante la remoción de escombros hallaron cientos de cadáveres de vacas, perros, caballos, delfines, peces, ovejas...?

Mario se dio cuenta que Sagredo quería hacerlo reflexionar, se quedó pensativo unos segundos y confesó:

— *Porque no seguí las noticias posteriores al tsunami y me creí el sensacionalismo previo.*

El profesor solo respondió con una leve sonrisa.

— *¿Pero... entonces profe... cómo sabemos cómo fue el clima durante la Pequeña Edad de Hielo? ¿Solo por los relatos históricos?*

— Los documentos y las crónicas tienen mucha información y pueden ser reveladores, pero no siempre son muy confiables. Uno de los motivos es que nadie se dedicaba a escribir ni a estudiar el clima. Algunos registros, en general diarios personales, muestran que hasta finales del Siglo XVI, por ejemplo, los agricultores planificaban sus labores basados en mitos, creencias sin fundamentos, supersticiones o la costumbre. Raramente buscaban algún motivo aunque sea cercano al conocimiento validado. Y reaccionaban igual con las catástrofes naturales como una lluvia prolongada o un terremoto. La percepción de un cambio en el clima habitualmente era considerado como un mensaje divino, en general como castigos por haber pecado. Por ello, las acciones para volver a “la normalidad” también estaban basadas sobre lo mágico: procesiones, flagelaciones, rezos o, incluso, sacrificios humanos, como el caso de la quema de brujas. Curiosamente hay una cierta coincidencia entre las etapas más extremas del clima de la Pequeña Edad de Hielo y los “juicios” y asesinatos de las mujeres condenadas por hechicería.

Y no crea que actualmente hemos dejado esos atavismos, por ejemplo hay muchos que esperan la luna llena para sembrar o hacen procesiones para atraer buenas cosechas. Pero, afortunadamente, ese no es el comportamiento que prevalece. Lo importante es que las interpretaciones directas del clima de la Edad Media basada en documentos es poco confiable debido, precisamente, a la escasa comprensión de la naturaleza de la época y por el condimento mágico.

— *Bien, pero finalmente ¿hay documentos que se hayan usado para interpretar los efectos de la Pequeña Edad de Hielo?*

— Sí. Hay de dos tipos: escritos que hacen una referencia directa al clima y documentos a partir de los cuales se puede inferir este período frío.

Los del primer tipo son crónicas, diarios personales y documentos oficiales. En Europa este tipo de fuentes son numerosas. Algunas fuentes son muy detalladas, principalmente las que hablan de crisis de alimentos que terminaron en hambrunas y muertes masivas. Recién hacia la segunda mitad del Siglo XVIII se cuenta con medidas directas de la temperatura, de modo que se puede confiar más en la percepción del clima.

Las fuentes indirectas también son numerosas, aunque es más difícil su interpretación. Por ejemplo las bitácoras de los barcos, o los diarios donde los pescadores asentaban cómo se trasladaban los cardúmenes a lo largo del tiempo. Las referencias a las zonas de pesca de bacalao resultaron cruciales, ya que la distribución de este pez está fuertemente determinada por la temperatura.

Aunque es de aguas frías su metabolismo no soporta temperaturas menores a 2 °C. La disminución de la pesca del bacalao en los alrededores de Islandia entre 1600 y 1830 resultó un dato revelador porque coincide con un período muy frío de la Pequeña Edad de Hielo.

Con las vides ocurre algo similar. Como se trata de un producto comercial muy importante el registro de cosechas buenas o malas fue bastante minucioso, lo mismo que la desaparición de viñedos en determinadas áreas donde prosperaron durante el período cálido. Una situación parecida puede seguirse con el precio de los granos. Los años particularmente lluviosos y fríos que arruinaron las cosechas quedaron registrados por la escasez del producto y el aumento considerable de sus precios.

Don Bosco

Conocer o creer

La ilusión de la pérdida de velocidad de las columnas del tendido eléctrico indicaba que estaban llegando a la nueva estación.

— *Claro, supongo que estudiar esos documentos debe complicar que los historiadores se pongan de acuerdo.*

— *¿A qué se refiere con ponerse de acuerdo?*

— *A llegar a un consenso sobre determinado tema.* — Respondió Mario levantando las cejas y gesticulando convencido que se trataba de algo evidente.

— *¡Ah! El consenso. Parece que usted estuvo leyendo a quienes promueven que la ciencia debe estar gobernada por el Pensamiento Débil.*

— *Bueno... hay muchos filósofos que plantean que se debe buscar un consenso de opiniones sobre cómo se comporta cierto fenómeno.*

— *¿Filósofos? Los consensualistas son haraganes que no quieren hacer el esfuerzo de investigar, analizar ni estudiar. Usted no tiene idea la lucha que debimos dar contra el posmodernismo en nuestra facultad en la década de 1980. Sus propuestas buscaban destruir la construcción de conocimiento, en última instancia lo que pretendían era detener las investigaciones. Los posmodernos proponen el olvido de la razón.*

En la práctica científica “consenso” significa que varios investigadores de modo independiente lograron resultados parecidos sobre cierto fenómeno. Pero los “consensualistas” posmodernos llegan al extremo de afirmar que el conocimiento no consiste en hallar un nexo de correspondencia entre nuestras ideas y la realidad. Plantean que no debemos contrastar nuestras teorías

con algo externo a ellas que permita refutarlas o validarlas. Solamente pretenden que los científicos deben ponerse de acuerdo sobre cómo se comporta cierto fenómeno, en lugar de estudiarlo a través de la experimentación.

¿Se imagina, Mario, si investigaran así los que desarrollan vacunas? ¿O los que construyen puentes o edificios? Siguiendo estas propuestas podría llegar el día que los médicos se “pongan de acuerdo” en que la anestesia no sirve. En realidad el “consensualismo” se niega a sí mismo ya que entre los científicos no hay “consenso” de que el conocimiento se adquiere por consenso. Además, si se pone a estudiar un poco se da cuenta que pocos posmodernos son originales, de hecho estas “ideas” de consensos son copiadas de Nietzsche para quién la razón es una facultad subalterna y acomodaticia.

Uno de los extremos de esta corriente posmoderna, es la que plantea que la realidad no existe y que por lo tanto no puede haber conocimiento objetivo. En consecuencia, la ciencia se transformaría en una mera práctica de emitir opiniones...

— *Pero... profe, está bien que todos opinen, es democrático, todas las opiniones son válidas.*

— No se confunda Guiducci: lo democrático es que todos opinen y eso está bien. Pero no todas las opiniones son válidas. Si fuera así, sería válido lo que es y lo que no es a la vez. Por ejemplo, serían verdaderos los enunciados de una tarjeta que de un lado dice “lo que dice atrás es falso” y que del otro dice “lo que dice atrás es verdadero”. Pero eso, en realidad, es una contradicción, por más consenso que se le oponga. Si usted quiere estudiar una ciencia como la geología no va a tener que recurrir a opiniones o consensos, sino a estudio puro y duro. Sus hipótesis las tendrá que contrastar con evidencia para poder saber si tienen algo que ver con la naturaleza.

— *De todos modos se plantean muchas otras maneras de acceder al conocimiento, como el de las culturas milenarias o el saber ancestral.*

— Mario, las culturas son todas respetables y cada una tiene su valor que la hace resaltar. Sin embargo, justamente lo ancestral no es sinónimo de conocimiento confiable, lo viejo no es garantía de calidad. Claro que muchas ideas fundamentales de nuestra cultura provienen de lo antiguo, como el concepto de cero, la protección de los niños, la cocción de los alimentos, entre otros que de tan fundamentales a veces ni nos damos cuenta de su importancia. Sin embargo el conocimiento se caracteriza por su permanente e interminable reformulación. Antigüamente... digamos... antes de la Pequeña Edad de Hielo, las afirmaciones acerca de la naturaleza o de la sociedad se valoraban dependiendo de quién las decía, es decir: la autoridad. Otras veces los enunciados se aceptaban porque provenían de una revelación mística, porque era

una idea tradicional o, sencillamente, se basaban en quién tenía el cañón más grande. ¿A usted le parece que las ideas construidas así las debamos sostener solo por ser antiguas?

Coincidiendo con los tiempos de gran parte de la Pequeña Edad de Hielo, se consolidó uno de los más grandes inventos de la humanidad, que ya había sido esbozado anteriormente: la aplicación de experimentos concretos combinados con razonamientos adecuados que permitieran la contrastación de las afirmaciones. La regla era que el experimento pudiera ser repetible por otros investigadores. La consolidación de esta idea llevó a una revolución que alteró para siempre el modo en que interpretamos nuestro entorno. Sobre todo en aquellos primeros tiempos que se comenzaron a poner a prueba las afirmaciones de los viejos sabios del pasado, los portadores del “conocimiento milenario”. Este atrevimiento les costó la vida a pensadores como Giordano Bruno o Roger Bacon y la reclusión a Galileo Galilei, porque cuestionaban las ideas establecidas, muchas de las cuales eran el justificativo de someter a los demás o de dejarse someter.

— *¿Entonces el conocimiento a través de los mitos y las leyendas también es una ilusión?*

— Los mitos y las leyendas nos enseñan acerca de la cultura popular de un lugar. Como toda producción literaria de autor conocido o de construcción colectiva anónima, esas fuentes no reflejan necesariamente cómo es el mundo. Si fuera así los dragones, el mal de ojo, la Tierra plana, el lobizón, la culebrilla, las brujas o el Yeti serían reales, existirían independientemente que lo creamos o no.

La confusión de los mitos y las leyendas como reflejo de la realidad proviene, en tiempos recientes, otra vez, de los autores posmodernos. Por ejemplo Paul Feyerabend sostenía que para comprender, digamos... el movimiento de un cuerpo en el vacío, es lo mismo la física que un cuento de aventuras elegido al azar. Porque para muchos irracionalistas lo importante no es el contenido, el significado, sino el relato, la forma. De este modo se plantea lo que se llama “anarquismo científico” donde todo vale, desde pensar y analizar hasta fantasear. El problema de este movimiento es que, como no todo vale, nunca logró ni un medicamento, un procedimiento, conocimiento básico o un producto tecnológico ni otra cosa útil para la humanidad. Parafraseando al célebre científico Max Planck cuando expresó que “La ciencia es la progresiva aproximación del Hombre al mundo real” podemos afirmar que el posmodernismo es la progresiva aproximación del Hombre a un mundo de fantasía.

— *Entiendo profe. Además seguramente esas propuestas deben ser más fáciles de practicar.*

— Justamente, y son más fáciles porque no requieren estudiar, ni adquirir el dominio de técnicas complejas, ni hacer experimentos, ni usar equipamiento, ni ir al campo a buscar muestras, ni procesarlas, ni estudiarlas, ni contrastar los resultados con conocimientos previos, ni actualizarse todo el tiempo con lo que investigan otros. Solo alcanza con sentarse a escribir lo que se le ocurra sobre cualquier cosa. Lo absurdo de considerar conocimiento a lo que surge de esto ya lo planteó claramente Christopher Hitchens: “lo que puede ser afirmado sin pruebas, puede ser descartado sin pruebas”. Es como escribir en el agua.

Por eso es tan importante opinar con fundamento. El fundamento es justamente lo que sostiene a nuestra idea y la pone en armonía con el fenómeno que se pretende explicar. Si no, usted dice una cosa y en la naturaleza ocurre otra. Y la contrastación experimental es lo mejor que tenemos para proponer un fundamento, y para corregir los errores. Alguien dijo una vez que conocimiento científico es la mejor hipótesis que tenemos para explicar algo, hasta que la reemplazamos por otra mejor. Eso lo sabemos desde hace mucho, pero el que lo expuso más claramente en la antigüedad fue Galileo Galilei en “El Ensayador”. En ese libro se puede reconocer el nacimiento de la ciencia moderna.

Mario se acomodó en la dura butaca del tren mientras ya se detenían en Berazategui, y reconoció:

— *Sí. Galileo. Tenía muy buenos estudiantes.*

— Y mejores amigos. — Agregó Sagredo, y ambos se miraron por un instante con un silencio cómplice.

Berazategui

Conservado en el hielo

Todavía con el cuaderno de su alumno en la mano el profesor continuó describiendo las evidencias que usaban los geólogos, paleontólogos y arqueólogos para poder conocer cómo fue el clima de la Pequeña Edad de Hielo.

— Si bien con los documentos de esa época no alcanza para conocer el clima hay muchísimas fuentes objetivas de información, algunas de las cuales son realmente asombrosas. Pero... ¿Cuál sería el primer lugar dónde usted iría a buscar información de la Pequeña Edad de Hielo?

Mario se quedó pensativo unos instantes queriendo responder correctamente al mismo tiempo que sospechaba que Sagredo le estaba haciendo una pregunta obvia.

— *¡En el hielo!* — Contestó lo más firme y seguro que pudo — *Supongo que en el de Groenlandia, o en los polos y en hielos continentales, por ejemplo los que están en los Alpes o en los Andes.*

— ¡Muy bien! ¿Y qué buscaría?

— *Eso sí que no lo sé, porque el hielo es pura agua, no tiene nada. Es todo lo mismo de principio a fin.*

— Eso parece, pero no es así. El hielo glaciar funciona como una cajita que guarda muchos secretos. El hielo tiene historias escondidas, y la llave para entrar en esa cajita está en el modo en cómo nos hacemos preguntas. Los glaciares nos plantean desafíos, acertijos para que nos pongamos a pensar acerca del pasado.

Lo principal del hielo glaciar es agua, como bien dijo usted, sin embargo es más complejo de lo que parece. Lo primero que debe considerar es la distribución irregular del hielo en el planeta, es decir, no todos los hielos son iguales. Fíjese, la mayoría de los hielos continentales están en la Antártida, más o menos un 85%, los cuales además son muy espesos: llegan casi a 5 kilómetros de profundidad máxima. Si se derrite todo ese continente el nivel del mar aumentaría unos 60 metros. Groenlandia solo tiene un 10 % del hielo continental y aproximadamente un 5% es lo que ocupan los otros glaciares.

— *¿Y el Ártico?*

— Se trata de hielo flotante, es decir no continental, y tiene unos pocos metros de espesor promedio. En cambios relativamente rápidos como los de la Pequeña Edad de Hielo las variaciones de las banquisas y los comportamientos de los glaciares continentales dan mucha información porque son las áreas más sensibles.

— *¿Banquisas?*

— Es el hielo oceánico flotante que se puede desprender o fundir en verano. Por ejemplo en la Antártida la diferencia entre la banquisa de invierno y la de verano es de unos 16 millones de kilómetros cuadrados. Y en el Ártico de unos 9 millones.

Le decía que las banquisas y los glaciares son muy sensibles, como usted sabe, los glaciares se mueven. Hacia delante “comiendo” el territorio y triturando al paisaje cuando prevalece el frío, y hacia atrás cuando aumenta la temperatura. Por ejemplo, hacia el final de la Pequeña Edad de Hielo estos glaciares llegaron a las posiciones más avanzadas de los últimos mil años.

— *¿Por eso es que cuando retroceden los glaciares quedan esculpidos los valles glaciares?*

— Efectivamente, y a veces se generan grandes lagos encadenados. Pero, aparte de cómo se mueve el hielo es muy revelador lo que tiene, además del agua. Un método para conocer este período frío consiste en analizar los bloques de hielo de Groenlandia y de la Antártida. Hay equipos de investigación que hacen perforaciones y sacan muestras a modo de cilindros de hielo que luego se preservan en laboratorios con temperaturas bajo cero. Esos tubos se cortan longitudinalmente y, vistos a trasluz, se puede apreciar que el hielo no es homogéneo sino que tiene capas. Esas capas se corresponden con las variaciones estacionales de cada año. Los glaciólogos han logrado diferenciar las características de la nieve de invierno y de la de verano a través de su compactación y de otras características más complejas. Cada vez que se deposita una de esas capas se generan espacios muy pequeños, poros, que contienen aire. Y ese aire se puede analizar, es como una cápsula del pasado. Por ejemplo, un componente que se estudia es la cantidad de metano atmosférico.

— *¿Metano en el aire? ¿No es un gas inflamable?* - Preguntó sorprendido.

— Sí, es un gas muy simple, su molécula tiene apenas un carbono y cuatro hidrógenos. Y sí, es inflamable pero no se preocupe, no va a explotar mientras fuma porque está en el aire pero en muy pequeñas proporciones. Lo interesante es que se comporta como un buen indicador de temperaturas, por ejemplo durante el Dryas Temprano (ese último pulso muy frío de la última glaciación) el metano atmosférico tuvo una caída abrupta a casi 0,5 moléculas por cada millón de moléculas de aire. Luego durante el calentamiento subió casi a 0,8 y, durante la Pequeña Edad de Hielo bajó a menos de 0,7. Lo sugestivo es que ese patrón se pudo contrastar tanto en hielos de Groenlandia como de la Antártida, es decir la Pequeña Edad de Hielo fue un fenómeno que afectó a todo el planeta.

— *¿Y esos cilindros de hielo son muy profundos?*

— Sí, el más importante de la Antártida, el de la estación meteorológica rusa Vostok, superó los 3.600 metros...

— *¿Un cilindro de hielo de tres kilómetros y medio!*

— Sí, Mario, pero se sacan en tramos de unos seis metros y se guardan en tiras de uno. Los testigos de hielo de la base científica Summit, en el centro de Groenlandia, llegaron a una profundidad de unos 3.000 metros y registran lo ocurrido durante unos 150.000 años. Mientras que la información de los núcleos de la Antártida supera los 400.000 años.

Lo importante es todo lo que podemos encontrar dentro del hielo, por ejemplo otras sustancias que nos informan de la caída de temperatura de la Pequeña Edad de Hielo son el oxígeno y el hidrógeno atrapado en el hielo... en

realidad las distintas versiones de esos átomos: los isótopos. Las versiones más comunes del oxígeno y del hidrógeno en la naturaleza son las más livianas: el Oxígeno 16 (^{16}O) es decir con 16 neutrones y el Hidrógeno sin neutrones (H). Pero también hay versiones pesadas (y menos frecuentes): el Oxígeno con 18 neutrones (^{18}O) y el Hidrógeno con un neutrón, al que se lo llama Deuterio.

La abundancia natural de ambos isótopos pesados disminuye con el frío porque depende de la temperatura de la atmósfera en la que se formó la nieve. Los testigos de hielo muestran una caída pronunciada en el contenido de ^{18}O y de Deuterio en las capas que se corresponden temporalmente con la Pequeña Edad de Hielo.

Mario sentía que se le abría un nuevo universo que jamás había imaginado que podía existir dentro de un bloque de hielo antiguo.

— *¿Y en el aire encerrado en los poros del hielo se pudo estudiar algo más?*

— Sí, mucho más. Si usted recuerda cuando pasamos por Villa Domingo le dibujé el gráfico de la variación de Dióxido de Carbono (CO_2) en el hielo de la Antártida a través de unos 400 mil años...

Antes que Sagredo atinara a buscar el cuaderno, Mario ya tenía la hoja con el gráfico a la vista.

— *Éste, sí. Acá me mostrabas la temperatura en los períodos glaciares e interglaciares.*

— No. Le mostraba a usted las variaciones en la concentración de CO_2 en la atmósfera inferido del CO_2 en el hielo.

Sagredo remarcó el “usted” pero sin esperanza que su nuevo alumno entendiera el mensaje.

— *¿Pero no me dijiste que indica la temperatura?*

— Sí, pero no “es” la temperatura, sino un fenómeno emergente, una consecuencia de la temperatura. De hecho, cuando hay un período de calentamiento el CO_2 que proviene del mar tarda algunos siglos en aumentar su concentración, pero luego potencia al fenómeno. Durante la Pequeña Edad de Hielo, a pesar que fue un cambio rápido, se pudo verificar una disminución pronunciada del CO_2 atmosférico. Hubo menos “efecto invernadero” natural.

— *¿Y se pueden conocer otros datos de los testigos de hielo de la Antártida y Groenlandia?*

— Sí, mucho. En el hielo, además de la temperatura y la composición del aire o del agua, hay información de la precipitación, del patrón de vientos y

de la actividad volcánica. Todo esto también se está estudiando en el hielo de glaciares de montaña de los Andes, de Tanzania y del Himalaya.

— *Entonces profe, el estudio en los hielos nos resuelve todo, sacamos uno de esos cilindros y ya podemos conocer el clima del pasado.*

— “Profe” no: profesor. Y tampoco lo tenemos todo resuelto. Esos datos son algunos que usamos para reconstruir el clima. Además tiene muchas complicaciones, primero el lugar de trabajo a temperaturas bajo cero. Las tareas de los científicos en la base Summit de Groenlandia son muy penosas también porque está a 3000 metros de altura. Todo eso hace que la tarea de perforación sea cara y difícil. Las muestras se contaminan por la broca, también el aire ingresa naturalmente a muchos metros de profundidad lo que embrolla los estudios. Por otro lado cuando la muestra es muy profunda las capas de hielo se compactan por el peso y son difíciles de identificar. No es fácil y las técnicas son muy complejas, tenga en cuenta que debe analizar, por ejemplo, la composición del aire atrapado en un poro del hielo. Por eso es importante comparar y complementar esta información con la proveniente de otras fuentes distintas.

— *¡Qué raro!*

— *¿Le parece raro? Lo quiero ver analizando un bloque de hielo...*

— *No, digo que es raro que en la estación Plátanos bajen tantos pasajeros, llegamos hace unos minutos.*

Plátanos

El clima adentro de los árboles

Sagredo se había ensimismado tratando de explicar cómo se analiza el hielo continental por lo que no se había percatado que habían llegado a la estación. Era algo que le ocurría ocasionalmente en sus clases cuando debía tratar un tema complejo que requería cierto esfuerzo por transmitir un concepto de algo que no era posible de experimentar en el aula. Más de una vez el docente de la clase siguiente lo había interrumpido para reclamarle el aula cuando el tema era el flujo de magma, la tectónica de placas o la formación del Río de La Plata.

— *Entonces, si los documentos brindan poca información precisa y con el hielo solamente no alcanza para saber lo que ocurrió con el clima de la Pequeña Edad de Hielo ¿qué otra fuente se puede usar?*

— *Piense Guiducci. ¿Qué haría usted?*

— Bueno... *la información debería estar en la naturaleza...*

— Va bien.

— *Podía ser la distribución de los animales, así que debería participar un paleontólogo. O las características de los estratos que forman el subsuelo, ya que las condiciones ambientales influyen en cómo se depositan los sedimentos, y allí interviene un geólogo.*

Mario hizo un gesto con la mano señalando al profesor y a sí mismo, mientras el tren retomaba el viaje con un inusual chirrido de sus ruedas.

— No se apure que a usted le falta para ser geólogo. ¿Y no se le ocurre estudiar las plantas?

— *Si, para estudiar fósiles de plantas, como el caso del polen de la florcita... esa de la tundra...*

— Dryas — completó Sagredo.

— *¡Esa! para cuando llegemos me voy a acordar el nombre. La distribución de las plantas es muy sensible a los cambios de clima y eso queda en el registro del polen.*

— Bien, pero hay un estudio específico de ciertas plantas que nos da mucha información, en este caso permite combinar datos del clima y del tiempo: la dendrocronología.

Sin comprender, Mario se quedó expectante mirando a Sagredo para que continué explicando a qué se refería.

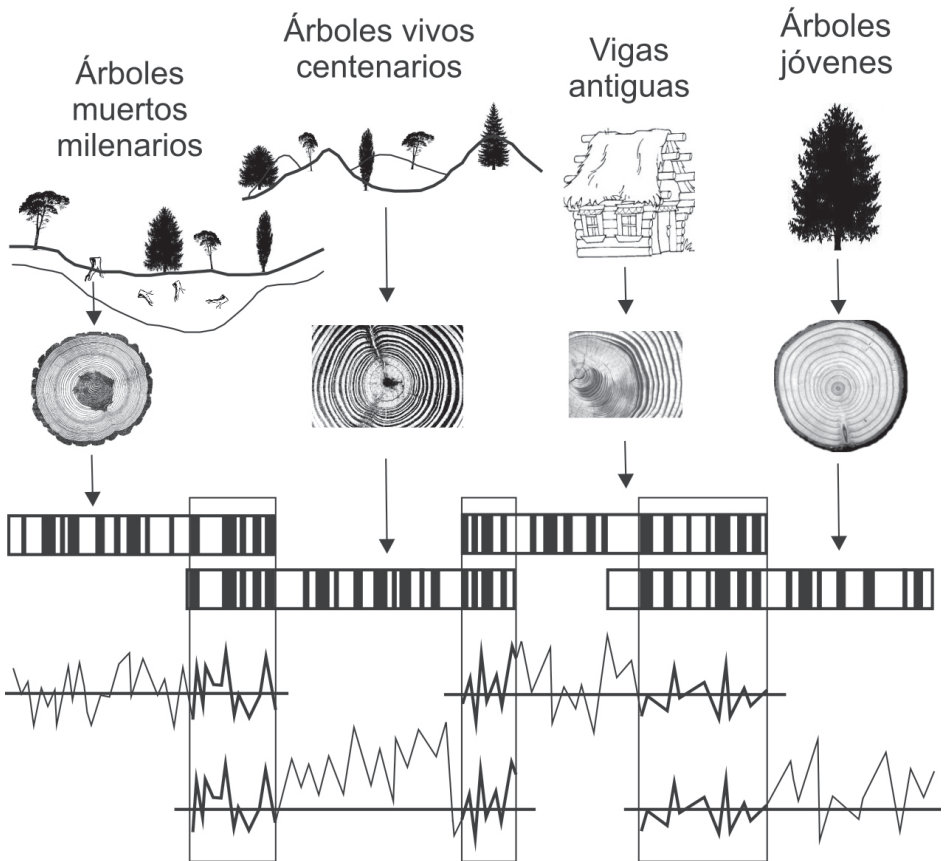
— La dendrocronología es un método que consiste en analizar la secuencia de los anillos de crecimiento de los árboles.

— *¡Ah, sí!* — Se apuró a acotar el alumno para salvar su desconcierto inicial

— *Contando los anillos del tronco ¿Pero eso no se aplica para saber cuán viejo es un árbol?*

— Sí, pero como ocurre con las muestras de hielo, hay mucha información dentro del tronco de un árbol. Y lo interesante es ingeniárselas para encontrarla e interpretarla. La cuestión temporal es muy importante sobre todo en las especies que tienen una diferencia bien clara entre el crecimiento de invierno y el de verano, porque la determinación de la fecha puede ser muy precisa. Y no se trata solo de contar los anillos concéntricos del tronco, se han desarrollado modelos estadísticos para establecer las edades.

— *De todos modos, no se puede ir muy atrás en el tiempo. Los árboles no viven mucho.* — Interrumpió Mario que deseaba hacer alguna acotación.



Los anillos de crecimiento de los árboles permiten determinar cambios climáticos. Con distintos tipos de árboles de una misma región se pueden reconstruir secuencias cronológicas largas con superposiciones parciales de anillos. El análisis de diversos isótopos y compuestos de los anillos aporta cronologías absolutas (C^{14}), la composición de la atmósfera (CO_2) y del agua del pasado (^{18}O , Deuterio).

— ¿No me diga? ¿Y cuánto cree que puede llegar a vivir un árbol de los que se pueden estudiar?

— *No sé... digamos...* — Mario se dio cuenta que se metió en un berenjenal opinando sin saber — *... doscientos o trescientos años.*

— Se quedó corto, usted insiste en opinar sin contrastar. Por ejemplo los alerces de la Patagonia han permitido el estudio de temperaturas de más de 3.600 años. Pero los más longevos son dos especies de pinos, los bristlecones, que crecen en California. Se caracterizan por generar mucha resina que protege al tronco y, por supuesto, por su crecimiento lento. Con estos pinos se han establecido cronologías de más de 7.000 años. Combinando la secuencia de los anillos con fechados de carbono 14, se ha podido determinar un año preciso del calendario. Es decir, en casos extraordinarios se puede afirmar que cierto anillo creció durante un año específico.

— *¡Siete mil años! De todos modos no entiendo qué relación hay entre la edad de un árbol, la secuencia de los anillos y el clima de la Pequeña Edad de Hielo.*

— Buena observación. Lo interesante de los anillos de crecimiento es que no crecen de modo regular, sino que su ancho depende de las condiciones climáticas. Algo parecido a las capas de nieve de verano y nieve de invierno en las muestras de hielo. Entonces, en cada estación los anillos tienen densidades diferentes porque años más fríos o más secos influyen en el ancho y desarrollo de los anillos.

— *¡Ah! Ya entiendo. Con la secuencia de anillos puedo determinar el clima y con los fechados de esos mismos anillos determino la época. Con un tronco resuelvo gran cantidad de información.*

— Efectivamente de eso se trata. Pero, lamentablemente, la cosa nunca es tan fácil. Con un solo tronco no puede hacer mucho, para lograr una secuencia cronológica larga se necesitan muchos árboles, los cuales no siempre se pueden cortar sino que se deben sacar muestras.

— *¿Una muestra sin cortar el árbol? ¿Y cómo?*

— Con un sacabocados, se introduce un dispositivo que contiene una mecha hueca y que perfora en posición horizontal. De esta técnica se obtiene un cilindro...

— *¡Como los de hielo!*

— Sí. Hasta se llaman igual en inglés “cores” y en castellano “testigos”, pero los de madera son más chicos, más o menos como un lápiz grande. La

necesidad de obtener muchas muestras complica la metodología, ya que se necesitan muchos árboles de una misma zona, y que hayan nacido en tiempos distintos pero ligeramente superpuestos. En zonas muy frías, donde se conserva la madera, se pueden usar árboles vivos y complementarlo con árboles muertos hace cientos de años que todavía están en pie y con otros que están caídos hace miles de años. De este modo, el fin de la secuencia de anillos de un árbol se corresponde con la del principio de otro, y así se van solapando árboles sucesivamente. Que un laboratorio de dendrocronología logre una secuencia más o menos larga, fechada y posible de ser analizada no es una tarea sencilla y lleva mucho tiempo y muchos investigadores. La idea es establecer la cronología individual de cada árbol estudiado, para luego obtener la sincronización de la sucesión de anillos anchos y anillos estrechos de los árboles del conjunto para conocer un período más o menos antiguo.

El resultado de estos análisis son gráficos en zigzag similares a los de las muestras de hielo que nos permiten inferir temperaturas o, al menos, variaciones entre temperaturas mayores y menores.

Sagredo volvió a tomar el cuaderno para dibujar un gráfico que solía mostrar en sus clases.

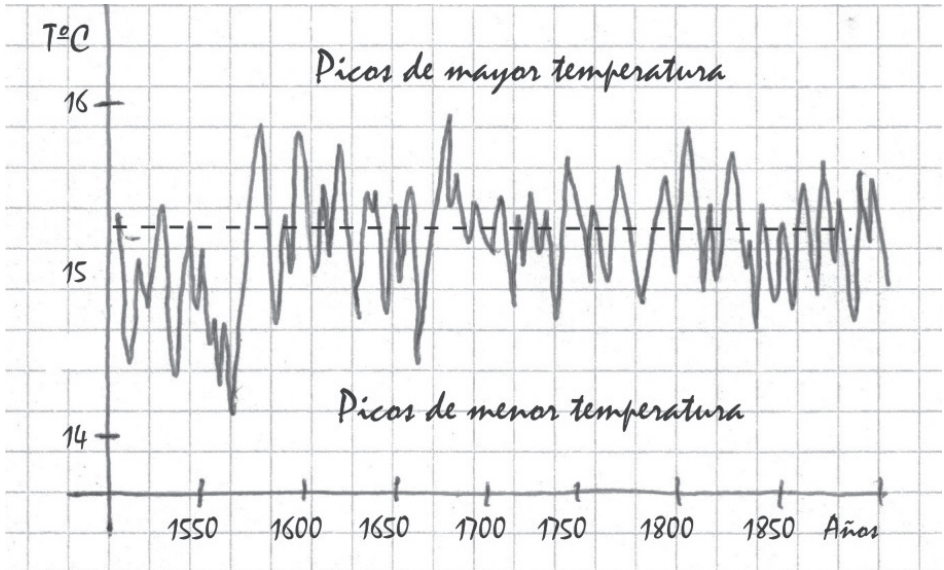
— Si recuerdo bien este sería un esquema de la dendrocronología del Norte de España. Fíjese como se detectan los períodos más fríos de la Pequeña Edad de Hielo, y como se nota claramente la sucesión de años cálidos intercalados. Además, como en el caso del hielo, los árboles guardan moléculas del pasado que nos informan del clima. ¿Se imagina cuáles?

— *Supongo que también deben ser variantes pesadas de átomos comunes, como el Oxígeno 18 y el Deuterio.*

— Justamente, los mismos que se estudian en los hielos y por el mismo motivo: las variantes (isótopos) de esos átomos en el agua dependen de la temperatura. En este caso el análisis de la relación entre Hidrógeno y Deuterio informa acerca del origen del agua que incorporó el árbol lo cual está relacionado con años secos o húmedos. Esto se debe a que en el agua absorbida desde las napas hay más cantidad de moléculas con ^{18}O (más pesado) que en el agua absorbida que proviene de la lluvia. Estos datos, además, se pueden complementar con los isótopos del átomo de carbono con 13 y 12 neutrones, ^{13}C y ^{12}C respectivamente.

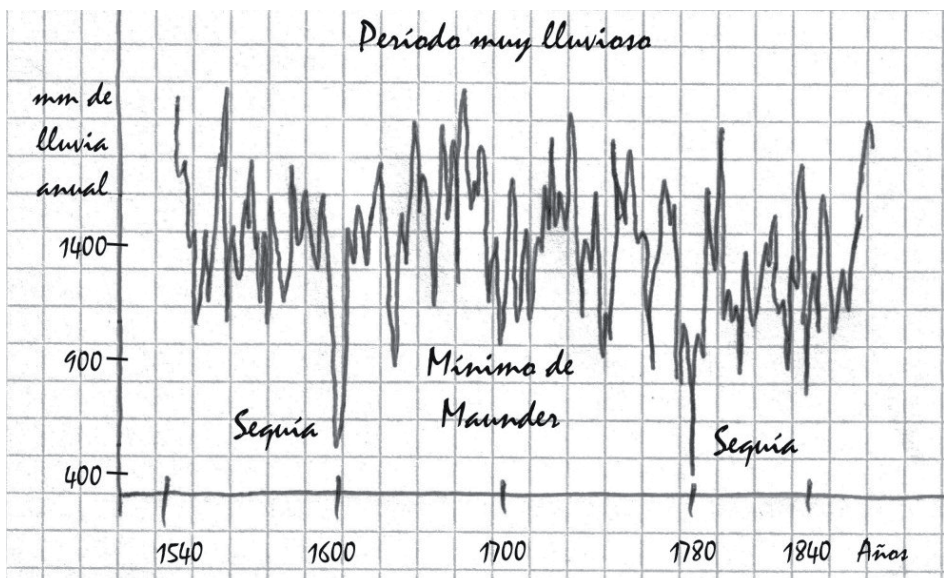
— *Entonces la dendrocronología no se refiere solo a la cronología, debería llamarse de otra manera.*

— Sí, recibe muchos nombres: dendroclimatología, dendrohidrología, dendrogeomorfología, etc. Pero el uso impuso dendrocronología para todas las



variantes porque el análisis del tiempo siempre está incluido, incluso en el estudio de los dendro isótopos. Volviendo a esto, por ejemplo se aplicó esta metodología para estudiar las variaciones del ^{13}C en un pino del Sur de España y se lograron detectar etapas húmedas y secas durante la Pequeña Edad de Hielo. En este caso, una etapa particularmente lluviosa coincidió con el pulso más frío de esta anomalía climática.

A ver, pásame el cuaderno de nuevo... sería más menos así — Decía Sagredo mientras dibujaba debajo del gráfico anterior — Note cómo los picos de frío y lluvia coinciden con la dendrocronología del Norte de España.



— *¿Y se conocen muchas secuencias de anillos de árboles que vivieron en la Pequeña Edad de Hielo?*

— Sí. Y bastantes. La más famosa es de un árbol que hasta tiene nombre propio: Prometeo, también conocido como WPN-114. Resulta que en 1964 un investigador norteamericano estaba estudiando el clima de la Pequeña Edad de Hielo y tenía el problema de hallar un árbol lo suficientemente antiguo.

Justamente fue a buscar ejemplares de los pinos bristlecones y encontró uno que pintaba como el más viejo. No quedó muy claro por qué lo cortó en vez de sacar un testigo, la cuestión es que se armó flor de lío con los ambientalistas. Pero, analizadas las secuencias de anillos en varias oportunidades, se llegó a una fecha superior a los 5000 años. Se cree que es el árbol más antiguo conocido. Lo importante es que en ese árbol se pudo establecer una sucesión de anillos muy estrechos, con poca variación entre la estación fría y la cálida, que indica la presencia de este período inusualmente frío.

Como ya le mostré, en España se analizaron numerosos árboles que crecieron antes, durante y después de la Pequeña Edad de Hielo. Los investigadores hallaron coincidencias de bajas temperaturas en las secuencias de anillos de varias localidades españolas que muestran períodos fríos durante varias décadas del Siglo XVI, una recuperación climática durante los Siglos XVII y XVIII y un nuevo descenso a mediados del XIX.

Hay muchos otros casos alrededor del mundo. Por ejemplo ahora recuerdo estudios de anillos de crecimiento de cipreses en el norte de Paquistán, que muestran claramente los tres picos de frío de la Pequeña Edad de Hielo.

Entre todos estos estudios hay muchas variaciones regionales, ya que este período frío fue muy inconstante. Pero lo que muestran todos los árboles que crecieron durante la Pequeña Edad de Hielo es que se desarrollaron luego de una larga secuencia con clima de tendencia cálida y húmeda: el Óptimo Climático Medieval...

— *Cuando los vikingos colonizaron Groenlandia y América del Norte.*

— Así es... decía que luego de la sucesión de anillos anchos del período cálido hay un lapso donde se nota el cambio de la secuencia. Las diferencias de crecimiento entre invierno y verano no son muy marcadas, los anillos están más “apretados”, lo que genera una madera más uniforme y menos densa. Alguien que aprovechó este fenómeno cuando fue más intenso, tal vez sin saberlo, fue el italiano Antonio Stradivari...

Sagredo se quedó esperando el comentario de Mario, quién no entendió el pié que le estaba dando el profesor.

— Antonio Stradivari — Repitió — *¿No le suena?*

— *Nnnno... ¿Debería?*

— Fue un fabricante de instrumentos musicales que trabajó entre fines del Siglo XVII y principios del XVIII.

— *¿Y qué tiene que ver con la Pequeña Edad de Hielo? ¿Compuso alguna canción?*

El profe quedó sorprendido mientras pensaba: “mucho internet, mucho MP3, pero estos pibes aprovechan poco el acceso a la información”.

— Stradivari fue el famoso fabricante de los violines, violas y violonchelos Stradivarius que...

— *¡Ah sí! Los violines Stradivarius, siempre salen en las películas, son famosos por el sonido que tienen, los han querido reproducir pero nunca se supo el secreto de su construcción. Pero, insisto profe: ¿qué tiene que ver con el clima y con la dendrocronología? no me digas que el secreto era que el clima cambia tocando el violín.*

— La cuestión es que parece que no había tal secreto sino que fue una circunstancia casual que tiene mucha relación con el clima: Antonio fabricó sus instrumentos en el momento y lugar indicados. Sus mejores violines datan de entre 1680 y 1715, lo que coincide con un lapso singularmente frío de unos 70 años de la Pequeña Edad de Hielo. Stradivari usó la madera de árboles (abetos y arces) que crecieron durante ese período. Como ya le dije, gracias al desarrollo de la dendrocronología sabemos la relación entre la densidad de la madera y el clima. Pues resulta que los famosos violines y chelos fueron fabricados con madera particularmente compacta porque esos árboles crecieron muy lento y sin lapsos cálidos que pudieran disminuir la densidad. Esto se corresponde con que las maderas más compactas aportan una mejor calidad de sonido a los instrumentos de cuerda.

— *Pero ¿Cómo se supo la densidad de los anillos de los Stradivarius? ¿Cortaron un violín?*

— No, no hizo falta. A varios instrumentos le aplicaron una Tomografía Axial Computarizada, no sufrieron ni un raspón. Así se pudo conocer que la madera estaba compuesta por secuencias de crecimiento particularmente uniformes, porque los árboles crecieron durante un clima frío pero parejo. Es la combinación ideal para que la madera sea más compacta como consecuencia de un crecimiento lento, de modo que los anillos invierno y verano resultan similares.

— *Y Stradivari seguramente se murió sin saber que le debía al clima la calidad de sus instrumentos. Este Antonio tuvo suerte.*

— Tuvo suerte, pero supo aprovecharla, porque la extraordinaria calidad de esos instrumentos no se debe solamente a la madera, su confección es el resultado de una habilidad superior. Además, el barniz externo contiene algún compuesto actualmente desconocido y nadie pudo replicar esos violines ni aún con madera antigua. Así que el misterio todavía persiste.

— *Por lo que me dijo, la dendrocronología es mucho más que determinar la antigüedad, y por la diversidad y complejidad de los estudios que se le asocian supongo que debe ser una disciplina relativamente reciente.*

— En realidad no es tan nueva, hasta Da Vinci estudió la relación del crecimiento de los anillos respecto del clima. Pero, más allá de antecedentes remotos, que no fueron más que intentos, el primer estudio netamente dendrocronológico que combina fecha y clima se realizó justamente en plena Pequeña Edad de Hielo. Durante 1737 unos franceses pudieron determinar, estudiando un solo árbol, que el año 1708 fue muy frío. Luego encontraron el mismo patrón en varios árboles más y lo relacionaron con una sucesión de heladas de ese año de la cual todavía se tenía memoria. Pero el desarrollo más moderno es de principios del Siglo XX, a partir de los estudios de Andrew Douglass.

— *Sospecho que era un botánico.*

— No. — Contestó Sagredo sabiendo que la profesión de Douglass derivaría en un tema central de la Pequeña Edad de Hielo.

— *¿Paleobotánico?*

El profesor permaneció silencioso en señal de error y para aumentar la expectativa.

— *¿Climatólogo? ¿Meteorólogo?... no sé, no se me ocurren más profesiones vinculadas al estudio de los anillos de crecimiento de los árboles.*

— Douglass era astrónomo — Contestó no pudiendo evitar una sonrisa.

— *¿Astrónomo?*

— Sí. Estudiaba la superficie del Sol.

Mario no sabía si Sagredo le estaba tomando el pelo o si le tendía una trampa para que meta la pata.

— *Hasta donde sé los astrónomos no miran los anillos de crecimiento de los árboles sino que usan telescopios y miran el cielo.*

— *¿Y quién le dijo que el cielo no se puede ver adentro de los árboles? Use la imaginación de modo constructivo, aplique una metodología basada en la razón y verá que puede salir algo interesante. Eso hubiera hecho Hudson.*

— *¿Otro astrónomo?*

— No, Guillermo Hudson, el naturalista. Por él esta estación se llama así.

Hudson

El frío que viene del Sol

— *A ver profe ¿cómo se puede estudiar el Sol desde un árbol?*

— A esta altura usted ya debería deducirlo. El Sol es la máxima fuente de energía y de allí proviene el calor de nuestro planeta, entonces su influencia sobre el clima debería ser importante...

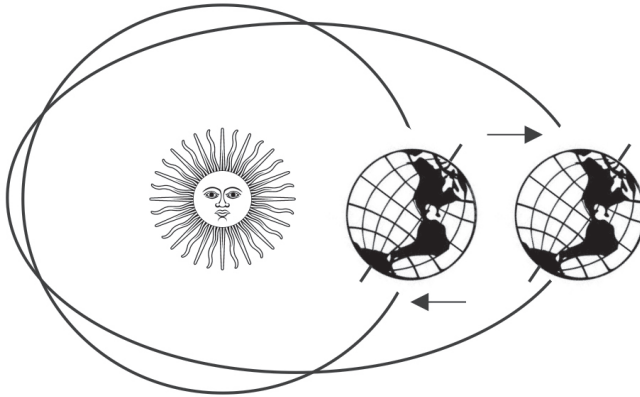
— *Bueno sí, pero el Sol siempre ilumina igual, con las diferencias de invierno y verano, claro.*

— No Mario, no se trata de solo de luz sino de energía, la cual no es siempre la misma. Y esto es muy importante porque hasta ahora hemos charlado de documentos que son una fuente muy subjetiva y de testigos de hielo o muestras de árboles que son consecuencias del clima. Lo interesante del Sol es que se trata de una causa, de algo que interviene influyendo en la condición climática. Estudiando esos otros temas podemos saber cuál fue el resultado, lo cual es muy importante, pero analizando variables como el Sol o las corrientes oceánicas y atmosféricas podemos establecer qué condiciona al clima. En ciencia es importante la descripción de los fenómenos para establecer el patrón de su comportamiento, pero lo trascendente es aquello que nos permite conocer el funcionamiento del fenómeno. Para conocer profundamente un proceso natural debemos investigar las causas, cuál es el mecanismo que lo desencadena. En la naturaleza la mayoría de los mecanismos se rigen por leyes que debemos desentrañar y comprender. Muy poco se debe al azar, aunque a veces ese poco tiene un gran impacto, y la magia y lo sobrenatural es pura ilusión, por eso el esfuerzo del científico está orientado a descubrir las causas naturales de los fenómenos naturales.

Ese es el motivo de porqué el estudio del Sol se presenta como crítico para entender el clima. Hay procesos muy complejos que influyen en cómo llega la energía que recibimos del Sol. Quién comenzó con estos estudios fue un escocés durante el Siglo XIX, pero el que completó y le dio forma a la teoría fue el serbio Milutin Milankovitch, por eso se la conoce como Ciclos de Milankovitch. Milutin combinó los ciclos de la forma elíptica de la órbita terrestre, de la inclinación del eje de rotación de la Tierra y de la precesión de los equinoccios para comprender las variaciones en la cantidad de radiación solar que se recibe en la Tierra.

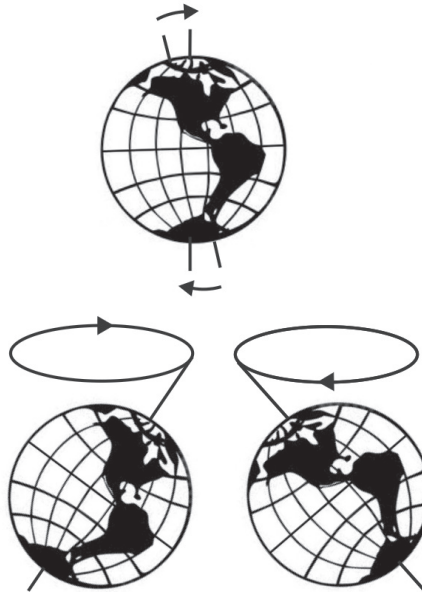
Forma de la órbita terrestre

Cada 100.000 años la órbita se alarga y acorta



Inclinación del eje de rotación terrestre

Cada 41.000 años se inclina 3°



Precesión del eje de rotación de la Tierra

Una vuelta cada 23.000 años

Ciclos de Milankovitch. Las influencias gravitatorias de los planetas del Sistema Solar afectan el movimiento de la Tierra. Las posiciones de nuestro planeta y su ubicación respecto del sol influyen en la cantidad de radiación solar recibida y, en consecuencia, en el clima.

Como bien dijo usted, uno de los componentes es la variación estacional debido a la traslación de la Tierra en su órbita elíptica, y descentrada, alrededor del Sol. La forma de la órbita también va cambiando, lo cual influye en la radiación solar recibida en cada año. Además, el eje de rotación de la Tierra, como consecuencia de no ser vertical, no gira sobre un mismo punto sino que tiene un leve bamboleo, como si fuera un trompo. Por ello el eje gira sobre sí mismo pero la inclinación hace su recorrido en forma de cono, completando un ciclo cada 23.000 años. Es lo que se denomina precesión de los equinoccios, y la inclinación del eje en un determinado momento del ciclo influye en el clima.

— *De acuerdo profe, pero supongo que esos fenómenos deben durar miles de años, mientras que la Pequeña Edad de Hielo fueron unos pocos cientos por lo que no debieron influir en este fenómeno.*

— Así, es. Todas estas características de la Tierra respecto del Sol determinan procesos climáticos de más largo plazo, como las glaciaciones y los interglaciares. Pero el estado de los mismos en un momento determinado hace más o menos proclive el desarrollo de algún fenómeno climático más acotado. Además, su estudio llevó a que también se atendiera a un fenómeno extraterrestre que sí influye en el clima durante lapsos más cortos.

— *Está tardando...*

— No tanto, le digo que se trata de procesos cortos, de una o varias décadas o de unos pocos siglos.

— *Digo que está tardando el tren en salir de la estación, debe haber algún problema. Pero... ¿entonces que hacía Douglass con el Sol y los árboles?*

— A eso iba. Douglass estudiaba las manchas solares, específicamente la relación entre los ciclos de esas manchas y las lluvias.

— *¿Manchas solares?*

— Sí, es un fenómeno de la superficie del Sol que se conoce desde hace mucho. Lo registraron hace miles de años en oriente, pero de modo más sistemático desde que Galileo y otros astrónomos de la época le prestaron atención. Las manchas solares son zonas de la superficie del Sol que se ven oscuras porque se desarrollan campos magnéticos muy fuertes que retienen el calor. Por ello esas zonas tienen menos temperatura, son más frías que el resto de la superficie...

— *Entonces* — Interrumpió Mario — *Cuando hay manchas solares llega menos energía y hace más frío.*

— No, es al revés. A mayor cantidad de manchas solares más calor. Si bien la mancha es más fría, el área que la rodea es más caliente por lo que el balance es que el Sol es más brillante y emite más energía cuantas más manchas tiene. Las manchas tienen tamaños variables, desde cientos a miles de kilómetros cuadrados, y pueden durar unos días o algunos meses. Pueden aparecer solas o en grupos, y tienen un ciclo que dura unos 11 años en los que se puede advertir desde un pico mínimo hasta otro, máximo, de aparición de manchas.

— *¿Y cómo se originan?*

— Este fenómeno está vinculado a la actividad de los campos magnéticos de la superficie del Sol. Cuando los campos magnéticos opuestos se acercan liberan energía y pueden generar eyecciones de masa coronal que llegan hasta la Tierra.

— *Pero a tanta distancia seguro que tarda mucho y no debe generar un gran impacto inmediato.*

— La mayoría de las veces el efecto en nuestro planeta es mínimo. Pero algunas tormentas solares pueden ser catastróficas, y llegan en pocas horas. Por ejemplo, durante 1859...

— *Un año excepcional para la ciencia.*

— De los pocos. Decía que durante 1859 el astrónomo Richard Carrington observó la aparición de grandes manchas solares. Luego, entre ellas, detectó dos áreas muy brillantes que resultaron ser la tormenta solar más grande de los últimos 500 años. La consecuencia fue la llegada de partículas de carga magnética muy intensa que ocasionaron auroras boreales y australes que se vieron hasta en el Caribe. También afectó a los pocos aparatos eléctricos de la época: quemó casi todos los telégrafos. Actualmente una tormenta similar afectaría a todos los aparatos eléctricos y electrónicos: desde centrales eléctricas a satélites. Sería catastrófico.

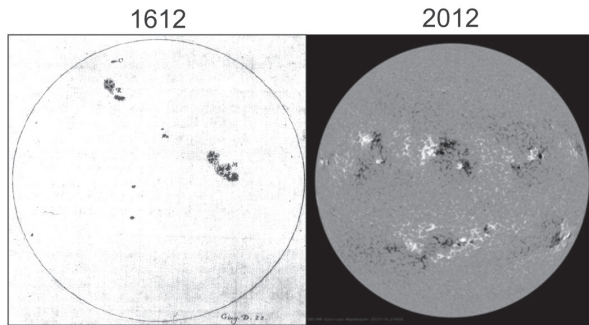
— *¿Eso podría ocurrir ahora?*

— Desde 1960 la actividad de la superficie del Sol no es muy fuerte. Además, el próximo momento de máxima energía del ciclo solar actual será durante febrero de 2013. Pero no debe preocuparse más que por usar protector solar y sombrero ya que la actividad solar es relativamente baja desde hace 80 años.

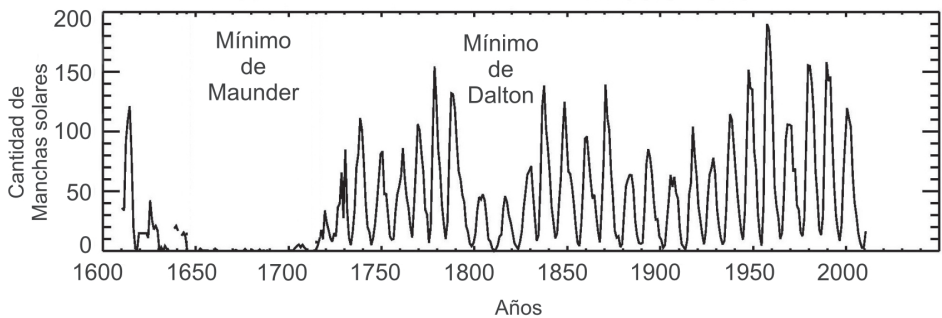
— *Entonces profe, si es un ciclo más menos constante de 11 años cualquier alteración de ese patrón sería fácil de detectar.*

— Eso es lo que Douglas pudo interpretar analizando los anillos de crecimiento de los árboles. A principios del Siglo XX encontró que, en general,

Las radiaciones emitidas por las manchas solares afectan el clima de la Tierra



Manchas solares dibujadas por Galileo Galilei proyectando el Sol sobre un papel (izquierda), y obtenidas a través de un telescopio moderno que detecta campos magnéticos (derecha).



Evolución de la cantidad anual de manchas solares desde el año 1600, se observa su disminución durante los períodos más fríos de la Pequeña Edad de Hielo.

los árboles tienen un ciclo en la velocidad de crecimiento que dura una década y luego se repite. Estudiaba una especie de pino con la que pudo determinar secuencias de más de 500 años y le permitió relacionar el ciclo de crecimiento radial de los árboles con factores climáticos de una escala amplia. Douglass tuvo conocimiento de las investigaciones de otro astrónomo Edward Maunder...

— *¿También estudiaba el Sol dentro de los árboles?*

— No, en este caso era un astrónomo “tradicional” observaba las manchas directamente y lo interesante fue que recopiló información de astrónomos de siglos anteriores a él. Maunder descubrió que la actividad solar, es decir un ciclo entre la aparición y desaparición de un conjunto de manchas solares, tiene una periodicidad de 11 años, lo que llevó a Douglass a relacionarlo con el ciclo de crecimiento de los árboles. De hecho fueron contemporáneos y tuvieron un contacto fluido.

— *Fluido espero que siga el viaje ya que finalmente el maquinista se decidió a salir de la estación. ¿Y Douglass qué pudo averiguar de la Pequeña Edad de Hielo?*

— Aquí está lo que a veces nos sorprende de la ciencia, cuando se verifica un mismo fenómeno desde disciplinas diferentes. Combinando toda la información pudo descubrir que entre los años 1645 y 1715 la actividad solar fue irregular ya que había sido nula o muy baja.

Y preste atención a un dato circunstancial pero no menos atractivo, Galileo trabajó mucho con las manchas solares desde 1610 hasta que lo metieron preso por hereje. Primero las observó con su telescopio, pero luego usó el reflejo sobre una hoja de papel en la que dibujaba el contorno, es posible que por esa observación directa haya quedado ciego al final de su vida. Lo interesante es que sus registros coinciden con el último período de manchas antes que disminuyeran a partir de 1645 unos pocos años después de su muerte. Si él hubiera trabajado una generación posterior tal vez nunca hubiera visto ni una sola mancha. Si no fuera por los registros de Galileo, y de otros astrónomos contemporáneos, no tendríamos tan buenos datos de la escasez de manchas de ese período posterior, en el que hubo tantas manchas como actualmente hay en un solo año...

— *Profe ¿ese no es el período muy frío de la Pequeña Edad de Hielo cuando Stradivari construyó sus violines?*

Sagredo se sorprendió que Mario haya prestado tanta atención y relacionado los hechos, “al final yo también saco conclusiones apresuradas” pensó algo avergonzado por subestimar a su alumno al mismo tiempo que le contestaba.

— Efectivamente. Ese período fue muy frío y coincidió con la ausencia de manchas solares, es decir, con baja radiación de energía. Los resultados de Douglass corroboraron los estudios previos de Maunder ya que determinó que el patrón repetitivo de crecimiento de los árboles se interrumpió entre fines del Siglo XVII y principios del XVIII. Durante ese lapso la sucesión de anillos fue inusualmente delgada, lo que Douglass relacionó con las bajas temperaturas de la Pequeña Edad de Hielo y la baja actividad solar. Es decir el ciclo de crecimiento de los árboles estaba relacionado con ciclo de actividad solar, y en las mismas siete décadas coincidía la anomalía del Sol con la alta densidad de los anillos de los árboles. Así, ambos astrónomos confirmaron una hipótesis, la influencia de las manchas solares en el clima terrestre, usando dos líneas de análisis distintas.

Finalmente a ese período inusualmente frío se lo llamó Mínimo de Maunder.

— *Y después dicen que la astronomía no es una ciencia experimental. ¿Y hubo otros períodos particularmente muy fríos durante la Pequeña Edad de Hielo?*

— Sí. Si recuerda, le había dicho que la Pequeña Edad de Hielo se caracterizó por su inestabilidad y sucesión de períodos fríos y cálidos, pero dentro de una tendencia fría. Las manchas solares confirman otros dos sucesos muy fríos dispuestos antes y después del Mínimo de Maunder: el Mínimo de Spörer de mediados del Siglo XV a mediados del XVI y el Mínimo de Dalton de fines del Siglo XVIII a mediados del Siglo XIX...

— *... cuando termina la Pequeña Edad de Hielo* — Se apuró a señalar Mario.

— ¡Claro! Coincide con ese último pulso frío. Una vez que terminó el Mínimo de Dalton las manchas solares fueron más frecuentes, se recompuso el ciclo de 11 años y el clima volvió a ser cálido.

— *¿Y hay otros datos que coincidan con los anillos de crecimiento y con las manchas solares que indiquen esos mínimos climáticos?*

— Por supuesto ¿no se le ocurre nada Guiducci?

— *Mmmm... ¿Los isótopos?*

— Así es. En los testigos de hielo decae la cantidad del oxígeno con 18 neutrones (el pesado), fíjese en las menores temperaturas y mayores períodos de lluvia de los gráficos de análisis de isótopos de Carbono de España, por ejemplo. — Dijo, señalando el cuaderno — Pero hay otro isótopo que está relacionado directamente con la actividad solar y que también es un modo no convencional para “ver” la actividad del Sol en el pasado: el Carbono con 14 neutrones más conocido como 14C.

— *¿No es el isótopo que se usa para efectuar los fechados para conocer antigüedades absolutas?*

— El mismo, pero sirve para muchas cosas. La cuestión es que ese carbono radiactivo se forma en la atmósfera como consecuencia de la radiación cósmica. El ^{14}C lo incorporan las plantas y a partir de ese momento comienza a transformarse en Nitrógeno. Como ese proceso solo depende del tiempo, las relaciones del ^{14}C y de Nitrógeno en una planta (o en un animal que se la comió), como bien dice usted sirven para determinar antigüedades. Pero, la cantidad de ^{14}C que se forma no es constante, una de las variables que más lo afectan es la actividad solar porque perturba la incidencia de los rayos cósmicos. Cada vez que el ciclo solar está en su etapa de menos producción de manchas, emite menos energía y los rayos cósmicos producen más ^{14}C . Por el contrario, el período de mayor cantidad de manchas evita que parte de los rayos cósmicos lleguen a la atmósfera y reduce la cantidad de ^{14}C disponible.

Cuando se pudo refinar la técnica para medir el contenido de ^{14}C en los árboles se lograron comparar las secuencias de anillos compactos y de anillos anchos. El astrónomo John Eddy demostró que las sucesiones de anillos más densos, que correspondían a etapas frías, tenían un alto contenido de ^{14}C como consecuencia de una escasa actividad solar. Y lo mismo se puede corroborar al estudiar el isótopo de Berilio con 10 neutrones en los testigos de hielo.

— *Entonces el ancho de los anillos, el contenido de ^{14}C , el de Berilio 10, el Oxígeno 18, el Hidrógeno pesado...*

— Deuterio. — Apuntó Sagredo.

— *¡Ese! Todo eso y la cantidad de las manchas solares coinciden en que el clima durante la Pequeña Edad de Hielo tuvo los tres períodos muy fríos...*

— El Mínimo de Spörer, el de Maunder y el de Dalton. — Se apuró a ayudarlo el profesor para que no pierda el hilo del comentario.

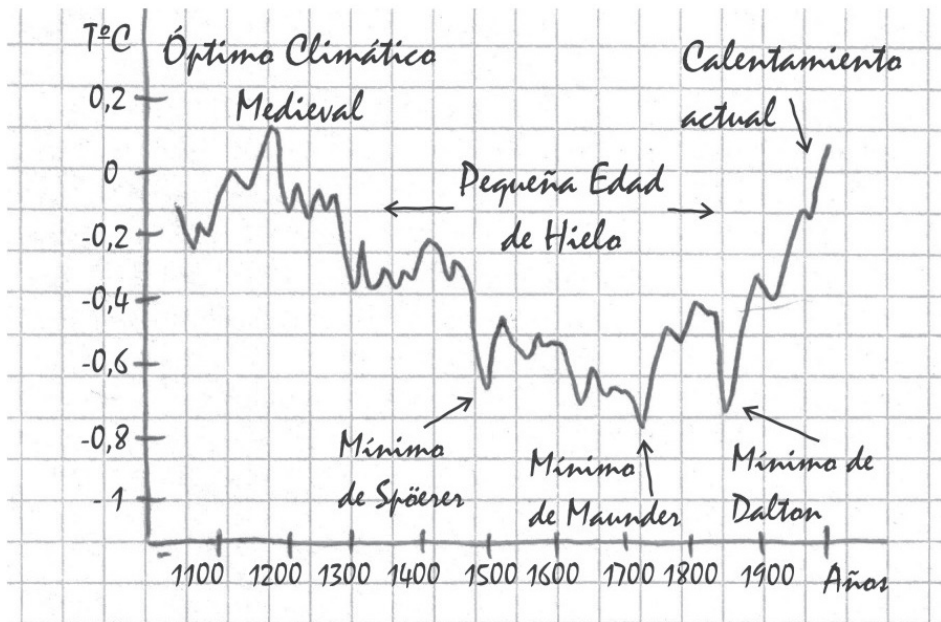
— *Es increíble que analizar esos átomos, la superficie del Sol o el interior de un árbol o de un bloque de hielo sirva para conocer el clima de hace cinco siglos.*

— Sí, los datos no coinciden exactamente pero se complementan de un modo claro porque son emergentes de un mismo fenómeno que los causó: el clima. Y lo mismo se puede reconstruir midiendo la temperatura del subsuelo. La temperatura del subsuelo está afectada por el clima y por factores geológicos, pero no es uniforme sino que también depende de la temperatura del momento en que se formó el suelo.

Ante la expresión de confusión de Mario, Sagredo se esforzó por ser más claro.

— El principio es, más o menos, lo mismo que ocurre cuando saca un pollo del frízer y lo mete en el horno para cocinarlo. Se va a calentar primero por fuera y más lento en el núcleo. Es como que el interior del pollo tuviera memoria del frío de la heladera aún expuesto al calor del horno. Usando esta idea, y corrigiendo variables a través de programas de computadora, se pudo reconstruir la temperatura de los últimos mil años del Hemisferio Norte usando datos de muchas localidades.

A ver pásame el cuaderno... lo que se obtuvo fue un gráfico que muestra las temperaturas elevadas del óptimo Climático Medieval y los tres picos fríos de la Pequeña Edad de Hielo. Fíjese cómo coincide con todos los demás datos que usted citaba.



Pereyra

Volcanes que congelan

El tren ya estaba entrando lentamente a la Estación Pereyra y Sagredo no pudo evitar recordar que de niño a veces viajaba hasta Punta Lara siguiendo por el viejo empalme cerrado hace más de cincuenta años y que permanece en ruinas. Se sorprendió al ver el cabin de señales todavía en pie, aunque sin el techo, apenas algunos tirantes. Antes era blanco de pintadas políticas y ahora de grafitis que le disputaban el espacio al musgo y a los líquenes. “Ni las estaciones se salvan de los efectos del clima” pensó con cierta melancolía.

— ¿... del Sol?

— ¿Eh? ¿Qué me dice Guiducci?

— ¿Te distrajiste profe?

— “Profe” no: profesor. — Replicó con firmeza para desviar el tema de su desatención.

— *Le preguntaba si hay otros factores que pudieron contribuir al clima anómalo de la Pequeña Edad de Hielo ¿o todo fue a causa del Sol?*

— Siempre hay muchas variables. En la naturaleza un fenómeno complejo nunca depende de una sola causa, reducir el clima solo a la actividad solar es un error. Cada vez que miramos hacia el pasado podemos encontrar alguna pista que puede ser insólita, impensable de antemano pero siempre hay quien se ocupa de investigar y sus datos se cruzan con los de otros...

— *Como le pasó a Douglass con Maunder.*

— Sí, en la historia de la ciencia hay muchos casos como ese, o que realizan un mismo descubrimiento a la vez. Por ejemplo, justo hoy, no puedo dejar de referirme a Darwin y a Wallace por su coincidencia en descubrir la selección natural. Pero, volviendo a nuestro tema, una fuente que resultó sorpresiva en la contribución a las bajas temperaturas de la Pequeña Edad de Hielo fueron los volcanes.

Sagredo se quedó en silencio abruptamente a propósito, debido que, nuevamente, estaba poniendo a prueba a su alumno.

— *Supongo que por su baja actividad* — Se apuró a decir Mario, y mientras terminaba su breve acotación supo que venía la reprimenda. “*Cómo no me di cuenta*”, pensó.

Haciendo un esfuerzo por evitar la sonrisa y mantener el tono académico el profesor replicó con el latiguillo.

— Mario usted debe concentrarse más en no opinar sin fundamento.

— *Pero... si los volcanes son calientes. Son como una chimenea que se conecta directamente con la roca fundida del interior de la Tierra, y eso está a mucha temperatura, muchísima...*

— Más de 1.000 grados centígrados.

— *¡Eso! Y, además, a veces generan explosiones que disipan mucha energía en forma de calor; o emiten lava muy caliente, prenden fuego bosques y todo lo que está a su paso. No me podés decir que eso termina afectando el clima bajando la temperatura.*

— No, no puedo.

— *¿Y entonces?*

— Le digo que, de todo lo que usted enumeró, nada contribuye a bajar la temperatura. Pero los volcanes hacen otras cosas. ¿No se le ocurre nada?

— *A ver... a veces están relacionados a movimientos tectónicos, pero no le encuentro relación.*

— *¿Qué más suelen emitir a la atmósfera que no sea lava?*

— *Gases y ceniza.*

— Justo. La ceniza, si es muy abundante, puede ayudar a bajar la temperatura de un modo drástico y, sobre todo, rápido. Esto se debe a que las partículas de ceniza en suspensión en la atmósfera funcionan como una pantalla solar: llega menos radiación a la superficie del planeta.

— *Entonces... es cierto que hay cambios rápidos del clima, como esos de las películas.*

— El cambio es rápido y ocasionado por un fenómeno catastrófico como la erupción de un volcán...

— *Es decir por una sola causa ¿no era que en la naturaleza los procesos complejos son multi causales?*

— Sí, así es. Pero el efecto de un volcán en el clima es una excepción. Aunque, en realidad, deberíamos considerar que una erupción es el resultado de un proceso complejo que lleva mucho tiempo, a veces miles de años, hasta que finalmente ocurre. De todos modos, la consecuencia en el clima es casi instantánea porque afecta a la fuente principal de energía que llega a la Tierra: oculta al Sol y baja la temperatura.

Si bien algunas pocas erupciones logran estos efectos, afortunadamente son de corta duración, no más de dos años, y la mayoría de ellas tienen consecuencias más bien locales que globales. Además, en un tiempo breve el sistema regresa a su estado original. Las erupciones tienen un margen de acción que raramente sobrepasa al hemisferio, es decir su efecto a nivel global es limitado. En tiempos recientes en el Cono Sur de América tenemos los ejemplos del volcán Hudson y del Puyehue. Ambos causaron muchos desastres, más bien locales, por la ceniza acumulada en el suelo y la consecuente mortandad de animales. Del evento del Hudson usted seguramente no se acordará, pero del Puyehue sí. En este caso las emanaciones afectaron grandes extensiones y duraron mucho tiempo en la atmósfera causando problemas a los vuelos comerciales, porque las cenizas se derriten en las turbinas y traban a los motores.

— *Por eso “yo voy en tren, no en avión...”*

— ¿Eh?

— *No, nada profe no importa. ¿Y en la Pequeña Edad de Hielo hubo mucha actividad volcánica?*

— Bastante, principalmente en los primeros 20 años del Siglo XIX. Y lo interesante es que tenemos mucha información como fuentes documentales y, por supuesto, la evidencia geológica que podemos estudiar a través de la experimentación. Por ejemplo un volcán de Islandia, el Laki, tuvo una erupción en 1783 que afectó el clima del Hemisferio Norte...

— *¿Ya había empezado el Mínimo de Dalton?*

— Casi. Este volcán es interesante porque no tiene la forma tradicional de cono, sino que es una larga fisura con más de cien bocas que emitieron gases, ceniza y lava. Lo peor fue que la erupción duró casi ocho meses arrojando más de diez kilómetros cúbicos de gases a la atmósfera. Causó miles de muertes a los islandeses por envenenamiento de sus gases tóxicos, dióxido de azufre y ácido fluorhídrico.

— *¿Ácido fluorhídrico? ¿No es el ácido que es tan fuerte que diluye el vidrio?*

— Sí, ese. Solo se puede guardar en frascos de plástico. Imagínese el efecto de ese ácido en forma de gas en el aire que se respira. Esta erupción, por ejemplo, habría sido una de las variables de las hambrunas de esos años en Inglaterra, aunque su incidencia no fue pareja en todo el Hemisferio Norte. La disminución de la temperatura perturbó la circulación de masas de aire en la atmósfera y su efecto regulador de la humedad en territorios muy amplios. Por ejemplo en el valle del Río Nilo retrasó el ingreso de masas de aire húmedo y se produjo una sequía pronunciada. En consecuencia, las cosechas fueron muy escasas y miles de personas murieron por la falta de alimentos. Sus efectos también se sintieron en Alaska, donde varios investigadores analizaron los anillos de crecimiento de los árboles y encontraron que el verano de 1783 fue particularmente muy frío en comparación con cientos de años anteriores.

El profesor hizo una breve pausa y, señalando el cielo a través de la ventanilla, trató de completar la explicación del panorama ocasionado por la erupción.

— Las bajas temperaturas, en este caso, no se debieron tanto a la ceniza en suspensión sino a lo que se llama aerosoles de azufre: la generación de partículas a partir de la combinación de dióxido de azufre con vapor de agua, que reducen el efecto de la radiación solar.

Además, esta erupción ocasionó un fenómeno llamado “cielo rojo” espe-

cialmente al amanecer y al atardecer, como consecuencia de la diferente refracción de la luz solar. En Norte América las secuelas de la actividad del Laki fueron interpretadas por Benjamín Franklin, quién vinculó el clima poco usual de esos años con esta erupción. En general, los efectos de la alteración de la atmósfera por los gases y detritos de los volcanes se perciben claramente por las bajas temperaturas del verano siguiente a la erupción.

— *Entonces, profe, si fue un verano muy frío ¿se puede decir que entre 1783 y 1784 hubo tres inviernos seguidos?*

— Sí. Pero, por no sé qué cuestión de la historia, el que se conoce con el nombre de “El Año Sin Verano” es 1816.

— *Eso si ya fue en pleno Mínimo de Dalton ¿Y también fue por alguna erupción?*

— La más grande y violenta de los últimos 10.000 años. Fue el volcán Tambora que se encuentra en la isla de Sumbawa en el sudeste asiático, al Sur de Borneo. En 1815 tuvo una secuencia de varias explosiones tan fuertes que fueron despedidos a la atmósfera unos 1.300 metros del cono del volcán. El cráter que quedó es de unos 7 kilómetros de diámetro. Busque las imágenes por internet, son muy claras. El ruido de la explosión fue tan fuerte que se escuchó a miles de kilómetros y, al principio, los británicos que ocupaban ese territorio, creyeron que los estaban atacando con cañones.

Las emanaciones de gases y cenizas fueron muy voluminosas, lo mismo que la lava que llegó hasta el mar quemando todo a su paso. En Sumbawa y en las islas adyacentes murieron más de 10.000 personas en pocos días, y varias decenas de miles más como consecuencia del hambre por la pérdida de las cosechas y de los animales. El impacto inmediato fue tan catastrófico que se calcula que las cenizas en suspensión disminuyeron la radiación solar en más de un 25%.

Mario se estaba formando una imagen mental de lo que le relataba el profesor, al mismo tiempo que se esforzaba por complementarlo con lo que había aprendido durante el viaje.

— *El efecto de todo eso debió ser más acentuado porque ocurrió durante el Mínimo de Dalton, es decir con menos energía proveniente del Sol.*

— Así es. No pudo ocurrir en peor momento, se sumaron dos causas que generan bajas temperaturas: las cenizas y pocas manchas solares. La erupción del Tambora, a diferencia del Laki, emitió mucha ceniza y dióxido de azufre...

— *El compuesto que, junto con el agua, forma los aerosoles que oscurecen el cielo.*

— Sí, y en este caso estamos hablando de 1,5 millones de toneladas de ceniza y gases. Para que tenga una idea de cuánto es ese volumen, piense que si a cada una de esas toneladas de ceniza las mete en cajas de un metro de lado y las acomoda una al lado de la otra, podrá dar casi 4 vueltas a la Tierra.

Semejante cantidad de deyecciones produjeron un enfriamiento importante en el Hemisferio Norte, a pesar que Sumbawa se ubica unos grados al Sur del ecuador. En 1815 ya había quienes medían la temperatura atmosférica, así que los registros indican, para el verano siguiente, caídas entre medio grado centígrado y más de cuatro, según la región. Esto trajo un invierno muy largo, con nevadas copiosas que no se derritieron en el verano. Como en 1783 fueron comunes los cielos rojos, que en realidad eran rojos, violeta y naranja que hicieron famosos los cuadros de William Turner.

Mientras hablaba, Sagredo gesticulaba con las manos, lo que le ayudaba a pensar y tratar de transmitir lo más claramente posible los efectos de este evento catastrófico.

— Como en el caso de la erupción del Laki, la disminución de temperatura ocasionada por el Tambora afectó la circulación de masas de aire en la atmósfera y los balances entre bajas y altas presiones. En consecuencia la humedad transportada por el aire también fue alterada, de modo que la parte occidental de Europa sufrió una temporada inusualmente lluviosa, además de fría, por el traslado de la zona de baja presión que “normalmente” está sobre Islandia. Uno de los efectos más sorprendentes fue que llegó a nevar en verano o en zonas cercanas al ecuador. Otra vez se trató de nieve de colores. El frío y sus secuelas llegaron a Europa, América del Norte, China, India... en fin, fue una calamidad.

— *Profe ¿y esta erupción también alcanzó a afectar el crecimiento de los árboles o se pudo detectar en el hielo?*

— La erupción se pudo “encontrar” en los anillos de crecimiento como un aumento de su densidad y por su disminución en el contenido de carbono 14. El verano de 1816, tuvo las tasas de crecimiento de árboles más bajas de los últimos 600 años, es decir anillos más angostos. A su vez, se pudo apreciar que las temperaturas rápidamente volvieron a ser similares a las de los años previos a la erupción. Siempre en el contexto del frío acentuado por las escasas manchas solares del Mínimo de Dalton.

Quienes estudian el hielo de la Antártida y de Groenlandia también encontraron evidencias muy claras de la erupción del Tambora.

— *¿Se ve una capa de ceniza entre las capas de hielo?*

— No directamente. Pero si se hace la pregunta correcta el investigador po-

drá elegir el modo de hallar la respuesta. Lo que hallaron los geólogos en el hielo fue una alta concentración de compuestos derivados de azufre, en sectores que se corresponden con el año 1816. Como la erupción fue relativamente reciente se pudieron obtener buenas muestras con perforaciones de poca profundidad. Por ejemplo en Groenlandia se hallaron, en numerosas localidades, capas de hielo con iones de sulfato y se corroboró midiendo la acidez que resultó muy alta. Lo ingenioso de este tipo de análisis es que se puede lograr una gran certidumbre del origen de los detritos. La ceniza depositada en el hielo es muy fina y escasa, normalmente no se ve o puede ser confundida con otras sustancias, pero al analizar la composición química se puede comparar con la ceniza del Tambora que forma capas muy gruesas en Sumbawa.

— *Las consecuencias de las erupciones pueden ser sorprendentes ¡y yo que pensaba que su efecto era más bien local!*

— Lo peor es, lamentablemente, lo de siempre: pérdidas de cosechas, hambre y muerte. A principios del Siglo XIX todavía la vida era muy difícil, la longevidad era la mitad que la actual y, si bien habían avanzado mucho las técnicas agropecuarias, la dependencia de la cosecha del año era muy grande para la sociedad. Así que las muertes por el frío, el hambre y las enfermedades fueron muchas. Y para complicar más la situación, en estas ocasiones de escasez aumentaban los precios de los alimentos.

— *Todo mal en 1816.*

— Pero, con esfuerzo se puede buscar el lado positivo.

— *Con mucho esfuerzo, profe. Francamente, de haber podido, nadie habría elegido vivir durante 1815-1816.*

— Es cierto. Más que el lado positivo, podría decir el ingenio del Hombre ya que algo podemos rescatar de la erupción del Tambora. Por ejemplo, se supone que la mortandad de caballos por falta de forraje alentó, en 1817, al alemán Karl Drais para inventar el velocípedo, una máquina anterior a la bicicleta. También están los cuadros de Turner que ya le cité. Pero, posiblemente, las consecuencias culturales más notables del Año Sin Verano tuvieron que ver con la literatura.

— *¿Escribieron mucho sobre la erupción?*

— No sobre la erupción, sino a causa de ella. Uno de los países más afectados fue Suiza donde, como en otros lugares de Europa, ocurrieron hechos de violencia a causa del hambre. Esto llevó a que los más ricos vivieran encerrados en sus villas y palacetes durante casi todo el tiempo que duró el efecto de la erupción. Esta reclusión también fue forzada por el mal clima que les

impedía trasladarse y los obligaba a encender los hogares para calentarse en pleno verano de 1816.

Una de esas mansiones, la Villa Diodati, reunió de modo más o menos casual a un grupo de escritores célebres entre los que estaban Lord Byron, que era el anfitrión, John Polidori, Percy Shelley y su novia Mary Godwin. Los escritores pasaron mucho tiempo dentro de la casona y, abrumados por las circunstancias o aburridos, decidieron realizar una especie de competencia o entretenimiento: inventar relatos de terror.

— *El panorama era propicio.*

— Sí, no era para escribir comedias, tenga en cuenta que estaban rodeados de campesinos que se morían de hambre, frío y enfermedades. De ese pasatiempo surgieron obras como el poema “Oscuridad” de Byron, cuyo comienzo retrata muy bien el clima que les tocó sufrir:

“Tuve un sueño, que no fue del todo un sueño. El brillante sol se había extinguido y las estrellas vagaban a oscuras en el espacio eterno. Sin luz y sin rumbo, la helada tierra oscilaba ciega y negra en el cielo sin luna. La mañana vino y se fue; y volvió, y no trajo día alguno. Y el hombre olvidó sus pasiones en el abismo de su desolación.”

— *¡Conozco ese poema! Lo estude en la secundaria, Byron estaba describiendo el paisaje de esos días ¡y yo que pensaba que era una metáfora sobre el pesimismo!*

— Es un poema inspirado en esos días literalmente oscuros de la pequeña Edad de Hielo, durante ese verano pasaron hasta tres días sin luz solar, y había amaneceres dobles: salía el Sol, oscurecía inmediatamente y más tarde nuevamente aparecía una tenue luz. Por eso dice: “La mañana vino y se fue; y volvió, y no trajo día alguno”.

El que también hizo un aporte interesante fue Polidori, ya que inició una rama de la literatura de terror con su obra “El Vampiro”, adelantándose unos 80 años a “Drácula” de Bram Stoker. Pero quién se destacó fue Mary Godwin creando una famosísima novela de terror a la que llamó “Frankenstein o el Moderno Prometeo”.

— *¡Frankenstein! ¡Se escribió durante la Pequeña Edad de Hielo! Nunca hubiera pensado que un volcán o el clima pudieran propiciar una obra como esa.*

— Bueno, el clima y las circunstancias ayudaron, pero sin la inventiva, la imaginación de la autora y su trabajo creativo posterior nunca se hubiera logrado. Los demás escritores quedaron impactados por la idea de la joven y coincidieron en que fue la más espeluznante de todas. Muchos pasajes de

esta novela son sombríos o con hielo y algunas escenas ocurren en Ginebra, evidentemente Mary Godwin estuvo influida por el lugar y la situación que le tocó vivir ese verano.

— *¿Mary Godwin? ¿La autora de Frankenstein no se llama Mary Shelley?*

— Le dije que era la novia de Percy Shelley, cuando publicó la primer edición ya se habían casado. Incluso en algunos prólogos hizo referencia al mal clima durante su estancia en Suiza ¹.

— *Es notable cómo una erupción puede influir en el clima, la vida y la cultura de las personas. Me sorprende sobre todo porque un volcán es, apenas, solo un punto en la geografía, una parte del paisaje.*

— Pero no se deje engañar, un detalle en la geografía puede ser el hito de un gran cambio. Mire por la ventanilla, donde dice Villa Elisa, es apenas un el cartel en medio del trayecto a La Plata, pero ya nos indica un cambio en nuestro recorrido.

Villa Elisa

Clima de mar

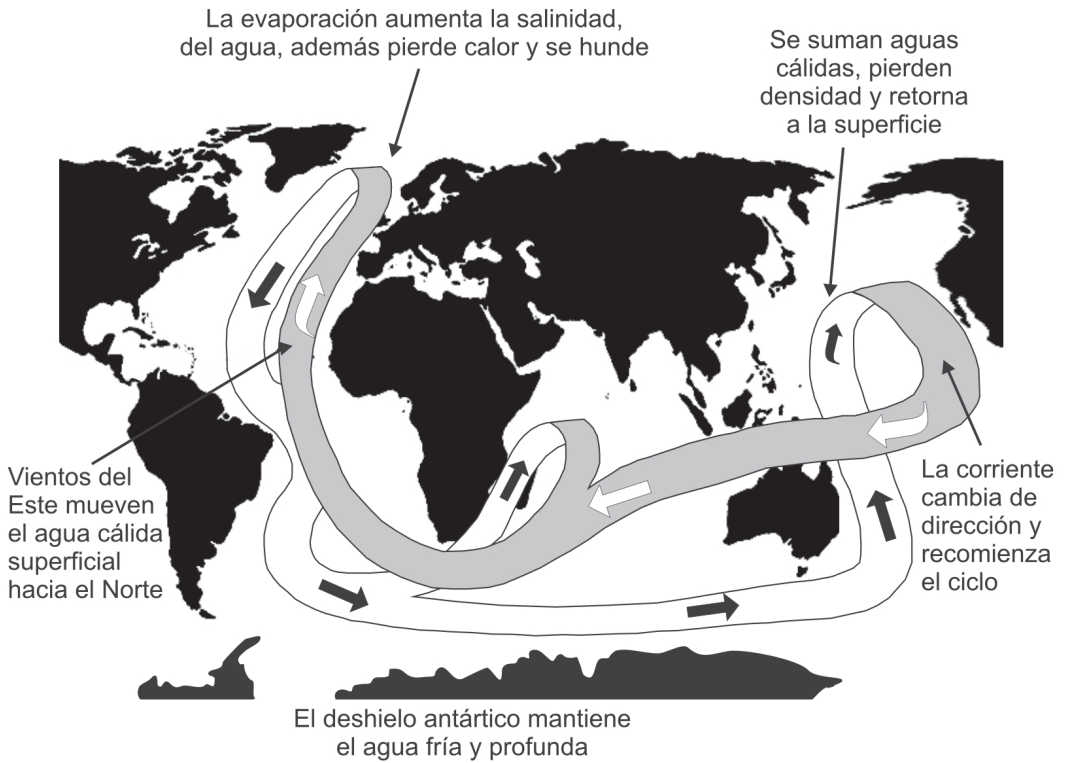
— Mario, la geología, la climatología... bueno... la ciencia en general, nos enseña que debemos estar preparados para indagar en procesos que pueden sorprendernos, que los resultados de alguna investigación nos puede abrir la puerta a lo insospechado. Mire el panorama imprevisto que generó Darwin con la publicación de “Sobre el Origen de las Especies”, cuyas ramificaciones van más allá de la biología. Por eso no debemos perder la capacidad de asombro, pero tampoco dejarnos abrumar por la complejidad de los fenómenos naturales. Si no admiramos la naturaleza caemos en la apatía. Y si nos domina el abatimiento por lo complejo terminamos en la pereza intelectual y perdemos el incentivo para generar ideas nuevas.

Este ánimo por profundizar en el conocimiento de la naturaleza debió tener Wallace Broecker cuando planteó que el clima de la Tierra estaba influido por la temperatura del océano.

— *¿Broecker? ¿No es el que inventó el Calentamiento Global?*

— En todo caso lo que inventó fue el término Calentamiento Global, aunque no fue su intención que fuera conocido por eso. Sus aportes son mucho más trascendentes. Publicó cientos de artículos científicos y unos diez libros sobre temas relacionados con el clima actual y antiguo. Pero, a lo que me refería, fue quién le prestó más atención a la función que puede tener el océano en

Corriente Termohalina



Las fluctuaciones anormales de las aguas oceánicas pueden afectar el clima de los continentes.

los cambios rápidos del clima. Broecker particularmente hizo una gran contribución a la comprensión de las corrientes marinas y a la circulación de grandes masas de agua oceánica. Para ello trabajó con moléculas que funcionan como trazadores, o marcadores, que tienen la propiedad que pueden ser monitoreadas. De este modo prácticamente generó una nueva disciplina en la oceanografía.

— *¿Pero... estudió la Pequeña Edad de Hielo en el mar?*

— No directamente. Su trabajo es importante porque nos permite advertir una gran variable que anteriormente no se tenía en cuenta cuando se buscaban las causas que iniciaron este inusual período frío.

— *¿Además de la actividad solar, las corrientes marinas pudieron ocasionar ese período frío?*

— No solo las corrientes. Como siempre ocurre, cada vez que se avanza en el conocimiento, resolvemos algunos problemas y se inician nuevos. Pero fundamentalmente nos damos cuenta que la naturaleza es más compleja de lo que creíamos y, a veces, se obtienen resultados cuyo impacto es tan grande que no comprendemos cómo no lo advertimos antes. Y uno de esos avances es el descubrimiento de La Gran Cinta Transportadora Oceánica.

— *Parece el título de una de esas películas de ciencia ficción que tanto te gustan* — Dijo Mario con una leve sonrisa.

“Esta vez no picó”, pensó Sagredo algo desilusionado pero satisfecho por su alumno. Prosiguió, disimulando la pequeña derrota.

— Es un nombre informal de lo que se denomina Circulación Termohalina. La cuestión es que no solo la atmósfera tiene una fuerte influencia en el clima, sino también el océano. Antes interpretábamos el movimiento del agua como si fuera plano: solo en la superficie y por influencia de los vientos. Los aportes de Broecker, y muchos otros oceanógrafos, nos permitieron conocer que existe una circulación de agua oceánica que es más compleja que las tradicionales corrientes superficiales. Pero resulta que también es tridimensional por influencia de la densidad del agua. Además, ese gran movimiento de agua cumple un ciclo que se desarrolla a nivel global.

— *Entonces... ¿lo que ocurre en un sector del océano puede afectar el clima de otra parte del planeta?*

— Así es...

— *¡Claro! Gaia manifestándose en su plenitud...*

— Guiducci: no me venga con fantasías que hace rato terminamos con las

películas. ¿No sabe diferenciar a un ser vivo de un planeta? Mire que eso se aprende en la primaria, es de cuarto grado. Para simplificar: todo ser vivo es un sistema pero no todos los sistemas son seres vivos.

— *Si, profe, ya sé. Lo mío era metafórico.*

— Bueno... le decía... la Circulación Termohalina es un sistema de movimiento de grandes masas de agua entre ambos hemisferios. Esta circulación está condicionada fundamentalmente por la temperatura del agua y por su salinidad. De este modo, el agua va cambiando su profundidad, pasando de superficial a profunda, su temperatura, de fría a caliente, y su salinidad varía por influencia del agua salada proveniente de los polos. Este movimiento es de agua y de energía calórica que influyen en el clima terrestre, ya que se transmite calor de las zonas tropicales a los polos.

— *Si no es por las corrientes superficiales y el viento ¿cómo se mueve toda esa agua?*

— Como ya le dije se trata de un ciclo. Imagínese una gran V que se inicia en el océano Pacífico Norte, pasa por el océano Índico, se dirige al Sur de África y luego otra vez al Norte por el océano Atlántico. Esa es la ruta principal de las corrientes superficiales cálidas. Cuando llegan al Ártico se enfrían, en los mares que recorrían Erik El Rojo y su gente. Allí esa masa de agua, además, se hunde y se convierte en lo que se denomina aguas profundas. Este hundimiento lo ocasiona un gradiente de densidad. Cuanto mayor es la salinidad y menor temperatura, aumenta la densidad y el agua se hunde. Y es precisamente este proceso que ocurre en los mares nórdicos lo que impulsa a todo el sistema, es una especie de motor que succiona y empuja al agua.

Este motor también tiene su contraparte en la Antártida donde cada año hay desprendimientos de hielo que generan agua dulce, pero también hay una gran formación de hielo continental. Esto ocasiona una salinidad mayor que la del Ártico y aporta su cuota de agua profunda, densa y fría.

— *Entonces, profe, el mar no tiene la misma salinidad en todos lados.*

— Ni en todos lados, ni en todas las profundidades de un mismo lugar. Y a este fenómeno también contribuye la formación de hielo polar, ya que cuando el agua se congela funciona como un filtro para las sales que caen hacia el agua líquida aportando al proceso de aumento de densidad.

Una vez generada estas aguas profundas se dirigen hacia el Sur completando el ciclo al unirse con el inicio de aquella V en el Pacífico Norte. Allí se calienta, pierde salinidad, el agua se hace más liviana, emerge y comienza el ciclo nuevamente.

— *Y supongo que todo ese proceso debe tardar un año, entre congelamiento y descongelamiento de los polos.*

— No, se quedó corto. Se calcula que una misma gota de agua de mar tarda unos 1.600 años para circular por todo el sistema de la cinta transportadora.

— *¿Por qué se le llama cinta transportadora?*

— Porque además de grandes masas de agua este ciclo mueve minerales, sales, energía en forma de calor, organismos...

— *Está claro... aunque no puedo imaginar cómo este sistema puede alterar el clima o ser una causa de la Pequeña Edad de Hielo.*

— Éste es un aporte muy interesante de Broecker. Él plantea que el clima de nuestro planeta funciona como si fuera un mecanismo muy complejo de muchas partes interconectadas. Esas partes están en los continentes, en los cuerpos de agua dulce, en los océanos, en la atmósfera y por fuera de nuestro planeta. Broecker usa la metáfora de interruptores que encienden o apagan partes de ese sistema, y dice que en el pasado esos interruptores se activaron y generaron cambios importantes en el clima. Insiste en que la clave del estudio del clima debe ser descubrir y comprender cuáles son esos interruptores. Y que hasta que no logremos esto no vamos a poder hacer buenas predicciones del clima a largo o mediano plazo.

La cuestión es que si alguno de esos interruptores se activaron en el mar a principios del Siglo XIV pudieron ser una de las causas del inicio de la Pequeña Edad de Hielo.

— *¿Y que puede ser, concretamente, un interruptor de ese tipo?*

— Piense Guiducci, ya tiene toda la información.

— *Bueno... cualquier fenómeno que altere la Circulación Termohalina...*

— Va bien...

— *... y que además evite el calentamiento del agua, como un mayor flujo de agua dulce en el Atlántico Norte o en la Antártida. Con esto supongo que se altera el ciclo y afecta a las masas de aire en su temperatura. Esto modificaría los centros de baja y altas presiones y al movimiento de la humedad atmosférica. Una consecuencia podría ser que llueva de más o de menos y complicaría más al clima generando nuevas situaciones inesperadas.*

— ¡Bravo Guiducci! Es una buena hipótesis. Todavía no sabemos si, además de la disminución de la actividad solar, la Pequeña Edad de Hielo fue causada también por algún fenómeno del tipo que usted describió. Siendo el clima tan

complejo, tan dependiente de muchas variables resulta difícil de sostener que semejante cambio en el clima tuvo un único origen.

Por eso es importante que cuando se hace referencia a la pérdida o ganancia de hielo en, por ejemplo, el Ártico, también se analice qué ocurre en la Antártida y en el océano.

— *Porque todo forma parte de un sistema.*

— Eso es, y, respecto del hielo, lo importante es la relación entre la pérdida y la ganancia anual y su papel en la Circulación Termohalina. Por ello es crítico poder investigar más cómo funciona el movimiento de estas masas de agua y su relación con la atmósfera. Cuando avancemos más estaremos en condiciones de plantear hipótesis y hasta experimentos para poner a prueba su influencia en este fenómeno y así llegar a una mejor idea.

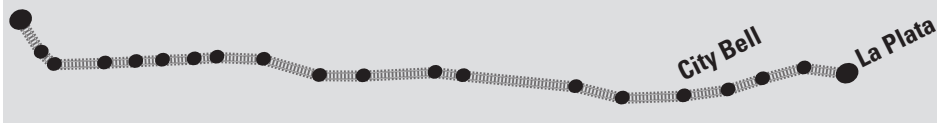
— *Seguramente profe, pero por ahora solo llegamos a City Bell.*

1. “Pasé el verano de 1816 cerca de Ginebra. La estación se presentó fría y lluviosa y, por las tardes nos reuníamos en torno al fuego del hogar...”. Prefacio de la edición de 1818, atribuido a Percy Shelley.

“Pero resultó un verano lluvioso y desagradable, y frecuentemente una lluvia incesante nos confinaba en la casa durante días.”. Introducción a la edición de 1831, Mary Shelley.

Capítulo 4

LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN EL SUR



City Bell

El frío criollo

Sagredo no pudo evitar inclinarse levemente hacia delante cuando el tren se detuvo. Miró por la ventanilla y, al reconocer la vieja estación, se dio cuenta que estaba cerca de su destino. “City Bell es como una señal que anuncia el final del viaje”, pensó como cuando era estudiante. Aunque ahora tenía un nuevo significado. Miró de soslayo a Mario y por un instante le recordó a sí mismo hacía cuarenta años.

— *Profe, me generaste una cuestión que quedó sin contestar.* — Expresó Mario interrumpiendo los pensamientos de su compañero de viaje

— Bueno... ¿Qué esperaba? esto no es una clase, estamos en medio de un viaje en tren. Debieron quedarle sin resolver decenas de detalles. Y no solo en temas científicos, sino los culturales, por ejemplo no le comenté de los cuadros de Bruegel “el viejo”. Ahora depende de usted que se ocupe de buscar más información.

— *Si, profe, claro. Pero no me refiero a un detalle. Mayormente diste ejemplos de la Pequeña Edad de Hielo en Europa y en América del Norte...*

— Es que este fenómeno se estudió con mayor profundidad en el Hemisferio Norte donde, además, hay mucha memoria en forma de documentación y de obras de arte.

— *Sí, pero yo me refiero a lo que ocurrió en el Hemisferio Sur. ¿Argentina estuvo afectada por la Pequeña Edad de Hielo?*

— ¡Claro que por aquí se sintieron sus consecuencias! Aunque no se trató de una glaciación su impacto fue global. Pero... como le comenté antes, la Pequeña Edad de Hielo fue un proceso climático muy variable y que se manifestó diferente en cada lugar. En Argentina se ha trabajado mucho sobre esta anomalía climática y desde enfoques a veces insólitos.

— *Supongo que aquí se deben usar las mismas metodologías que en el Norte.*

— Por supuesto, pero ya verá que hay algunas sorpresas. La diferencia fundamental con Europa es que carecemos de documentos o crónicas de la mayor parte de la Pequeña Edad de Hielo. Si bien esta zona del planeta estuvo poblada desde hace más de diez mil años, recién desde 1860 se cuenta con datos instrumentales del clima.

— *Para esa fecha ya había terminado la Pequeña Edad de Hielo, por lo que nos perdimos los datos históricos y solo podemos aprovechar el análisis de muestras.* — Sintetizó Mario.

— Anteriormente a esa fecha los registros escritos son muy pocos y las referencias climáticas son más escasas todavía y, en general, deficientes. A pesar de todo esto hay algunos relatos que tienen un gran valor y son confiables, pero suelen estar acotados a situaciones muy puntuales y, la mayoría de las veces, catastróficas como la erupción de un volcán, una inundación o una sequía. Así, hasta terminado este evento frío principalmente tenemos que aprovechar los datos que podemos obtener de las fuentes que usted ya conoce...

— *...los glaciares, los volcanes, los anillos de crecimiento de los árboles, y las manchas solares* — Interrumpió Mario algo ansioso por demostrar lo aprendido. — *En fin, profe, la mayoría de estos temas los aportamos los geólogos y astrónomos.*

— Ya le dije que no se apure en incluirse como geólogo que le falta mucho camino. Y no se olvide de los paleobotánicos, los ingenieros forestales, los paleontólogos de vertebrados y de invertebrados y los arqueólogos que en Argentina han aportado muchos datos sobre el paleoclima más reciente.

Las investigaciones de todos ellos son coincidentes en que la principal diferencia con el Hemisferio Norte es que en estas latitudes la Pequeña Edad de Hielo fue un fenómeno frío pero seco. Esto implica que predominó la aridez y que ocurrieron procesos erosivos de la superficie.

— *¿Seco y frío? Entonces, si hay poca humedad no se desarrollan las plantas y la erosión genera pérdida de suelos. Supongo que el principal agente erosivo fueron los vientos.*

— Los vientos y el agua. — Completó Sagredo esperando la reacción de Mario.

— *¿Agua? ¿No me decís que fue una época seca?*

— Efectivamente, preponderantemente seca y fría. Pero recuerde que la Pequeña Edad de Hielo se caracterizó por su inestabilidad. Los períodos fríos fueron interrumpidos por otros cálidos, y las sequías por inundaciones. De hecho se pudieron determinar secuencias de sequías alternando con inun-

daciones en ciclos más o menos periódicos. Por ello, la actividad del agua sobre los campos secos y con poca vegetación fue muy erosiva. Aunque las inundaciones hayan sido fenómenos puntuales que duraron poco, sus efectos fueron de alto impacto destructivo. Y no se olvide que los glaciares también ocasionan erosión relacionada con el agua.

— *Pero... profe, ¿cómo se sabe eso si en la región Pampeana no se pudieron estudiar ni los anillos de crecimiento ni los glaciares?*

— Justamente, en esa región no tenemos esos datos, pero en la Patagonia sí. Desde diversos centros de investigación, como el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, que está en la provincia de Mendoza, se han realizado muchos aportes al conocimiento de la Pequeña Edad de Hielo en el Cono Sur de América.

Por ejemplo se reconocieron dos intervalos de frío preponderante: de 1270 a 1380...

— *Esta fecha coincide aproximadamente con el comienzo de la Pequeña Edad de Hielo.*

— Así es, y si no me interrumpe más puedo continuar. Le decía, que son dos intervalos secos. El otro fue de 1540 a 1670. Estos datos fueron obtenidos por el equipo de trabajo del doctor Ricardo Villalba del laboratorio de Dendrocronología e Historia Ambiental de ese instituto. Para estos estudios aplicaron las metodologías dendrocronológicas en troncos de alerces del Norte de Patagonia, con los cuales obtuvieron registros de fechas y de temperaturas de los últimos mil años.

Lo igualmente interesante de estas investigaciones es que estos períodos fríos en plena Pequeña Edad de Hielo coinciden con la actividad de los glaciares patagónicos, en este caso estudiados por el doctor Mariano Masiokas. Como se esperaba a partir de los datos dendrocronológicos, glaciares como el Frías...

— *¡Ah! Se mataron para buscarle nombre al glaciar.*

— Pero no es por “frío” sino por Félix Frías, un político amigo de Sarmiento. Continuando, si me deja... decía que el glaciar Frías tuvo avances que coinciden con las épocas de bajas temperaturas determinadas a partir de los anillos de crecimiento de los árboles. Otro caso interesante es el glaciar Ventisquero Negro cuyos tres avances principales fueron entre 1330 y 1380, el segundo entre 1640 y 1660, y al final de la Pequeña Edad de hielo: entre 1820 y 1850. Fíjese que esos avances de los glaciares coinciden con los tres picos de máximo frío de la Pequeña Edad de Hielo: el Mínimo de Spöerer, el Mínimo de Maunder y el Mínimo de Dalton.

— *Glaciares y dendrocronología, supongo que esos investigadores trabajan juntos.*

— ¿Y por qué cree que el instituto tiene un nombre tan largo? Además, el trabajo científico actual es impensable que no sea colaborativo, la vieja imagen del investigador excéntrico y aislado de mundo es para las películas.

Justamente la integración del conocimiento permitió correlacionar estos fenómenos climáticos con los del Sur de la Patagonia. Luego del período cálido llamado Óptimo Climático Medieval, los glaciares comenzaron a avanzar desde el Siglo XIV, es decir a partir del inicio de la Pequeña Edad de Hielo. Esto Masiokas lo pudo estudiar en el Parque Nacional Los Glaciares, particularmente en el área del Cerro Fitz Roy, en glaciares como el Torre y el Piedras Blancas. Estos glaciares tuvieron sus máximos pulsos de avances en los Siglos XVI y XVII.

— *Pero... ¿Cómo se saben las fechas de avance o retroceso de un glaciar si no hay testigos que lo dejen documentado?* — Mario comenzó a realizar un gráfico que sintetizaba las fluctuaciones del clima en la Patagonia.

— Testigos hay, pero no son personas, sino árboles y moléculas. En estos casos se cruzaron datos de dendrocronología y de fechados radiocarbónicos.

— *¿Fecharon los alerces?*

— No, en el caso del Norte de la Patagonia se fecharon lengas y coihues que fueron arrasados por el avance del glaciar y conservados por el frío. Mientras que en el Sur de la Patagonia se aplicaron diferentes técnicas dendrocronológicas sobre árboles actuales y también sobre árboles secos.

— *Me decís que hubo lapsos de avances de los glaciares, por lo que supongo que también hubo retrocesos asociados a etapas más húmedas. ¿Esto se debe a esa inestabilidad típica de la Pequeña Edad de Hielo?*

— Precisamente Guiducci, es consecuencia de la alternancia de frío y de calor de este período. Pero, además, los glaciares siempre avanzan y retroceden periódicamente, aunque durante este fenómeno frío sufrieron avances más prolongados y preponderantes que en períodos previos (el calentamiento medieval) y posteriores (el calentamiento actual).

Un aspecto resaltante de estos datos de los investigadores de Mendoza, y que los hace más confiables, es que se corresponden y complementan con resultados obtenidos en Chile. En el país vecino, a través del análisis dendrocronológico y de glaciares, se pudieron determinar alternancias de épocas húmedas y secas durante la Pequeña Edad de Hielo.

De este modo, y gracias a la precisión de la dendrocronología, se logró plantear un modelo climático caracterizado por: períodos de inviernos secos en

Chile seguidos por veranos fríos en Patagonia, y etapas de inviernos lluviosos en Chile seguidos por veranos cálidos en Patagonia. Estas oscilaciones de períodos secos y húmedos, además, están influidas por el fenómeno cíclico de la corriente del Niño que en esa época fue afectado por esta anomalía climática fría.

— *Claro, en el Sur del continente el océano influye más en el clima. ¿Y por esta región no hubo influencia de volcanes?*

— No tanto como los casos del hemisferio Norte, pero en el año 1600 el volcán Huaynaputina, en Perú, tuvo una gran erupción que emitió grandes cantidades de gases y ceniza a la atmósfera. Todavía se estudian estas cenizas que generaron capas espesas en el suelo. Los registros de la época se refieren a lluvias de ceniza a más de mil kilómetros del volcán, lo que estuvo favorecido por su altura de más de 4.800 metros. En la ciudad de Arequipa muchos tomaron las emanaciones de ceniza y fuego como el fin del mundo ¹. El desconocimiento de los fenómenos naturales de la época no solo promovió las supersticiones sino el miedo bélico. Como en el caso del volcán Tambora los colonizadores también creyeron que los estaban atacando a cañonazos ².

— *Seguramente la ceniza y sobre todo los gases de azufre ocasionaron una disminución de la incidencia de luz solar debido al afecto aerosol.*

— Sí, y bastante. Las explosiones y temblores se iniciaron en Febrero y terminaron en Marzo, algunos registros hablan de más de diez días de oscuridad casi total ³. Sus efectos se sintieron en el Hemisferio Norte, hasta en Rusia y China, con oscuridad y disminución de la temperatura de casi un grado. Esta erupción no fue tan grande como la del Tambora pero fue muy fuerte. Además de la muerte de animales y de unas mil quinientas personas en Perú, están documentados los efectos sobre los viñedos, ya que se perdió la cosecha de vino durante varios años y la actividad agropecuaria recién se recuperó unos 18 años después.

Sagredo hizo una pausa y, para que Mario no pierda lo central del relato, agregó:

— Los daños fueron muchos, varios pueblos se vieron afectados seriamente, pero como en los casos de otros volcanes, la alteración del clima no se extendió más de un año o dos. Lamentablemente fue en medio de la Pequeña Edad de Hielo, lo cual profundizó el frío.

En este caso la catástrofe fue documentada por el cronista indígena Guaman Poma, el cual también realizó ilustraciones de las ciudades de Arica y Arequipa bajo la ceniza. Los dibujos los puede consultar en internet ⁴.

— *¿No hay pinturas de los efectos de este volcán en Argentina?*



En Perú todavía hay grandes acumulaciones de ceniza de la erupción del volcán Huaynaputina del año 1600. En la imagen se ve la boca del volcán, con miles de metros cúbicos de ceniza.

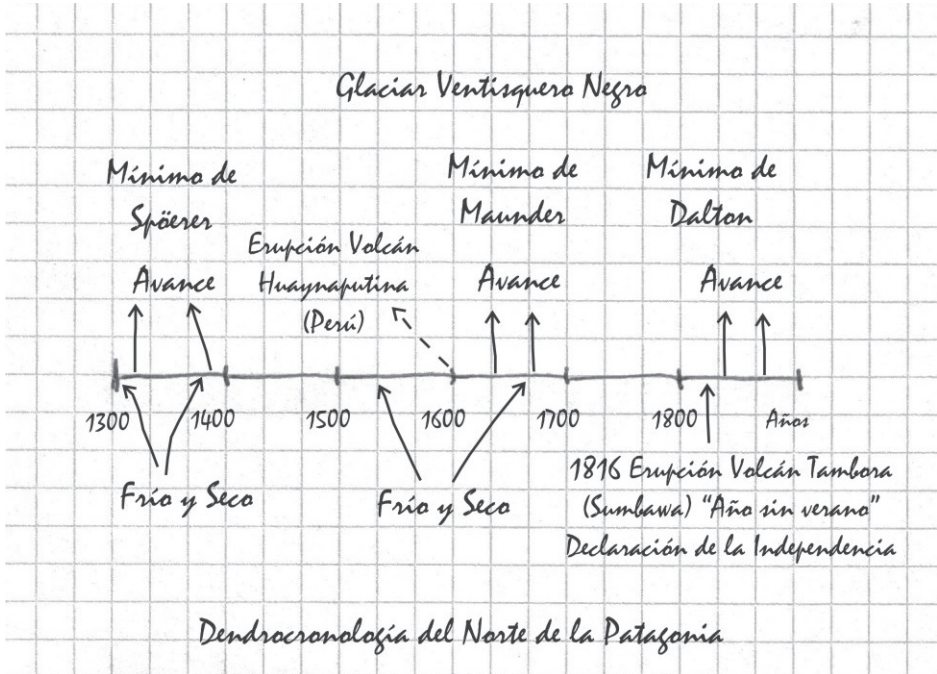
Foto: gentileza de Jean-Claude Thouret.



Grabado de F. Guamán Poma en el que representa la erupción del volcán Huaynaputina y su impacto en la ciudad de Arequipa.

— Bueno, Argentina todavía no existía, pero que yo recuerde no hay. El cuadro que podría estar relacionado con una erupción es “El Fuerte y la Playa Baja” de Emeric Essex Vidal que retrata al fuerte de Buenos Aires durante 1816. Se ve un paisaje desapacible, casi gris, con el cielo monocromo y con muchas nubes oscuras.

— *El año de la Declaración de la Independencia, y coincide con la erupción del volcán Tambora.* — Anotó este dato y dio por terminado su gráfico. — *Por suerte, profe, actualmente las erupciones no generan tanto daño.*



— Ni suerte, ni “profe”. Ahora sabemos que los volcanes son un fenómeno natural y hay mucha gente que los estudia, principalmente a los que están activos. De todos modos en épocas recientes las erupciones no fueron tan fuertes. La más grande fue, durante 1980, la del Monte Santa Elena en Estados Unidos y ni se acercó a las del Tambora o el Huaynaputina. Este conocimiento, y no la suerte, nos permite prevenir, por lo que contamos con sistemas de alarma para alertar y ayudar a los posibles afectados.

Y hablando de alarma — continuó Sagredo mirando hacia afuera — lo que se escucha es la chicharra de la estación Gonnet, que sigue tan pequeña como siempre.

— *Debe ser para estar a tono con La República de Los Niños.* — Agregó Mario.

Gonnet

Con la lengua seca

Mientras el tren terminaba de detenerse en la estación ambos pasajeros percibieron el silencio y la quietud que tanto resaltaba con las terminales más grandes como Constitución o La Plata. Este contraste le promovió a Mario una asociación con las diferencias de la Pequeña Edad de Hielo entre ambos hemisferios terrestres.

— *Profe, ¿Además de los datos de anillos de crecimiento y de glaciares, hay otras fuentes que sostengan que este período frío en estas latitudes fue, además, seco?*

— Por supuesto, póngale la firma. Procesos naturales tan fuertes y que impactan tanto en el ambiente dejan su sello documentado de diversas maneras que pueden ser estudiadas.

— *¿Firma, sello, documento? Sospecho que te referís a archivos históricos, a datos de cronistas o informes oficiales ¿No decís que hay poca documentación de esta época?* — Expresó Mario con un leve tono de burla, mientras el tren retomaba su marcha.

— ¡Ah! Ahora le agarró por la veta cómica, al menos dejó las referencias a las películas. Como le comenté antes, comparado con Europa, China y Asia hay poca documentación acerca del clima durante la colonia y, a partir de la revolución de Mayo, recién hacia 1860 se cuenta con datos instrumentales, pero de unas pocas localidades. Esos datos de tiempos pre independientes provienen de documentos del Cabildo de Buenos Aires y de crónicas de sacerdotes y de exploradores, algunas de las cuales también llegan hasta fines del Siglo XIX.

— *Bueno, entonces hay bastante información.*

— Los historiadores han hecho mucho esfuerzo para encontrar datos directos referidos al clima, como lluvias y temperaturas, o datos indirectos, como la presencia de alguna especie animal o la calidad de las aguadas. El problema es que los cronistas no tenían como una práctica cotidiana describir o relevar los datos del clima, de modo que la mayoría de las observaciones corresponden a situaciones que llamaban la atención por lo inusitadas. Sería el caso de los relatos de la erupción del volcán Huaynaputina, que le comenté llegando a Gonnet, o de alguna lluvia extraordinaria o la mortandad de animales con valor comercial.

Así, hasta fines del Siglo XIX hay algún dato documental, pero es el resultado de observaciones asistemáticas y orientadas a eventos catastróficos. Sin su complementación con otras fuentes objetivas y contrastables, la reconstruc-



Reconstrucción de cómo habrían sido las grandes acumulaciones de esqueletos de ganado descritas por los cronistas en la región Pampeana.

Foto: gentileza de Gustavo A. Martínez.



Yacimiento paleontológico de la Gran Seca ocurrida entre 1827 y 1832.

En esta barranca del río Salado se aprecia el alineamiento de huesos de vacas, caballos y ovejas.

Foto: gentileza de Ricardo Bonini.

ción del clima de la Pequeña Edad de Hielo en el Cono Sur de América sería muy incompleta.

— *¿Pero entonces si no hay mediciones directas cómo se puede interpretar el clima de la época colonial usando documentos?*

— Se pueden hacer aproximaciones. Por ejemplo, en los archivos oficiales todavía se guardan las Actas del Cabildo de Buenos Aires que se refieren al período entre 1589 y 1821. En esos documentos se resaltan los años particularmente secos o los que prevalecieron las inundaciones, diferenciándolos de los años que eran considerados “normales”. El doctor Gustavo Politis, arqueólogo de la Universidad de La Plata, analizó estos datos y pudo verificar que, en la región Pampeana, el Siglo XVIII fue muy seco, con sequías prolongadas de hasta cuatro años. Los cabildantes expresaron que entre 1690 y 1790 casi el 70% de los años fueron secos. Lo mismo ocurrió en la primera década del Siglo XIX...

— *Entonces el cuadro de los revolucionarios del 25 de Mayo en medio de la lluvia es una fantasía.*

— Pudo haber sido una interpretación del artista, de todos modos en 1810 ya la sequía estaba terminando. Además, que haya sequía no implica necesariamente, que nunca llueva sino que llueve por debajo de lo esperado generando un déficit hídrico.

Esta situación de sequía la sufrió un grupo de marineros ingleses que quedaron varados en los alrededores de Mar del Plata durante 1746. Entre ellos estaba Isaac Morris que relató las dificultades para hallar agua o, más bien, agua dulce ya que muchos cursos eran salobres y no se podían beber.

— *¡Pobres! Además que se quedaron varados no tenían agua.*

— ¡Eso no es nada! También los capturaron los indios y no los trataron nada bien.

— *¿Hay otras crónicas de la época?*

— El mismo paisaje seco fue descrito dos años después por los sacerdotes que intentaron someter a los pueblos originarios de la actual provincia de Buenos Aires. En 1748 Joseph Cardiel fue llevado al Sur de la provincia por un grupo indígena con la promesa de hacerle conocer el asentamiento principal, la “capital”, donde estaría el cacique de todos los caciques con supuestas riquezas para apropiarse. Pero, en lo que fue una broma bastante pesada, resulta que esa capital no existía y los indígenas lo abandonaron en medio de la nada y a pie, ya que se llevaron todos los caballos. La expedición había partido de la Reducción del Pilar que estaba en Laguna de Los Padres,

cerca de la actual Mar del Plata, por lo que Cardiel debió regresar caminando a través de la pampa. Lo interesante de esta travesía es que el sacerdote, además de sobrevivir, realizó muy buenas observaciones de su penosa experiencia. Resaltó la dificultad para hallar agua, la escasez de pastizales y la abundancia de zonas arenosas. Cardiel se refirió como “desierto de arena” a una zona que, como consecuencia de un régimen hídrico mayor, actualmente se desarrollan pastizales.

— *Parece que los que caían por esa zona la pasaban bastante mal por la sequía.* — Expresó Mario mientras tomaba notas de la exposición de Sagredo.

— Así es, aunque nada comparable al relato de otro sacerdote que pone los pelos de punta porque cuenta que la mortandad de caballos generó acumulaciones de cuerpos que desde lejos se confundían con lomas ⁵. Pero también quedaron registradas las inundaciones, posteriores a las secas, que fueron características de este período en la región Pampeana. El mismo sacerdote relató que, los curas que se quejaban de la seca de 1748, tuvieron una travesía muy complicada por el anegamiento de 1751 cuando debieron huir de la Reducción del Pilar.

Otro de los sacerdotes de esa reducción, Thomas Falkner, expresó que el río Samborombón estuvo casi seco la mayor parte del año 1774 y que lo mismo ocurrió con otros cursos de agua importantes. Esto coincide con las observaciones de los militares de la Guardia del Zanjón (una pequeña guarnición militar del Partido de Brandsen): durante 1758, 1768 y 1780 los comandantes se quejaron de la falta de agua y de pasturas para los caballos.

Mientras escuchaba a su circunstancial profesor, Mario intentaba hacerse una imagen mental de la Pampa Húmeda durante su época seca y fría, y se preguntaba cuándo terminó la sequía para dar inicio a este período húmedo y cálido que llega hasta el presente.

— *Así que en 1810, luego de esa primera década de sequía fuerte, comenzaron los años de mayor humedad.*

— No, la Pequeña Edad de Hielo termina casi al mismo tiempo que en Europa, a mediados del Siglo XIX. En 1810 termina un período de diez años de sequías fuertes, pero la escasez de lluvias se prolongó más tiempo. De hecho esta situación se pudo estudiar, incluso, a partir de las construcciones de casas y edificios en la ciudad de Buenos Aires como se muestra en un estudio realizado por Jorge Deschamps, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Belgrano, junto a Osvaldo Otero y al paleontólogo Eduardo Tonni, ambos de la Universidad de La Plata. Esta investigación muestra que en las construcciones preponderaban los techos planos hasta las primeras dé-

cadras del Siglo XIX, es decir que el escurrimiento de agua de lluvia no era un problema. Además pudieron demostrar que hasta 1842 (cuando termina la Pequeña Edad de Hielo) había más años de sequías que de inundaciones, pero a partir de esa fecha esta relación se invirtió.

Con posterioridad a 1810 todavía hubo eventos de sequía importantes, es decir el proceso de retorno a la humedad y a mayores temperaturas no fue gradual. Entre 1827 y 1832 ocurrió una sequía muy fuerte, que afectó a cientos de miles de animales y disminuyó, casi a nada, el caudal de los cursos de agua de la provincia de Buenos Aires. Entre esos años hubo muchas menciones a enormes tormentas de polvo y esta sequía recibió el nombre de “la Gran Seca”. Una de las consecuencias de esta Gran Seca fue la ampliación del territorio de especies animales que actualmente habitan en la Patagonia o la Pampa Seca, lo que manifiesta la aridez preponderante de este pulso de la Pequeña Edad de Hielo.

— *¿Y se conocen crónicas de esa Gran Seca?*

— Bastantes. Por ejemplo el naturalista francés Augusto Bravard relató en el Registro Estadístico del Estado de Buenos Aires que todo el país se transformó en un inmenso desierto. Describió las tormentas de polvo que enterraban a animales muertos y vivos, la falta de agua y la ausencia de plantas. También hizo referencia a un fenómeno que jamás pudo corroborarse científicamente: la lluvia de lodo. Bravard cuenta, a través de terceros, que las tormentas de polvo a veces alcanzaban una gran altura hasta ponerse en contacto con la humedad de la atmósfera. En ese estado las partículas de polvo se hidrataban y, mojadas, caían por gravedad a modo de una lluvia de barro.

Sin embargo, una de las crónicas más interesantes fue realizada nada menos que por Carlos Darwin cuando recorrió esta región durante su travesía con el célebre barco Beagle. Darwin quedó muy impresionado, sobre todo por la gran mortandad de animales ⁶. En este caso también se generaron grandes acumulaciones de animales muertos como en 1748. Lo interesante es que Darwin se hizo preguntas, que parecen adelantarse a sus ideas evolucionistas, de cómo los científicos iban a explicar, en el futuro, semejante cantidad de cadáveres. Él pensaba que los esqueletos iban a enterrarse de modo natural al año siguiente y que los geólogos podrían interpretarlo como el resultado del diluvio bíblico y no por una inundación natural ⁷. Hay que aclarar que muchos geólogos de la época todavía estaban influidos por los relatos bíblicos y la idea de un mundo inmutable.

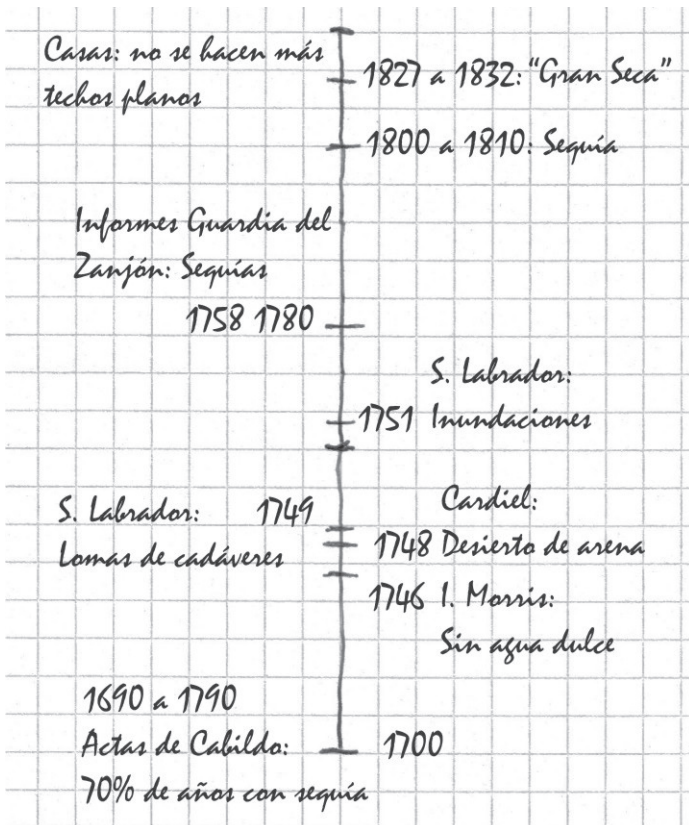
— *Pero ¿por qué Darwin se refiere a una inundación natural si está describiendo una sequía?* — Preguntó mientras terminaba de graficar una síntesis de las sequías bonaerenses.

— Por el ciclo de secas e inundaciones que le hablaba antes. La inundación posterior a la Gran Seca ocasionó una erosión hídrica que impactó fuertemente mezclando, moviendo, rompiendo y enterrando a esos miles de esqueletos entre el barro arrastrado por el agua. De hecho la mayoría de esos animales desaparecieron muy rápido del paisaje porque fueron transportados por los cursos de agua.

— ¿La mayoría? ¿Querés decir que todavía quedan restos de esos esqueletos?

— Por supuesto, pero no fue tan fácil hallarlos. Los paleontólogos son ingeniosos para encontrar este tipo de registros.

— ¿Ingeniosos? ¿Me lo decís por Ringuelet, el de la estación?



— ¡Já! Esta vez no, era solo un modo de decir. Además, antes que citar a Augusto, el ingeniero del ferrocarril, me hubiera referido a su nieto Raúl, el zoólogo que fue docente de la Universidad de La Plata y realizó muchos aportes a la biología de los insectos.

— *Sí, profe, hay pocas estaciones con nombres de científicos. Como sea, ya estamos entrando en la estación. Espero que no se demore más porque si no me pierdo la clase de geomorfología.*

— ¿Esa clase no la da la profesora Gamba?

— *Sí.*

— Entonces no se pierde la clase: usted me dijo que vio a la profesora en el tren.

Ringuelet

Desenterrando el clima

Sagredo miró el andén mientras el tren se detenía con una frenada brusca, de esas que hacen golpear a los vagones entre sí. Al ver el edificio de la estación casi igual después de tantos años le pareció que el tiempo no había pasado. Todavía mantenía ese rasgo que la diferencia de la mayoría de las estaciones: las puertas, ventanas y otros detalles enmarcados por una sobria pero distintiva ornamentación de ladrillos a la vista. Le comentó esa situación a Mario haciendo énfasis en que muchas cosas pueden cambiar a lo largo del tiempo mientras que otras permanecen casi inmutables.

— *Como el clima y los esqueletos de la Gran Seca.* — Comentó el alumno.

— ¿A qué se refiere Guiducci?

— *A que el clima en la actualidad retornó a una condición más cálida y húmeda, pero los esqueletos de los animales muertos a principio del Siglo XIX permanecen como cuando fueron barridos por la inundación. Pero... ¿al final los paleontólogos encontraron los esqueletos de esa famosa sequía?*

— Muy poco en relación con la gran cantidad de animales que murieron. Recién durante el año 2008 se publicó el estudio de un yacimiento, hallado por el paleontólogo Ricardo Bonini, cuyos esqueletos tienen evidencias que se corresponden con una mortandad masiva y catastrófica de ganado. Lo interesante es que las características del depósito, como predijo Darwin, indican los efectos de una sequía seguida de una inundación. Se trata de un gran conjunto de esqueletos de vacas, caballos y ovejas en una pequeña barranca lindera al río Salado, en el partido de Chascomús. Los huesos ocupan un área de unos 70 metros y se disponen en una zona que, en la época, era favorable para que los animales se acerquen a abreviar en el río durante los años de sequía. Bonini encontró los huesos enterrados a unos 50 centímetros de profundidad, se veían saliendo de la pared de la barranca alineados y sobre una

misma superficie. Seguramente antes de ser movidos por el agua formaron una gran acumulación.

— *Por lo que me decís, todo coincide con las condiciones de la Gran Seca ¿pero cómo saben que esos animales murieron justamente durante ese fenómeno y no en una seca anterior?*

— Buena pregunta Guiducci. La tarea no fue fácil pero representa un caso interesantísimo de la Pequeña Edad de Hielo en el que se pudo relacionar un fenómeno climático, un hecho histórico relatado por Darwin y las evidencias paleontológicas. Por la complejidad del estudio se asociaron varios paleontólogos con los miembros del Laboratorio de Tritio y Carbono 14 de la Universidad Nacional de La Plata ⁸. De este modo estudiaron las características de los huesos y también los fecharon aplicando una técnica refinada que permitió asignar el conjunto óseo a un lapso comprendido entre el año 1827 y 1830, lo cual coincide con la Gran Seca.

— *¡Yo que creía que los paleontólogos solo estudiaban dinosaurios! Nunca pensé que con huesos de vacas y caballos muertos hace 200 años se podría analizar el clima del pasado.*

— Y no solo con esos animales. Un problema para el estudio de los fósiles de la Pequeña Edad de Hielo es la escasez de estratos donde se haya preservado la evidencia paleontológica...

— *Eso porque dijiste que la Pequeña Edad de Hielo en el Cono Sur fue un fenómeno árido y con gran impacto de la erosión.*

— Así es, la erosión alteró el depósito de los sedimentos que contienen a los huesos, entonces es muy difícil hallar registros de esa época. Pero, como le señalé antes, los paleontólogos son muy ingeniosos para encontrar las evidencias del pasado. Por ejemplo, a falta de glaciares o anillos de árboles en la pampa la doctora Cecilia Laprida, de la Universidad de Buenos Aires, se fue a investigar los depósitos del fondo de las lagunas en busca de ostrácodos fósiles.

Mario se quedó mirando desconcertado.

— Los ostrácodos son crustáceos, como los cangrejos, pero muy pequeños, casi microscópicos y que tienen una o dos valvas que recubren su cuerpo. La cuestión es que Laprida trabajó con muestras del fondo de la laguna de Chascomús...

— *¿Sacó testigos como los de hielo?*

— Justamente, pero de barro y mucho más pequeños: no superaron los 40 centímetros. Pero no se deje engañar porque en este caso el tamaño no im-

porta. Los núcleos de barro fueron analizados de muchas maneras: las capas de sedimento, sus propiedades físicas (magnéticas), su composición química en metales pesados y carbono, se efectuaron fechados radiocarbónicos y, por supuesto, se estudiaron los ostrácodos.

Esos testigos resultaron representar una secuencia de 500 años de antigüedad...

— *Abarca la Pequeña Edad de Hielo.*

— Sí, y el estudio de todos esos datos combinados dieron una información muy rica. Por un lado, las capas más antiguas, hasta fines del Siglo XVII, indican que hubo largos períodos húmedos. Aunque las asociaciones de ostrácodos también muestran algunos períodos secos caracterizados por una mayor salinidad de la laguna y mortandades masivas de estos crustáceos.

— *Como en la Gran Seca pero con bichos microscópicos, profe.*

— Ni profe, ni bichos. Pero sí, el resultado es un depósito producido por muertes numerosas y cercanas en el tiempo. Lo interesante es que, coincidiendo con los datos históricos, en las porciones de los testigos de sedimento que corresponden al Siglo XVIII y la primera parte del XIX aparecen características de sequías prolongadas. De hecho, en una parte de la muestra, Laprida encontró una asociación de ostrácodos cuyas características indican que estarían relacionados con la Gran Seca.

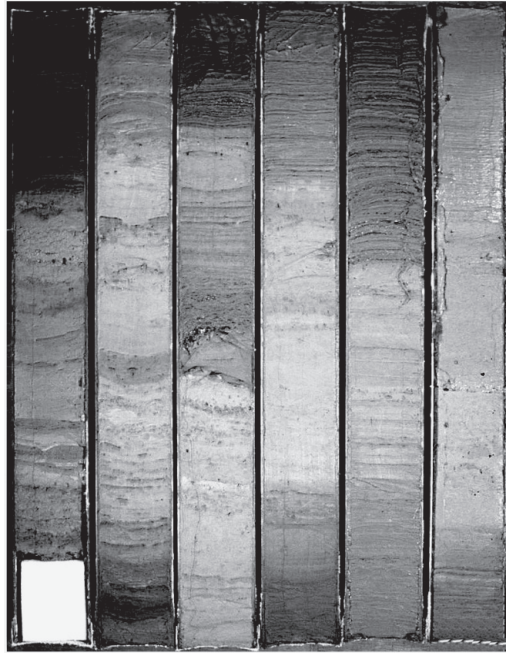
Lo importante es que el modo en que se fue sucediendo la Pequeña Edad de Hielo en el Cono Sur también se va confirmando y enriqueciendo con datos de investigadores que trabajan con otras fuentes como los sedimentos o el polen. Un aporte interesante es el que hacen los arqueólogos que estudian las sociedades indígenas.

— *Pero... ¿Los indígenas dejaron documentos?*

— No los tradicionales de papel, pero sí otro tipo de documentos muy valiosos ya que se pueden estudiar desde varios enfoques y a través de técnicas minuciosas. Los pueblos originarios produjeron evidencias de su comportamiento, y de cómo se relacionaban con el medio ambiente. Un aspecto que nos brinda mucha información es el modo en que se apropiaban de especies animales y vegetales para la subsistencia...

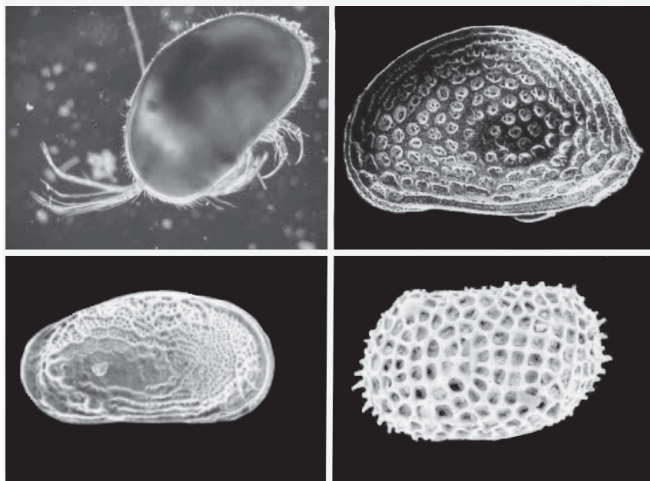
— *Es decir, lo que comían.*

— No solo el alimento, ya que algunos animales también eran usados para confeccionar vestimenta con los cueros, herramientas con los huesos, ornamentos con los caracoles o ataduras con los tendones. El resultado de toda esta actividad es que incorporaban en sus asentamientos una gran cantidad de



Estos testigos contienen sedimentos donde se pueden analizar microfósiles, contenidos minerales e isótopos. En cada tubo se ven claramente las capas que componen el fondo de una laguna.

Foto: Wikipedia, H. Grobe.



Los ostrácodos son invertebrados microscópicos acuáticos cuyas valvas pueden adquirir ornamentaciones complejas. Sus fósiles permiten conocer el desarrollo de la Pequeña Edad de Hielo.

desechos de muchas especies de animales que podemos estudiar para interpretar el clima del pasado.

— *Lo que no entiendo es por qué los arqueólogos son los que estudian estos restos y no los paleontólogos.*

— Porque se trata de animales que aparecen en las excavaciones de asentamientos indígenas, su estudio es importante para conocer el modo en que sus ocupantes se relacionaban con el paisaje, y para determinar el clima en el que se desarrollaban estas sociedades. Para ello se creó una disciplina específica que se denomina zooarqueología, y en esos estudios suelen participar paleontólogos. En Argentina Florentino Ameghino fue pionero en integrar la paleontología con la arqueología. Pero en tiempos recientes abrieron nuevas perspectivas de investigación los estudios del arqueólogo Gustavo Politis junto al paleontólogo Eduardo Tonni de la Universidad de La Plata. Ellos plantearon en la década de 1980 la importancia de analizar, geográfica y temporalmente, la distribución de los animales que aparecen en los sitios arqueológicos.

— *Bueno, pero antes me dijiste que como la Pequeña Edad de Hielo fue un proceso erosivo hay poca evidencia material para estudiar, y no creo que los pueblos originarios hayan vivido dentro de las lagunas.*

— Es cierto, hay muy poca evidencia de la actividad indígena en ese lapso tan frío, pero contamos con muchos datos de tiempos previos y posteriores. De modo que la comparación entre ambos momentos nos muestra el cambio ocasionado durante la Pequeña Edad de Hielo. Por ejemplo, la doctora Diana Mazzanti, del Laboratorio de Arqueología de la Universidad Nacional de Mar del Plata, determinó que desde fines de la Pequeña Edad de Hielo hubo un cambio sustancial en el modo de vida de las sociedades indígenas y en la fauna que habitaban las sierras de Tandilia.

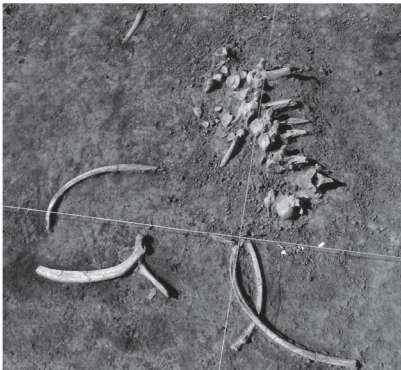
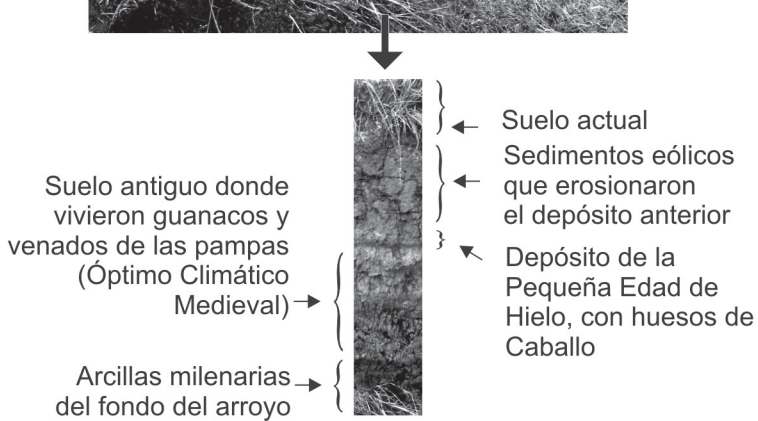
Entre el Siglo X y el XIII los pueblos originarios de esa zona habían desarrollado un tipo de vínculo con el paisaje que involucraba la incorporación de casi todas las especies animales que valían la pena comer: guanacos, venados, vizcachas, ñandúes, armadillos, coypos, peces, aves, lagartos y hasta cuises.

— *Bueno... todas las especies no porque no aprovecharon las vacas ni las ovejas.*

— ¡Usted siempre opina sin considerar las evidencias! ¿No le digo que esto ocurrió hace mil años? Los animales que usted nombró son exóticos y, al igual que los caballos, fueron traídos en los barcos españoles después del Siglo XVI.

Le decía, que el equipo de la Dra. Mazzanti estudió varias cuevas serranas

El registro de la Pequeña Edad de Hielo en la barranca de un arroyo bonaerense



La excavación del estrato de la Pequeña Edad de Hielo brindó numerosos huesos de caballo y ñandú.

Los guanacos, venados y otras especies autóctonas que abundaban durante el período cálido medieval desaparecieron de la región durante el proceso frío y seco posterior.

como Cueva Tixi, Cueva El Abra y Lobería I con un abundante registro de fauna fósil reciente. En esos sitios arqueológicos, además de las especies cazadas por indígenas, hay una enorme cantidad de otras especies silvestres, entre ellas roedores y marsupiales que actualmente se distribuyen en áreas subtropicales. Pero esas especies actualmente ya no habitan el área donde está el sitio arqueológico.

— *¿Estaban en esa región porque todavía no había comenzado la Pequeña Edad de Hielo?*

Luchando contra el movimiento del tren, Mario comenzó un nuevo gráfico en el que indicaba las variaciones del clima y su efecto en la fauna.

— Exactamente, eran los tiempos finales del Óptimo climático Medieval...

— *Entonces mientras los vikingos estaban en Vinlandia y Groenlandia por acá los indígenas se hacían festines de guanaco y vizcachas en medio de un clima húmedo y cálido.*

— De algún modo fue así, aunque necesitamos aumentar la información para tener más precisiones, más detalles. Lo interesante del caso...

— *Ya sé: el fenómeno que se determinó en las sierras de Tandilia coincide con lo que estudiaron otros arqueólogos en otra parte.*

— Así es, muchos arqueólogos coinciden en hallar sitios arqueológicos con fauna del período cálido que, después de la Pequeña Edad de Hielo, se retrajo a otras áreas. Por ejemplo, en el instituto de Investigaciones Arqueológicas y Paleontológicas del Cuaternario Pampeano, el arqueólogo Gustavo Martínez estudia sitios arqueológicos de menos de mil años en el curso inferior del río Colorado. Junto a la doctora Luciana Stoessel y otros colaboradores, hallaron especies de ambientes cálidos y húmedos, como el escuerzo común, que luego del período seco y frío ya no habitan más en esa zona. Situaciones similares ocurren en sitios arqueológicos de la llanura o de la Depresión del Río Salado, en el Noroeste y en Cuyo.

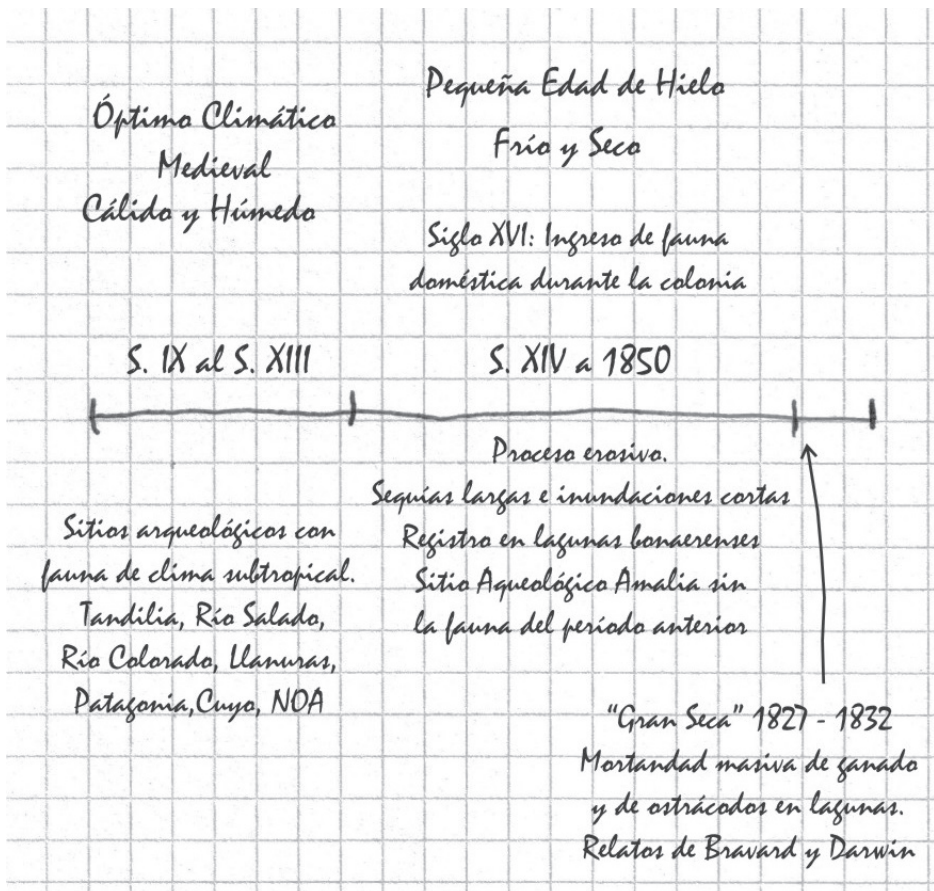
— *¿Y fuera de las lagunas nunca encontraron capas de sedimentos de la Pequeña Edad de Hielo?*

— El equipo de Mar del Plata, estudiando los indígenas de las sierras, pudo hallar en la Localidad Arqueológica Amalia un estrato, a orillas del Arroyo Chocorí, en el que hubo un gran asentamiento indígena durante la Pequeña Edad de Hielo. En esa capa de tierra notaron que las evidencias culturales y naturales habían cambiado sustancialmente. Los pueblos originarios tenían costumbres distintas: abandonaron el modo de vida cazador-recolector y ahora eran pastores. Explotaban las enormes manadas salvajes de vacas y

caballos que había en la Pampa. Además, muchas especies que antes eran comunes ya no habitaban en las sierras, como el guanaco, el venado y varias especies de roedores. Las poblaciones de roedores y armadillos de clima más cálido se habían extinguido localmente.

Y justamente lo que hallaron en la barranca de ese arroyo fueron huesos de caballo que fueron consumidos por los indígenas. En tanto que estas personas ya casi no consumían fauna silvestre y manejaban manadas de vacas y caballos, se trata obviamente de tiempos posteriores a la conquista española. Los fechados de carbono 14 y los objetos culturales del asentamiento indican que este cambio en la fauna ya había ocurrido hacia mediados del Siglo XVIII.

— Es decir, profe, que el impacto de la Pequeña Edad de Hielo afectó a las poblaciones de varias especies animales al extremo de desplazarlas para siempre de esas sierras. — Afirmó mientras terminaba el gráfico.



— Así es y esto pudo confirmarse en varias zonas de la pampa aunque las capas de la Pequeña Edad de Hielo se hayan perdido por la erosión. Como

ve, trabajando a conciencia y sin interrupciones los estudios son confiables y, cuando ocurre eso, coincide con la información de otros investigadores de modo que se llega a conclusiones similares.

— *Así es profe, pero a donde estamos llegando ahora es a Tolosa.*

Tolosa

El clima del pasado en... las plantas

— Efectivamente Guiducci, estamos en Tolosa, su puente peatonal de hierro es inconfundible y además mire allí está el tren “bobinero” haciendo su maniobra para ir a la planta de Ensenada. Ya estamos por llegar.

— *Profe, después de lo que me contaste de los ostrácodos, los huesos animales de los sitios arqueológicos, los testigos de hielo o los anillos de crecimiento de los árboles ya no me sorprende ningún tema que se pueda investigar para conocer el clima del pasado.*

— ¿Seguro? — Preguntó Sagredo casi sin mirarlo y sin poder evitar una leve sonrisa.

Mario hizo una pausa porque sabía, por el tono, que el desafío venía con alguna trampa, pero se animó a contestar.

— *Bueno, casi. Además de todo eso me hablaste del polen, los testigos de sedimento de las lagunas, las plantas, los volcanes... no se me ocurre nada extraordinario para investigar el clima.*

— Caca de rata.

— ¿Qué?

— Caca de rata.

— *¿Es un chiste? ¿Te burlás por algo que dije? Mirá que ya aprendí que debo informarme mejor y voy a buscar datos para corroborar lo que me digas.*

— No Guiducci, no me burlo. Y celebro que esté dispuesto a practicar la duda inteligente o, como dice Mario Bunge, el escepticismo científico, ya que la duda absoluta es tan irracional y destructiva como la creencia absoluta.

Pero resulta que es posible conocer el clima de la Pequeña Edad de Hielo estudiando caca de rata. Los que lo hicieron fueron el arqueólogo Roberto Bárcena y la investigadora Mariana Dacar, del Centro Regional de Inves-

tigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza, que analizaron nidos y excrementos de un roedor silvestre de Mendoza.

— *¿Si la caca de esos roedores era de la época de la Pequeña Edad de Hielo, cómo se conservó tanto tiempo*

— ¡Y eso no es nada! los excrementos más antiguos que encontraron tienen 7.000 años. El clima seco ayudó a que no se degradaran pero, además, ocurrió un fenómeno extraordinario que fue crítico para su conservación y para crear una especie de sello contra la contaminación. Se denomina proceso de “ambarificación”, aunque no se trata de ámbar de árbol, sino que son las deyecciones de los roedores que se secan y cristalizan.

— *¿Deyecciones?*

— Orina de los roedores.

— *¿Me decís que los excrementos de esos bichos se conservaron por la orina cristalizada?* — Mario no pudo evitar la expresión de repulsión y pensó “esto no lo dibujo”.

— Sí, y gracias a las propiedades químicas de la orina, y al ambiente seco, se conservó la materia orgánica incluida en los excrementos. La orina cristalizada genera una especie de matriz que protege contra la putrefacción, por la acción de la urea, y contra los factores climáticos debido al blindaje que brinda la cristalización.

Una vez procesados los estercoleros para acceder a la materia orgánica de su interior, Bárcena y Dacar hallaron restos medio digeridos de más de 25 especies de plantas. Como los estercoleros eran profundos se las ingenieron para realizar fechados de Carbono 14 y asociar fechas de cada contenido vegetal de los excrementos. Así, pudieron determinar, para cada época, qué vegetales estaban disponibles en el ambiente para que los roedores lo consuman.

Como usted sabe la distribución de las plantas depende fuertemente de las condiciones climáticas, de modo que al analizar el contenido vegetal de los excrementos estos investigadores pudieron aportar mucha información de la Pequeña Edad de Hielo obtenida por métodos no tradicionales. Por ejemplo, las plantas indican que entre los Siglos XIV y XV el clima era preponderantemente frío y húmedo en Mendoza, pero hacia los Siglos XVII y XVIII el frío característico de esta época transcurrió en un ambiente seco.

— *Eso coincide con los resultados de las lagunas y de los sitios arqueológicos de Buenos Aires.*

— También con el comportamiento de los glaciares patagónicos y con las crónicas. Tenga en cuenta que durante fines del Siglo XVII y principios del

XVIII el planeta estaba bajo la influencia del enfriamiento ocasionado por las pocas manchas solares del Mínimo de Dalton. Por lo que es razonable que todos esos estudios coincidan aunque sea en grandes rasgos.

— *Por lo que me decís, coincide todo: la paleontología, la dendrocronología, los glaciares, los relatos, el sedimento del fondo de las lagunas, las construcciones de las casas, y... bueno... esto de los roedores mendocinos. Parece que ya está todo resuelto acerca de la pequeña Edad de Hielo en Argentina.*

— Ni por asomo está resuelto. Hay muchas dudas, numerosas inconsistencias que se deben interpretar mejor o repetir los análisis para corroborarlas. Queda mucho por conocer, y de lo conocido mucho por profundizar y completar. En la ciencia nada es definitivo, eso es lo interesante. De hecho, resulta perjudicial para el avance del conocimiento afirmar que los logros científicos son absolutos y están terminados o que hemos dominado la comprensión de la naturaleza. Justamente lo atractivo del conocimiento científico es que a cada avance surgen nuevas preguntas. Posiblemente sea, justamente, esa capacidad para hacer buenas y nuevas preguntas sobre el universo lo que caracteriza a la ciencia y la ubica en el lugar de relevancia para obtener conocimiento confiable. Y por confiable no me refiero a infalible y definitivo, sino a verificado, probado, que “funciona” pero que es posible de ser cuestionado y puesto a prueba de modo indefinido.

De pronto el vagón se oscureció y el tren disminuyó su marcha.

“Llegamos a La Plata” dijeron ambos. Mario cerró y guardó el cuaderno en el que Sagredo había garabateado algunos gráficos y que todavía sostenía en su mano. El profesor nuevamente se sorprendió por amagar a tomar el maletín que ya no usaba. “Vuelta a la realidad, en cuanto baje ya soy jubilado oficialmente” pensó.

La Plata

Termina la estación fría

Ya en el andén ambos compañeros de viaje se detuvieron a despedirse.

— *Entonces profe, el clima es una cosa complicada nunca sabemos qué nos va a tocar.* — Reflexionó Mario antes de seguir su camino y sin animarse a la cita filmica de la caja de bombones.

— El clima es medio loco, sí, pero conociendo lo que ya pasó tenemos que aprender a ajustar nuestras afirmaciones sobre el futuro. Hay cambios a muy largo plazo, como las glaciaciones y los interglaciares. Pero otros que pueden ser relativamente rápidos como la Pequeña Edad de Hielo. Lo importante es tener en cuenta que el clima cambia todo el tiempo, pero que ese cambio no

es lineal, que aunque tenga una tendencia hay marchas y contramarchas en las que ocurren fenómenos distintos al principal.

— *Entonces profe, el camino es interpretar la tendencia y en qué parte del zigzag estamos. ¿La gente que sufrió el Mínimo de Maunder cómo habría podido saber que no entraba a una glaciación plena? O si hubiéramos vivido en la primera década del Siglo XIX ¿Cómo sabríamos que la sequía no era permanente y que la Pampa no terminaba como un desierto de arena?*

— Lo que usted plantea, Guiducci, es clave. Se trata de la relatividad de la percepción, de sacar conclusiones sin el panorama completo, del riesgo de tomar la parte por el todo. Quienes vivieron durante los períodos más fríos de la Pequeña Edad de Hielo habrían afirmado que se congelaba el planeta para siempre. Ahora mismo podemos hacernos una pregunta similar “¿el calentamiento actual es una fase de un zigzag que se va a revertir o vamos a un calentamiento pronunciado y de largo alcance?”.

— *¿Y cómo responder a todo eso, profe?*

— Investigando, contrastando ideas, inventando nuevos métodos de análisis, haciendo nuevas y buenas preguntas. En fin: estudiando.

Mario le extendió la mano y Sagredo se sorprendió.

— *Gracias profesor me resultó muy gratificante charlar con usted. Sigo camino a la facultad, así llego antes que la profe.*

Sagredo solo atinó a recibir el saludo y a seguir con la mirada al alumno que se alejaba. Pero después de unos diez pasos Guiducci se dio vuelta y le gritó:

— ¡*Dryas octopetala!*

— ¡Qué?

— *Le dije que me iba a acordar del nombre de la plantita de la tundra para cuando lleguemos a La Plata* — Y desapareció entre la gente.

— Hola Juan ¿Vas para la facultad? — preguntó la profesora Gamba mientras llegaban a la calle.

— Hola Marina, sí. Vamos juntos.

— Te vi en el tren ¡qué raro vos en tren! Pero no te quise interrumpir porque estabas muy animado charlando con ese alumno. ¿De qué hablaban? ¿De política? ¿De fútbol?

— No, nada de eso, pasábamos el rato. — respondió Sagredo — Hablábamos del clima no más.

1. "...me certificaron que cuando reventó el volcán causó tan gran temblor en aquella tierra que asoló muchas casas e hizo notables daños, y con los temblores y la espesura de la ceniza hecha fuego, que llovía, les parecía que era ya llegado el fin del mundo y juicio final". Fraile Vázquez de Espinosa, 1618. "Compendio y descripción de las Indias Occidentales".

2. "A los 19, 20, 21 de Febrero se oyeron disparar por la costa arriba donde estava la armada esperando los enemigos y todos afirmaron que heran de artillería y que devían de estar peleando con ellos...". Virrey Luis de Velasco, 1600.

3. "Ase dicho por cosa cierta que en doze días y más a sido siempre en aquel paraje noche obscurissima (...); dízese que en el pueblo de Omate, que es junto al mismo bolcán quatro leguas distante, an caído piedras de cinco y siete libras y que an perecido asta sesenta personas del dicho pueblo, quedando las cassas dél sepultadas en la arena y ceniza. De los demás pueblos comarcanos al dicho bolcán no se sabe cosa cierta". Sacerdote jesuita, 1600.

4. <http://www.kb.dk/permalink/2006/poma/1061/en/image/?open=id2648285>
"La ciudad de Ariqvipa: Rebentó el bolcán y cubrió de zeniza y arena la ciudad y su jurisdicción, comarca; treynta días no se bido el sol ni luna, estrellas". Guaman Poma, 1615 "Nueva crónica y buen gobierno".

5- "El año (1)749. hubo grande sequia, y falta de agua en las Pampas; concurrían á sus acostumbrados abrevaderos los Baguales, y como no hallaban agua, caian muertos de sed, trepando unos sobre los otros, de manera que sus cadáveres formaron tan exesivos montones, que parecian Lomas ó colinas altas". J. Sánchez Labrador, 1772.

6. "Pereció un gran número de aves, animales silvestres, ganado vacuno y caballar por falta de alimento y agua. ... Estimo que la pérdida de ganado solamente en la provincia de Buenos Aires fue, como mínimo, de un millón de cabezas" Darwin, 1839.

7. "Después de la sequía de 1827 a 1832 siguió una época de lluvias copiosísimas, que causaron inundaciones. De donde podemos inferir que es casi seguro que algunos miles de estos esqueletos serán enterrados por los depósitos del año siguiente. ¿Cuál sería la opinión de un geólogo, viendo tal enorme colección de huesos, de todo tipo de animales y de todas las edades, enterradas en una masa de tierra espesa? ¿No se lo atribuirán a un diluvio que barrió la superficie de la tierra, y no a la orden natural de las cosas?" Darwin, 1839.

8. En este estudio participaron: Eduardo Tonni, Ricardo Bonini, Alejandro Molinari, Francisco Prevosti y Lucas Pomi del Departamento Científico Paleontología Vertebrados, y Jorge Carbonari y Roberto Huarte del Laboratorio de Tritio y Carbono 14.

Fuente de las imágenes del cuaderno de Guiducci

El gráfico de las variaciones de CO₂ en el hielo antártico fue redibujado del siguiente artículo:

Barnola, J.-M., D. Raynaud, C. Lorius, y N. I. Barkov. 2003. Historical CO₂ record from the Vostok ice core. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory. U.S.A.

La dendrocronología del Norte de España representa valores de la temperatura media de verano en Villacarriedo. Se adaptó del artículo:

Saz Sánchez S. A. 2007. Evolución de las temperaturas medias de la estación cálida (Abril-Septiembre) en la mitad Norte de España durante la Pequeña Edad de Hielo (siglos XVI al XIX). *Geographicalia* 52:143-163.

El gráfico de la variación del contenido de ¹³C en pinos muestra la alternancia de periodos secos y húmedos. Fue redibujado de:

Granados Paez S. 2011. Dendroclimatología isotópica en el Sur de la Península Ibérica: Implicaciones paleoclimáticas y paleohidrológicas. Tesis doctoral de la Universidad de Granada. 211 pp.

La evolución de la temperatura del Hemisferio Norte en el último milenio, según una simulación basada en la temperatura del subsuelo. Fue basado en el artículo:

González-Rouco F., H. Von Storch y E. Zorita. 2003. Deep soil temperature as proxy for surface air-temperature in a coupled model simulation of the last thousand years. *Geophysical Research Letters* 30.

El resto de los gráficos sintetizan muchos artículos científicos, los autores están nombrados en el texto y algunos artículos se citan en el apartado siguiente. Otros artículos pueden ser solicitados a sus autores en los institutos y laboratorios señalados más abajo.

Bibliografía comentada

Es difícil recomendar bibliografía de la Pequeña Edad de Hielo porque la mayoría son artículos científicos publicados en revistas especializadas que, además, suelen estar escritos en inglés. Esto se debe a que se trata de un tema poco difundido en textos de divulgación así que voy a sugerir algunas lecturas que estén al alcance de quienes, como Mario Guiducci, no somos climatólogos ni geólogos.

Libros y otros textos impresos (los preferidos de Sagredo)

Darwin, C. *Diario del viaje de un naturalista alrededor del mundo*. Miraguano Ediciones. 1998.

Este libro no se refiere específicamente a la Pequeña Edad de Hielo pero en el Capítulo 7 Darwin relata sus experiencias en la Pampa y se refiere a la “Gran Seca” y la mortandad de ganado.

Deschamps, J., O. Otero y E. Tonni. *Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los Siglos XVIII al XX*. Documentos de Trabajo 109:1-18. 2003. Universidad de Belgrano, Área de Estudios Agrarios.

En este artículo, disponible en internet, los autores hacen una buena síntesis de los registros históricos del clima de los últimos trescientos años, y analizan la relación entre el clima y la inclinación de los techos en Buenos Aires.

Fagan B. *La Pequeña Edad de Hielo. Cómo el clima afectó a la historia de Europa 1300-1850*. 2008. Ed. Gedisa.

¡Al fin un libro específico sobre este tema! El autor es un reconocido arqueólogo (“¿Y por qué no es geólogo?” preguntaría Guiducci) que aporta muchos datos muy interesantes sobre la Pequeña Edad de Hielo en Europa. Fagan enfatiza lo ocurrido en Europa y en las consecuencias sociales de esta época fría.

Uriarte, A. *Historia del clima sobre la Tierra*. 2003. Eusko Jaurlaritz. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Este libro es muy completo ya que analiza el clima desde el origen de nuestro planeta. Está escrito de un modo muy ágil y cuenta con muy buenas ilustraciones a color. Varios apéndices se refieren a cómo se estudia el clima del pasado y el Capítulo 12 tiene un apartado sobre la Pequeña Edad de Hielo. El autor mantiene una edición web que actualiza regularmente.

Páginas web (las preferidas de Guiducci)

En internet hay mucha información paleoclimatológica, pero es difícil de reconocer cuál es confiable. Por ello, sugiero que se consulten las páginas de los laboratorios de investigación o, directamente, a los investigadores que se ocupan de estudiar a la Pequeña Edad de Hielo.

Arqueología MDQ <http://arqueolab.wordpress.com>

Es la página del Laboratorio de Arqueología Regional Bonaerense de la Univer-

sidad Nacional de Mar del Plata, que dirige la Dra. Diana Mazzanti. Sus estudios arqueológicos, geológicos y zoo arqueológicos permitieron interpretar los efectos de la Pequeña Edad de Hielo en el ambiente serrano.

Centro Científico Tecnológico (CCT). <http://wiki.mendoza-conicet.gob.ar>

Es una institución del CONICET, en la que también participan la Universidad Nacional de Cuyo y los Gobiernos de Mendoza y San Juan. Muchos investigadores citados en este libro, que trabajan en dendrocronología, glaciares y arqueología, pertenecen al CCT y a algunos de sus institutos subalternos.

Cambios climáticos en la Patagonia en los últimos 1000 años. Evidencias dendrocronológicas y glaciológicas. http://www.cricyt.edu.ar/institutos/ianigla/castellano/dha/patagonia/pp_intro.htm

Esta página pertenece al Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales del CCT de Mendoza. Tiene muy buena información expresada de un modo didáctico que involucran a la Pequeña Edad de Hielo y el modo en que los investigadores argentinos la estudian.

Glaciares de Argentina. www.glaciares.org.ar

Es un sitio web dedicado a difundir aspectos generales, estudios específicos, novedades y proyectos de investigación relacionados a los glaciares argentinos en la Cordillera de los Andes. Su administrador es el glaciólogo Mariano Masiokas (también del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales).

Otros centros de investigación argentinos también realizan estudios que directa o indirectamente incluyen a la Pequeña Edad de Hielo y se pueden contactar por internet, por ejemplo: el Instituto de Investigaciones Arqueológicas y Paleontológicas del Cuaternario Pampeano (INCUAPA), las áreas de geología y paleontología de las universidades de Buenos Aires, La Plata y Tucumán (entre otras), el Centro de Geología de Costas y del Cuaternario de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Y, por supuesto, los museos de ciencias naturales de tu ciudad.

— ¿Tomó nota Guiducci?

— *Sí, profe.*

— Bueno, ahora depende de usted buscar información y leer más sobre este tema.

Durante unos 500 años ocurrió un inusual período frío en nuestro planeta:
“la Pequeña Edad de Hielo”.

Esta anomalía del clima influyó en la sociedad medieval y moderna afectando cosechas, facilitando la propagación de enfermedades y el desarrollo de hambrunas que terminaron en millones de muertes.

El diálogo casual entre un profesor y su alumno durante un viaje en tren, es el escenario donde se relatan esos acontecimientos y cómo hacen los científicos para investigar a este fenómeno del pasado reciente.



- ¿Es posible un cambio climático en un tiempo corto?
- ¿Puede haber una pequeña glaciación durante el siglo XXI?
- ¿Quienes estudian el clima del pasado en Argentina?

El estudio de hielo glaciar, del tronco de los árboles, de las manchas solares, de fósiles, de volcanes y hasta de excrementos de ratas nos permite conocer el desarrollo de la Pequeña Edad de Hielo.