

UN CLIMA PARA LA HISTORIA... UNA HISTORIA PARA EL CLIMA¹

Juan Carlos GARCIA CODRON

Dpto. Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio

El propio mundo lo dice y da testimonios inequívocos de que se acerca a su fin por la decadencia de toda cosa. Cae menos lluvia en invierno para alimentar las simientes. El sol ya no calienta tanto en verano para madurar los frutos. La primavera ya no es tan agradable ni el otoño tan fecundo (...) Las tierras permanecen incultivadas, los mares sin pilotos, los ejércitos sin soldados...

S.Cipriano de Cartago. Carta a Demetriano
(s.III)

En este rincón de la Montaña no nieva ya como antiguamente; una gran nevada es cosa verdaderamente extraordinaria (...) afortunadamente, estos temporales son ya, como hemos dicho, cosas muy excepcionales, habiendose observado que cada año nieva menos.

Puente, Julio G.de la: Reinos y el valle de Campóo, 1916.

...Es cada vez más evidente que si continúan en aumento las concentraciones atmosféricas de los gases con "efecto de invernadero" podría producirse un recalentamiento mundial con posibles subidas en el nivel de los mares, cuyos efectos podrían ser desastrosos para la humanidad...

Introducción de la Resolución Sobre Protección del Clima. Asamblea General de las Naciones Unidas, 6-XII-1988.

INTRODUCCION: EL INTERES POR EL CAMBIO CLIMATICO

La climatología y su hermana la meteorología forman parte del grupo de ciencias que más han cambiado a lo largo de las dos últimas décadas. Esto ha sido posible gracias, en gran medida, a las posibilidades que ofrecen diversos medios técnicos habituales hoy pero impensa-

¹ El presente texto es una versión ampliada de la Lección pronunciada con motivo de la festividad de S.Isidoro de Sevilla, Patrono de la Facultad de Filosofía y Letras, en abril de 1996.

bles hace tan sólo una generación: imagen satelitaria, comunicación instantánea y a precio razonable con cualquier punto de la tierra, generalización de la informática, incremento ininterrumpido de la capacidad de cálculo y de almacenamiento de los ordenadores...

Gracias a esta revolución metodológica e instrumental el conjunto de la climatología ha progresado durante el citado periodo más que a lo largo de toda su historia anterior haciendo vacilar o incluso dejando obsoletos algunos de los planteamientos clásicos de la disciplina y abriendo nuevas líneas de trabajo que apasionan a sectores cada vez más amplios de la sociedad.

Uno de los presupuestos conceptuales que se han desplomado más estrepitosamente en los últimos años es el de la inmutabilidad del clima: todo el entramado conceptual de la climatología, resultado de bastantes siglos de especulaciones, y que se encuentra por ello fuertemente arraigado, se apoyaba en concepciones estáticas de la naturaleza, y por ende de la atmósfera. De acuerdo con ellas, el clima "normal" de cada región de la tierra sería perfectamente estable. Y si de vez en cuando, por razones desconocidas, este clima "normal" podía sufrir alguna clase de sobresalto o de convulsión, la crisis duraba poco y permitía volver rápidamente a la "normalidad" (situación que se consideraba como la más favorable de las posibles).

Para entender el alcance de tales planteamientos es preciso remontarse a los orígenes de la climatología. La palabra clima, que procede del griego clásico, significa etimológicamente "inclinación". Hace referencia a la inclinación de cualquier punto de la esfera terrestre respecto al plano de la eclíptica y, por consiguiente, a la de los rayos solares que inciden sobre dicho punto.

Esta "inclinación" sirvió de base a los autores clásicos para hacer una división de la tierra en "climas" o "zonas climáticas" en función de la duración máxima del día y de la noche en cada época del año (o lo que es lo mismo, y tal como lo expresariamos hoy, de la latitud). El concepto era por tanto puramente geométrico y evidentemente teórico ya que el "ecumene" conocido por los griegos no abarcaba más que una pequeña proporción de la esfera terrestre.

Simultáneamente, varios filósofos iniciaban el estudio de los fenómenos atmosféricos. Es el caso, en particular, de Aristóteles y de Teofrasto a quienes debemos respectivamente "las Meteorológicas" y el "Tratado de los Vientos", ambiciosas obras que, en esencia, no serán superadas en más de veinte siglos (y cuyos errores se mantendrán durante similar periodo: Aristoteles, que presenta una visión opuesta a la mucho más "moderna" de Epicuro, rechaza la existencia del vacío, no distingue por ello entre la atmósfera y el espacio, y estudia bajo la denominación única de "meteoros" hechos tan distintos como las nubes y los cometas contribuyendo a alimentar una confusión entre astronomía y meteorología que ha durado bastantes siglos).

Con todo, estos tratados suponen un primer corpus de aproximaciones científicas a una serie de hechos que, hasta ese momento, no habían sido objeto más que de interpretaciones religiosas carentes de racionalidad.

Sócrates: ¿Qué Zeus? ¿Qué es lo que estás contando? ¡No existe ningún Zeus!

Strepsiades: ¡Eso es lo que tu crees! ¿Quién pues ha provocado la lluvia? Eso es lo que debes explicarme antes que ninguna otra cosa.

Sócrates (señalando a las nubes): Eso, por supuesto, ¿y que otra persona podría ser? Te lo voy a demostrar enseguida con argumentos decisivos. ¿Donde has visto alguna vez a tu Zeus producir lluvia sin nubes? ¿Has visto acaso alguna lluvia con cielo despejado y sin nubes?²

El entrecruzamiento de los conocimientos de lo que entonces se llamaba "clima" y de lo que se consideraba "meteorología", lógicamente, no se hizo esperar y puede considerarse como el verdadero punto de partida de la climatología: dado que Grecia, subjetivamente percibida como "templada" por sus habitantes, se encuentra en una posición intermedia entre el Polo Norte y el Ecuador, que las regiones más septentrionales entonces conocidas eran célebres por su frialdad mientras que las más meridionales eran evidentemente cálidas, muy pronto se hicieron corresponder las "zonas climáticas" (entendidas como franjas de latitud) con

² Aristofanes: Las Nubes, V. 375-377.

temperaturas y condiciones de habitabilidad diferentes.

Por fin, dado que los pueblos entonces conocidos tenían costumbres, culturas y caracteres diferentes, muy rápidamente y de forma espontánea, se empezó a asociar el clima con el "carácter" de los pueblos entendido en un sentido muy amplio.

Durante los siglos siguientes, y hasta pasado el Renacimiento, el significado original de la palabra clima se diluye a medida que se pierde la idea misma de la esfericidad de la tierra en la que se basaba. Sin embargo, no se olvidan ni la existencia de los distintos climas ni su supuesta relación con los "caracteres", que, avalada nada menos que por Hipócrates en su tratado "De los aires, de las aguas y de los lugares y de los vientos", nadie se atreve a cuestionar:

Hippocrate prétend que l'air que les hommes respirent, les eaux qu'ils boivent, & les lieux qu'ils habitent, contribuent à la diversité des mœurs, & à leurs manieres de penser.

Et commençant par les Asiatiques, il dit: Leur païs estant plus doux que nostre Europe, les hommes aussi y sont plus doux et plus polis. Il n'ont rien d'extrême ny pour le chaud, ny pour le froid; les fruits y sont bons, les bestiaux en abondance, ils vivent fort à leur aise.

Mais il sont plus timides, plus effeminez, & et plus lâches que les Européens, parce qu'ils ne sentent les extrêmitéz ny du chaud, ny du froid (...) C'est pourquoi ils sont moins sujets à la colere, & à la forte application de l'esprit (...) Et si parmy les Asiatiques, il y en a les uns plus genereux que les autres, il le faut rapporter aux changements qui arrivent dans leur païs, durant les saisons.

Les Européens au contraire, parce que leur region est sujette à de grandes chaleurs, à des grandes froidures, à des grands vents, de grandes pluies, de grandes secheresses, les mœurs des Européens sont tres-diverses. Mais en general, les Européens sont naturellement farouches, resolut, fiers, entiers, & hardis; parce que les frequents assauts

*livrez à l'esprit le rendent farouche, & détruisent la douceur*³.

Estas afirmaciones, que, como puede imaginarse, carecían absolutamente de base científica y que encerraban grandes errores de apreciación, estaban alimentadas por leyendas y relatos de viajeros más o menos fantasiosos, y siempre inverificables, que, a fuerza de repetirse y de proporcionar una imagen autocomplaciente del propio territorio y una demostración de la superioridad de sus habitantes, acabaron por ser aceptados de forma general.

*Hispaniae coeli salubritas: non violento sole torretur, ut Aphrica, neque assiduus ventis, ut Gallia fatigatur: salubritas coeli per omnem regione aequalis, nulla paludum gravi nebula inficitur, sed marina aura perflatur...*⁴

Y si el conocimiento del mundo va siendo durante aquellos años cada vez más completo, el tratamiento que recibe el clima y las consecuencias que se le atribuyen no varían más que en relación con la imagen que los distintos países y sus pobladores tienen en el lugar de procedencia de la información lastrando de tópicos irracionales y de prejuicios las primeras

³ Hipócrates pretende que el aire que los hombres respiran, las aguas que beben y los lugares que habitan contribuyen a la diversidad de costumbres y a sus maneras de pensar. Y empezando por los asiáticos, dice: al ser su país más suave que nuestra Europa, los hombres también son más dulces y educados. No conocen extremos ni de frío ni de calor; los frutos son buenos, los animales abundantes y viven muy cómodamente. Pero son más tímidos, más afeminados y más cobardes que los europeos porque no sufren ni los extremos del calor ni los del frío (...) por eso es por lo que están menos sujetos a la cólera y la fuerte aplicación del espíritu (...) y si entre los asiáticos unos son más generosos que otros, hay que ponerlo en relación con los cambios que tienen lugar en sus países en el transcurso de las estaciones. Los europeos, al contrario, al estar su región expuesta a grandes calores y a grandes fríos, a grandes vientos, grandes lluvias y grandes sequías, tienen costumbres muy diversas. Pero en general los europeos son por naturaleza bravos, resueltos, orgullosos, íntegros y audaces porque los frecuentes asaltos librados al espíritu le hacen feroz y destruyen la suavidad. Courtot, François (1694). *La Science des moeurs, tirée du fond de la nature...* Paris, Chez Edme Couterot, pp 234-236.

⁴ *Salubridad del cielo en Hispania: no está abrasado por un sol violento como Africa, ni oprimido por por vientos frecuentes como Galia; la salubridad del cielo es la misma en todas las regiones, ningún pantano la corrompe con molestas nieblas sino que sopla la brisa marina...*

Ioannis Boemis Aubanis: *Mores, leges et ritus omnium gentium*. Paris 1561, pp. 166 y 172.

geografías "serias" que empiezan a publicarse en Europa y alimentando durante siglos un verdadero "determinismo climático" que contribuirá indirectamente a afianzar la ya citada visión estática del clima.

(Concerning Spain) *The air of this Country is very clear and calm, being seldom obscur'd with Mists or Vapours, and in the Summer time extreamly hot, it is being both dangerous and inconvenient for the Inhabitants to stir abroad about Noon in the Months of May, June, July and August, because of the violent and scorching heat of the Sun-beams.*

...The Spaniards are of a swarthy complexion, black hair, and good proportion, stately in all their actions, of a majestick gait and deportment, grave and serious in their carriages; in offices of Piety very devout, not to say superstitious; obedient and faithful to their King; patient in adversities; not prone to alter their Resolutions nor Apparel; in War too deliberate; Arts they esteem dishonourable; much addicted to Women, and by Nature extreamly proud.

(Concerning England) *The Air of this Country is far more mild and temperate than any part of the Continent under the same Climate⁵. As in the Summer the gentle Winds, and frequent Showers qualifie all violent heats and droughts, so in Winter the Frosts do only meliorate the cultivated Soil, and the Snow keeps warm the tender Plant. In a word, here is no need of Stoves in Winter, nor Grottaes in Summer.*

This Country is blessed with a very fertil and wholsom Soil, watered abundantly with Springs and Streams (...) The English according to their Climate, are of mild temper, the Northern Saturnine, and the Southern Mercurial temper meeting in their Constitutions, renders them ingenious and active, yet solid and persevering, which nourisht under a suitable Liberty, inspires a Courage generous and lasting. For solidity of Matter, for elegancy of Stile, and method in their Sermons, Comedies, Romances, as also in their Books of

⁵ En este caso "climate" recupera el significado original de "latitud".

*Divinity, Philosophy, Physick, History, and all other solid Learning, no Nation hath surpassed the English, and few equall'd them.*⁶

Junto a esta geografía y climatología "cultas", iban evolucionando en paralelo, y de forma casi totalmente independiente, diversas interpretaciones populares de los fenómenos atmosféricos. La preocupación, en este caso, se centra en la explicación de la meteorología local y en el intento de previsión del tiempo venidero en relación con el calendario agrario o con las necesidades de viajeros y comerciantes.

En una época en la que no existen calendarios, tal y como los conocemos hoy, y en la que el paso del tiempo y los ciclos agrarios estaban regulados por la sucesión de festividades religiosas (que a su vez enraizaban en un calendario astronómico) y se transmitían oralmente mediante refranes, dichos o sencillas reglas mnemotécnicas, tuvieron un gran éxito instrumentos como los almanaques.

⁶ *(Respecto a España) El aire de este país es muy transparente y bonancible siendo rara vez oscurecido con brumas y vapores, y en verano extremadamente caluroso, siendo a la vez peligroso e incómodo para los habitantes moverse fuera al medio día durante los meses de mayo, junio, julio y agosto a causa del calor violento y abrasador de los rayos solares... Los españoles son de tez morena, pelo negro y buena proporción, elegantes en todas sus acciones, de porte y conducta majestuosa, graves y solemnes en sus andares; muy devotos en asuntos de religión, por no decir supersticiosos; obedientes y leales a su rey; pacientes en la adversidad; poco propensos a alterar sus resoluciones o atavío; demasiado circunspectos en la guerra; consideran las artes deshonorosas; son muy adictos a las mujeres y por naturaleza extremadamente engreídos.*

(Respecto a Inglaterra) El aire de este país es de lejos más suave y templado que el de cualquier otro lugar del continente bajo el mismo clima. De la misma forma que en verano las suaves brisas y frecuentes lluvias moderan todo calor y sequía excesivos, en invierno las heladas no hacen más que mejorar el suelo cultivado mientras que la nieve mantiene protegida las plantas tiernas. En una palabra, no se necesitan aquí ni estufas en invierno ni bodegas en verano. Este país ha sido agraciado con un suelo muy fértil y saludable, abundantemente regado con fuentes y arroyos (...) de acuerdo con su clima los ingleses son de suave temperamento, coincidiendo en sus constituciones los caracteres saturninos del norte y mercuriales del sur lo que les hace ingeniosos y activos a la vez que sólidos y perseverantes, esto, alimentado por una libertad apropiada, inspira un valor generoso y duradero. Por la solidez de los asuntos, la elegancia de su estilo y método en sus sermones, comedias, romances, así como en sus libros de religión, filosofía, física, historia y demás conocimientos importantes, no hay nación que haya sobrepasado a la inglesa y pocas han llegado a igualarla.

Gordon, Patrick (1693). *Geography Anatomized* by..., London.

Los almanaques, que ahora se popularizan gracias a la difusión de la imprenta, son en realidad muy antiguos: se sabe, por ejemplo, que los árabes lo utilizaron normalmente y que, mucho antes, Tales de Mileto realizó un calendario meteorológico destinado a los marinos que puede considerarse como el primero conocido. La leyenda según la cual dicho filósofo se enriqueció comprando toda una cosecha de aceituna justo antes de una importante sequía⁷ demuestra que los coetáneos de Tales otorgaban un gran crédito a sus predicciones y, como máximo, que el filósofo mantenía excelentes relaciones con la Diosa Fortuna.

Los almanaques recuerdan a los agricultores las fechas en las que se deben acometer las principales faenas, las de los mercados (relacionados siempre con los ciclos agrarios) y dan todo tipo de consejos aventurando incluso "pronósticos" meteorológicos que se intercalan, y relacionan, con el santoral.

MARS.

Le soleil entre au Bélier le 21, à 11h33m. du m.; il se lève à 5h57m. et se couche à 6h4m jours et h.ég. (Printemps)...

1 mer.S.Aubin. Jour de lune 21

2 jeudi S.Simplice, j.l. 22

3 vendredi Ste.Cunégonde (...)

*Semer l'oignon, poireaux, ciboules, oseilles, pois hatifs, fèves de marais, persil, betteraves, carottes, salades ou laitue pommée... Le premier de ce mois, giboulées. Nouvelle lune jeudi 2, à 10 h 18 m. du s. vents impétueux; les 3, 4 et 5, temps calme; les 6 et 7, temps froid; les 8, 9 et 10, vent...*⁸

⁷ Chaboud, René (1994). *Pleuvra, pleuvra pas. La météo au gré du temps.* Gallimard, Paris, pp. 16.

⁸ *MARZO. El sol entra en Aries el 21 a las 11h33 de la m; sale a las 5h57m y se pone a las 6h4m, días y h.ig. (primavera)...*

1 mier.S.Aubin. Día lunar 21; 2 jueves S.Simplicio,d.l. 22; 3 viernes Sta.Cunegunda (...)

Semrar la cebolla, puerros, cebollinos, acedera, guisantes tempranos, habas de humedal, perejil, remolachas, zanahorias, escarolas o lechugas... el primero de mes, chaparrones. Luna nueva el jueves 2 a las 10h18m de la n. vientos fuertes; el 3, 4 y 5, tiempo en calma; el 6 y 7 tiempo frío; el 8, 9 y 10 viento...

Le Double Almanach de Liège pour l'année 1815, contenant les Evénements intéressants et

Los almanaques, de gran difusión en el mundo rural hasta hace muy pocos años (y que en algunos casos, como nuestros populares "Zaragozano" o "Calendari dels Pagesos", aún subsisten), contribuyeron enormemente al arraigo de ciertos tópicos y de una imagen estática del clima. Este quedaba sólidamente anclado entre la astronomía y el santoral (lo que terminó por conferir un "carácter meteorológico" a ciertas advocaciones o santos simbólicos como La Candelaria, S.Lorenzo, S.Isidro, Sta Bárbara u otros situados en épocas clave del año) otorgándole una vocación de permanencia y de regularidad.

Por otra parte, no parecía lógico que el clima, consecuencia del orden resultante tras la Creación, estuviera destinado a cambiar espontáneamente. Por eso, cualquier alteración, acontecimiento extremo o fenómeno inesperado eran percibidos como otras tantas manifestaciones del poder divino destinadas, normalmente, a castigar o poner a prueba a los hombres. Ello se veía corroborado por numerosos pasajes de las Escrituras (los más conocidos de los cuales son los referentes a las plagas de Egipto y, evidentemente, el Diluvio) o las tradiciones o libros sagrados de la mayoría de las religiones (Mahâbhârata hindú, Eddas escandinavas, tradiciones peruanas o mejicanas...)

Cuando los acontecimientos son excesivamente adversos o los meteoros registrados se ensañan sin razón aparente en personas o comunidades piadosas e indefensas, siempre cabe el recurso de atribuirlos al demonio o a sus secuaces, brujos y similar compañía contra los cuales se establecen los mecanismos adecuados de defensa en forma de oraciones, conjuros o toques de campana (en particular los llamados "toques de nublado"). Todavía hoy, la de la catedral de Vitoria lleva la inscripción "*Huid, elementos del rayo y la tempestad; libradme, Señor*" mientras que la de San Jaime, en Reus reza en latín "*Alejo pedrisco, deshago el trueno y la nube amenazadora*"⁹.

remarquables arrivés pendant l'an 1814. Cap. "Pronostications pour l'an de N.S.J.C. 1815 calculées par le savant Astronome M.P.J.Laensberg, petit fils de feu Matthieu, Mathématicien".

⁹ Casas Gaspar, Enrique (1950) Ritos agrarios. Folklore campesino español. Cit. en Blanco,J.F.(1987). El Tiempo (meteorología y cronología populares). Ed.Diputación de Salamanca, pp.15.

Aún así, el miedo a la acción del demonio subsistía y mientras los autores "más racionales" intentaban tranquilizar a la gente "...*tengan por cierto que de cient mil nublados que vean venir sobre su tierra, apenas en uno dellos vienen diablos*¹⁰", una ley inglesa del siglo XVII, "por si acaso", condenaba a la hoguera a todos los "hacedores de lluvia y profetas del tiempo" (aunque afortunadamente para los meteorólogos, ya que la ley no fue formalmente derogada hasta 1959, esta disposición no debió ser excesivamente respetada¹¹).

El verdadero despegue científico de la climatología se produjo durante los años de la ilustración y con motivo de los sucesivos viajes de observación a través del mundo a lo largo del XIX. Es también la época en la que al generalizarse los instrumentos de medida se hace posible multiplicar los datos objetivos y comparar lo que ocurre en regiones distintas.

Proliferan entonces los manuales y diccionarios de geografía descriptiva, verdaderos compendios de los conocimientos de la época. Las descripciones son cada vez más ajustadas de forma que los elementos fantásticos van quedando relegados a algunos países aún inexplorados. Sin embargo, el "determinismo climático" y los tópicos procedentes de la antigüedad siguen apareciendo:

Las Tierras Polares: ...*On ne sait si le Spitzberg est habité; on n'a encore rencontré que des ours et des glaces par-tout où l'on a abordé. Les Hollandois et les Anglois vont sur les côtes pour pêcher la baleine. Le Groënland est habité par des hommes petits, trapus, et stupides. On ignore si la Nouvelle-Zemble, qui est fort proche de la Moscovie, est habitée; le froid y est excessif.*¹²

¹⁰ Ciruelo, Pedro (1538). Reprobación de las supersticiones y hechicerías. Edit.Glosa, Barcelona, 1977, pp. 151.

¹¹ Chabout, R. op.cit.

¹² *No se sabe si las Spitzberg están habitadas; no se han encontrado aún más que osos y hielos allí donde se haya abordado. Los holandeses y los ingleses van a sus costas para pescar la ballena. Groenlandia está poblada por hombres pequeños, rechonchos y estúpidos. Se ignora si Nueva Zembla, que se encuentra muy cerca de Moscovia, está habitada. El frío es excesivo.*

Y este es el punto de partida de la climatología académica actual. Los conocimientos se han completado, la totalidad de la tierra resulta ya conocida (y por tanto su descripción ha perdido protagonismo a favor de la interpretación y explicación) y nadie se atreve a hablar abiertamente de la supuesta estupidez o depravación de ningún país. No obstante, y ello demuestra la importancia de su arraigo, numerosas son aún las obras que repiten unos tópicos y un lenguaje impropios de nuestra época:

*...pero en estos países tan fríos y sin vegetación alta (Canada y regiones árticas), el viento es particularmente agobiante cuando sopla. Las tempestades de nieve y viento del Gran Norte convierten aquellas regiones en una dura escuela de virilidad.*¹³

En el XIX, época del positivismo, del evolucionismo y de los grandes viajes de investigación y de colonización, las tendencias citadas se acentúan aunque van apareciendo diversas aportaciones, cada vez más racionales y "más modernas", que van sentando las bases de la climatología actual. Sin embargo, y pese a que desde los estudios de Agassiz se acepta la existencia de épocas pasadas más frías que la presente y a que desde mediados de nuestro siglo se han realizado varios estudios muy sonados sobre la historia reciente del clima, en la práctica son muy pocos los que se plantean seriamente la posibilidad de que el clima actual no sea "prácticamente" estable: el Holoceno, hemos leído en todos los libros hasta la década pasada, es la época en la que el clima "vuelve a la normalidad" después de las glaciaciones. Las definiciones al uso del clima, que se caracteriza a través de los valores medios de unas series cada vez más largas, no hace más que reforzar implícitamente esta concepción estática del mismo.

Es preciso esperar a las dos últimas décadas para que tales planteamientos vayan evolucionando y para que, muy progresivamente, la definición del clima vaya incorporando sistemáticamente los conceptos de cambio y de fluctuación.

Le Tellier, Charles C.(1828). Abrégé de Géographie. In: Instruction sur l'histoire de France. Paris.

¹³ Viers, Georges (1981). Climatología, Oikos Tau, Vilassar de Mar, pp. 141.

Esta incorporación constituye probablemente el mayor avance conceptual de la climatología moderna y es consecuencia, al menos en parte, de la irrupción de una serie de nuevos paradigmas en la interpretación de la naturaleza y del medio.

En virtud de ellos, la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera son subsistemas complejos y prácticamente aislados por lo que respecta a la materia pero abiertos en lo referente a la energía (que reciben del sol). Todos ellos se interrelacionan mediante diversos flujos de materia y energía para formar diversos "ecosistemas" que, a su vez, se integran en un todo para formar el "geosistema" terrestre. Un cambio en cualquiera de los componentes de alguno de esos ecosistemas implica el desencadenamiento de toda una serie de mecanismos de autorregulación y el reajuste de todos los demás hasta alcanzar una nueva situación de equilibrio.

El estudio de las diferentes formas de interacción hombre-medio ha permitido demostrar hasta qué punto el ser humano se ha inmiscuído voluntaria o involuntariamente, consciente o inconscientemente, en la práctica totalidad de los mecanismos de los que depende el equilibrio del citado geosistema (lo que los autores americanos denominan el "equilibrio global"). Pero al mismo tiempo, ha permitido una toma de conciencia de su propia debilidad. El hombre de final del milenio sigue siendo tributario del equilibrio global y puede ser el más perjudicado por cualquier alteración de una maquinaria que es excesivamente compleja como para poder ser controlada, y ni tan siquiera correctamente entendida, y en la que el clima desempeña un papel esencial.

En ese contexto se sitúa la creciente preocupación por unos vaivenes de la atmósfera que, sabemos ahora, son inherentes al clima pero que, cada vez parece más claro, podrían ser inducidos, amplificados sinérgicamente o tal vez, a la inversa, amortiguados por la acción del hombre.

Así, el supuesto "calentamiento global", que, caso de cumplirse los modelos más pesimistas, podría tener consecuencias dramáticas para el conjunto de la humanidad, es uno de

los temas que más profundamente preocupan a la comunidad científica mundial. Sin embargo, y pese al impresionante abanico de medios desplegados para el estudio del problema, en el momento presente se nos escapan multitud de aspectos y no somos capaces de determinar qué elementos pueden influir de forma decisiva en el equilibrio global y cuáles no.

Esa preocupación justifica que algunos de los mayores presupuestos actuales de investigación, que los más potentes medios informáticos hasta ahora existentes o que decenas de conferencias anuales al máximo nivel se dediquen a proponer modelos, más y más sofisticados cada año, para tratar de prever la evolución del clima así como sus consecuencias a corto y medio plazo.

Sin embargo, cuanto más complejos son esos modelos y más largo su alcance cronológico, más difícil resulta la validación de las previsiones obtenidas con ellos...

Por eso, y dado que no es posible esperar los decenios que serían necesarios para comprobar la bondad de las previsiones, cada vez resulta más insustituible no sólo un estudio retrospectivo que nos ilustre sobre la evolución climática a escala geológica sino también, y sobre todo, sobre los mecanismos y encadenamientos de hechos que, se sabe, han tenido lugar en los últimos siglos en la tierra.

La reconstrucción del clima pasado tendría que pasar por el establecimiento de las curvas históricas de temperaturas y precipitaciones para el conjunto del globo terrestre lo que resulta relativamente fácil en "época estadística", a partir de la instalación, a lo largo del XIX, de numerosas estaciones meteorológicas pero resulta mucho más difícil para épocas anteriores.

La meteorología se puso en marcha lentamente a medida que fueron apareciendo los diversos aparatos de medición que han venido utilizándose hasta la actualidad: así el termómetro, atribuido a Galileo, no se estandarizó, y por tanto, no nos resulta útil, hasta el final del XVII época en la que aparecen también los primeros datos de presión, poco después de la invención del barómetro por Torricelli.

A partir de esos mismos años van apareciendo unas primeras series discontinuas de observaciones diarias en Italia, seguidas, desde 1663 por otras realizadas en Inglaterra y por la que, sin duda, es la mejor de las existentes para esta época, la del médico y botánico parisino Louis Morin, que abarca el período 1665-1713, y cuyos datos han sido profusamente utilizados por los historiadores del clima.

Normalmente sin embargo estas primeras series de observaciones, que fueron realizadas individualmente por sabios o por simples aficionados, o se han perdido o no se conservan más que de forma fragmentaria y raras veces muestran la regularidad y rigor exigibles para una utilización estadística aceptable de acuerdo con los niveles actuales de exigencia (máxime si lo que pretendemos es la detección de unas anomalías o fluctuaciones que, frecuentemente, son del orden, en lo relativo a las temperaturas, de unas décimas de grado).

Las primeras redes auténticas de observaciones se crearon en 1778 y 1780 en Francia y Alemania respectivamente. Aunque duraron muy poco, nos ofrecen datos que han permitido recrear los mapas sinópticos diarios para Europa occidental durante un decenio lo que tiene una enorme importancia¹⁴. Sin embargo, salvando estas y algunas otras series de observaciones esporádicas, es preciso esperar hasta la segunda mitad del siglo XIX para que aparezca una verdadera red meteorológica capaz de ofrecernos una información suficientemente fiable.

Antes de este momento los datos estadísticos son prácticamente inexistentes y la reconstrucción del clima pasado exige recopilar diversas informaciones históricas no cuantitativas y transformarlas, en la medida de lo posible, en valores numéricos.

Entre ellas, y dependiendo de la suerte y de la imaginación del investigador, se han utilizado anales y crónicas (con datos sobre eventos catastróficos o sobre incidencias en la construcción, destrucción o reconstrucción de edificios y puentes...), catastros, registros públicos o parroquiales de cualquier tipo (en particular registros de las fechas de vendimias o cosechas, de la calidad del vino o de la producción total así como de las rogativas), documentos

¹⁴ Kington, J.A. (1988). *Daily Weather Mapping for the 1780s*, Cambridge, University Press.

personales, correspondencia, libros de a bordo, escritos científicos, grabados, mapas...

La principal limitación de este tipo de documentos es que, en general, privilegian lo excepcional sobre lo cotidiano: conocemos numerosos acontecimientos catastróficos (lluvias, temporales, nevadas o heladas fuera de temporada, graves sequías, etc.) aunque muy poco de la evolución normal del clima. Además, estos datos dependen en su transcripción de la subjetividad del que los recogió que, por un mecanismo natural, tiende a exagerar este tipo de acontecimientos.

Por eso, estas fuentes inducen fácilmente a error y son pocas veces verdaderamente útiles para el historiador del clima (con el agravante de que, por su propio estilo, resultan muy atractivos e incluso divertidas y no siempre resulta fácil renunciar a su inclusión en los diferentes trabajos).

Sólo en el caso de China, donde se han venido realizando observaciones desde el 1216 aC y donde desde el siglo XIII de nuestra era es común el uso del pluviómetro¹⁵, ha sido posible reconstruir una serie de mapas sinópticos ininterrumpida desde el año 1470¹⁶. La información que contienen es de una enorme utilidad para el Extremo Oriente pero no resulta fácil de extrapolar a otras regiones del mundo y no nos resulta útil para el contexto europeo.

La labor más importante por tanto que hay que realizar con las fuentes escritas es la de homogeneizar y hacer estadísticamente utilizables los datos... algo, por el momento, muy difícil de conseguir y que hace preciso la confrontación de la información documental con la obtenida por medio de técnicas supuestamente incuestionables como la dendroclimatología, el estudio de los depósitos sedimentarios, el de los glaciares o el del contenido iónico o en gases de sus hielos que nos aportan datos de interés climático numerosos pero espacialmente inconexos y difíciles de explotar de forma aislada.

¹⁵ Fierro, Alfred (1991). *Histoire de la météorologie*. Denoël, Paris, pp.18.

¹⁶ Wang Shao-wu; Zhao Zong-ci (1981). *Climate and History*. Cambridge University Press.

Los resultados de las diferentes técnicas son complementarios y, en su conjunto, bastante coincidentes con la información que nos suministran los documentos históricos lo que nos permite establecer una secuencia fiable (al menos para el Hemisferio Norte) de lo acaecido a lo largo del último milenio.

Ello es particularmente importante si tenemos en cuenta que los indicadores hasta ahora utilizados para la reconstrucción de la historia del clima son normalmente de carácter geológico, paleontológico, astronómico o arqueológico y si resultan útiles para hablar a escalas que van de las decenas de millones de años a la de unos pocos siglos, no resultan suficientemente "finas" ni continuas cuando lo que pretendemos es una aproximación a una escala temporal "más humana" o necesitamos obtener información de épocas relativamente recientes.

En el momento actual, la suma de las aportaciones de las diferentes disciplinas y de sus técnicas específicas nos permite reconstruir con un aceptable grado de certidumbre y con un nivel creciente de precisión a medida que nos acercamos en el tiempo la historia del clima terrestre desde el momento de la aparición misma de la atmósfera hasta la actualidad.

ORIGEN DE LA ATMOSFERA Y DEL CLIMA TERRESTRE

En términos generales, y tras bastantes años de debate, existe un relativo acuerdo en lo relativo al origen de la tierra y de su atmósfera. Todo parece indicar que la nebulosa solar primitiva estaba compuesta por una gran cantidad de gases y por gránulos sólidos. Estos gránulos se irían aglomerando para dar origen a los "planetésimos", pequeños asteroides que, a su vez, fueron colisionando y fundiéndose repetidas veces hasta formar los núcleos planetarios¹⁷.

La acreción de la materia sólida supondría la liberación de una gran cantidad de energía responsable de la volatilización de los gases contenidos en los gránulos que, inmediatamente, se dispersarían por la nebulosa para acabar perdiéndose por el espacio. Sin embargo, a medida que la tierra iba creciendo, iba desarrollando también un campo gravitatorio capaz de retener dichas

¹⁷ Safronov, V.(1969). Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the earth and planets. NASA,TTF-677, US Dept.of Commerce.

sustancias. La atmósfera terrestre se iría constituyendo así, bien como consecuencia de la expulsión de gases por un vulcanismo extremadamente activo, bien por la volatilización de los cometas y meteoritos que bombardeaban el planeta, bien, y es lo más probable, por la suma de los efectos de ambos hechos¹⁸.

Dado su origen, la atmósfera inicial debía estar compuesta básicamente por vapor de agua, elevadas cantidades de gas carbónico y algo de nitrógeno. Esta composición no duró sin embargo demasiado: en cuanto la tierra se enfrió lo suficiente, hace, como mínimo, 3800 millones de años, el agua se fue condensando para dar origen a los océanos.

Ello implica que la tierra presentaba ya una relativa estabilidad en torno a unos muy estrictos márgenes termométricos: un planeta demasiado frío hubiera visto congelarse el agua y formarse unas banquisas que, por su elevado albedo, habrían bloqueado toda posibilidad de evolución en la dirección que conocemos mientras que unas temperaturas excesivas podrían haber impedido la condensación de unas aguas que se mantendrían en forma de vapor y no llegarían a constituir océanos.

Esta estabilidad térmica, que vivimos desde entonces, es el resultado del equilibrio entre la energía que recibe la tierra en forma de radiación solar y la que ésta devuelve al espacio en forma de irradiación.

El hecho más destacable de este balance energético es que, dada la temperatura de nuestra estrella, la radiación solar se sitúa básicamente en el tramo de la luz visible, mientras que la irradiación de nuestro planeta pertenece principalmente, por la misma razón, al tramo del espectro correspondiente al infrarrojo. El aire resulta prácticamente transparente a la luz y a la radiación procedentes del sol pero el CO₂ y el vapor de agua atmosféricos dificultan el paso del infrarrojo que la tierra devuelve al espacio lo que hace que parte de la energía que interviene en este balance sea retenida por la atmósfera y que esta se caliente en la misma proporción dando lugar al llamado "efecto invernadero".

¹⁸ Minoru Ozima (1987). Geohistory. Global evolution of the earth. Springer Verlag, Berlin, 165 pp.

Todo parece indicar que en el momento de la formación de la tierra el sol era bastante menos activo que ahora (probablemente entre el 25 y el 40%) y, por tanto, debía, "calentarnos" menos. De ahí que, caso de carecer de un efecto invernadero eficaz, el enfriamiento de la tierra hubiera supuesto su inmediata glaciación.

Sin embargo, la atmósfera evolucionó mucho durante sus mil primeros millones de años de existencia¹⁹, se fue adaptando a la evolución solar y esta eventualidad no se produjo: el CO₂ en presencia de agua origina carbonatos que precipitan en el fondo de los océanos. Ello permitió una rápida disminución de su proporción pasando el nitrógeno a convertirse en el gas más abundante.

Pero además, a los 700 millones de años de haberse formado los océanos, la tierra presencia un hecho único en el Sistema Solar y que en lo sucesivo va a determinar en gran medida su propia evolución: la aparición de la vida. Y es sintomático que las primeras evidencias que nos hayan llegado de actividad biológica sean precisamente los estromatolitos, concreciones calcáreas que demuestran la existencia de la función fotosintética.

La fotosíntesis implica la absorción de grandes volúmenes de gas carbónico y de agua que proporcionan al vegetal el carbono e hidrógeno que le son necesarios a costa de disociar las moléculas correspondientes y de liberar el oxígeno resultante que, inmediatamente, se incorpora a la atmósfera en su forma libre.

El oxígeno, compuesto imprescindible para la mayoría de las formas de vida, se fue así incorporando a la atmósfera a partir de este momento gracias, precisamente, a los seres vivos.

El hecho se fue produciendo de forma muy gradual ya que en un primer momento el oxígeno era inmediatamente "consumido" por la oxidación de los diversos compuestos de la superficie terrestre. Así, mientras que la abundancia de uranita, galena y otros sulfuros metálicos

¹⁹ Budyko,M.I.; Golitsyn,G.S.; Izrael,Y.A.(1988). Global climatic catastrophes. Springer Verlag, Berlin, 99 pp.

en sedimentos de hace 2500 millones de años demuestra la práctica inexistencia aún de oxígeno en la atmósfera de aquella época, la aparición de diversos tipos de óxidos de hierro hace 2000 millones, demuestra de forma inequívoca que para aquel momento ya se había producido su incorporación definitiva.

En cuanto el oxígeno empezó a ser suficientemente abundante se hizo posible la formación de ozono que, situándose en la estratosfera, empezó a filtrar la letal radiación UV haciendo posible la vida sobre la superficie del mar y, luego, sobre los continentes. Su presencia favorecerá un desarrollo explosivo de los vegetales que, a su vez, mantendrán la producción de oxígeno a través de la fotosíntesis. De esta forma, la proporción de oxígeno en el aire fue en aumento constante hasta su estabilización, hace unos 500 millones de años, momento en el cual la atmósfera adquiere su composición definitiva.

Así, tras su origen, la composición de nuestra atmósfera ha evolucionado de forma notable. Sin embargo, las condiciones climáticas se han mantenido relativamente estables y siempre dentro de unos márgenes favorables contrariamente a lo acaecido en Venus y Marte que, reuniendo condiciones comparables y atmósferas con composiciones similares a las terrestres, han evolucionado de formas opuestas.

Así, Venus se ha convertido en un planeta tórrido, sin agua, con una temperatura superficial próxima a los 500°C y con una atmósfera muy pesada (la presión al nivel del suelo es de unos 90 bar) compuesta de gas carbónico y de nitrógeno. Mientras tanto, Marte ha corrido la suerte inversa perdiendo la mayor parte de su atmósfera, también compuesta de CO₂, así como el agua que, se sabe, circuló abundantemente por su superficie durante sus 1000 primeros millones de años y reduciendo su temperatura hasta los -60°C²⁰.

La "suerte" de la tierra ha sido que el CO₂ terrestre ha disminuído en el momento oportuno de forma que el efecto inver-nadero se ha ido debilitando a medida que aumentaba la actividad solar.

²⁰ Kasting, J.F.; Owen, B.T.; Pollack, J.B. (1988). Evolución del clima en los planetas terrestres. In: Libros de Investigación y Ciencia (1991). El Clima. pp. 10-17.

En un primer momento, mientras la radiación solar era mucho más baja que la actual y el planeta hubiera podido helarse, el efecto invernadero fue máximo (el CO₂ hoy almacenado en forma de rocas carbonatadas equivale a una presión de 60 bar) lo que mantenía altas temperaturas e, incluso, una elevada presión que impedía la evaporación del agua.

La reducción del CO₂ se produjo a un ritmo logarítmico, más rápido cada vez, lo que, habida cuenta la distancia tierra-sol, iba reduciendo el efecto invernadero a un ritmo que compensaba perfectamente el aumento lineal de la radiación solar.

Evidentemente esta sincronía no es fruto del azar sino consecuencia de un ciclo complejo que ha mantenido un clima favorable gracias a su capacidad de autorregulación: la cantidad de CO₂ atmosférico aumenta al enfriarse la superficie terrestre y se reduce al calentarse ésta de acuerdo con lo que se ha denominado el "ciclo del carbono". Probablemente las temperaturas se han mantenido siempre por ello dentro de unos márgenes que permiten la existencia de agua líquida y, con ella, de seres vivos que, a su vez, contribuyen a la estabilización de estas condiciones... y no habría posibilidad de una desestabilización peligrosa en uno u otro sentido.

Muy en esquema, el ciclo del carbono pasa por las siguientes etapas:

1. El CO₂ atmosférico se disuelve en el agua de las nubes para dar ácido carbónico H₂CO₃.
2. El agua acidulada de la lluvia contribuye a la disolución de las rocas carbonatadas (y en menor medida de silicatos) neutralizándose su acidez a cambio de la liberación de calcio Ca⁺⁺ y de bicarbonatos HCO₃⁻ que son transportados hacia el océano.
3. A partir de estos iones, el plancton y otros organismos marinos se dotan de caparazones calcáreos liberando el hidrógeno sobrante. Al morir, una parte de sus restos se disuelve en el agua liberando el dióxido de carbono, que vuelve a la superficie, y otra sedimenta en el fondo de los océanos dando lugar a las calizas.

4. Los fondos oceánicos se desplazan y subducen en sus márgenes lo que hace que las calizas sean absorbidas bajo la corteza terrestre.

5. En tales condiciones, la elevada presión y temperatura a la que se ven sometidos los carbonatos les hacen reaccionar con los silicatos liberando el CO₂.

6. El gas vuelve a la atmósfera, punto de partida del ciclo, a través de las erupciones o de las grietas submarinas.

Cuando la temperatura terrestre baja, la evaporación disminuye, con ella lo hacen las precipitaciones y se produce menos erosión. En síntesis, disminuye la velocidad a la que el CO₂ abandona la atmósfera (que depende de factores climáticos), pero no la de su incorporación a través del vulcanismo (que al depender de causas internas, ignora la posible alteración climática y, a efectos prácticos, puede considerarse constante). El resultado es un aumento del CO₂ y, con él, del efecto invernadero que permite la inmediata recuperación de las temperaturas.

Al contrario, si las temperaturas suben en exceso, aumentan la evaporación y las lluvias así como la neutralización del dióxido de carbono que reacciona con las rocas. La concentración del gas disminuiría rápidamente y, con ella, el efecto invernadero... lo que devuelve la temperatura a su punto de partida.

Además, los vegetales intervienen en este equilibrio fijando CO₂ atmosférico en su fotosíntesis e incorporándolo, cuando mueren, al suelo (que, o bien se acaba constituyendo en sedimento mineral, o bien influye en la composición del agua de escorrentía incorporándose en el ciclo anterior).

El peso respectivo de los factores puramente físicos y de los bióticos en el equilibrio térmico terrestre (en el que, sin duda, intervienen otros factores) se desconoce lo que constituye uno de los más importantes interrogantes actuales en relación con el efecto invernadero²¹. En

²¹ Benhamou, Guy (1990). CO₂: les chercheurs font les comptes. Sciences & Avenir 517, pp.

todo caso, parece evidente que unos y otros son indisociables²².

Todos estos hechos explican las diferencias entre los planetas terrestres que, desde un primer momento, mostraron diferente capacidad para crear un ciclo del CO₂ entre sus cortezas, hidrosferas (que existieron en los tres planetas) y atmósferas respectivas.

Marte está helado por su incapacidad de devolver el gas a la atmósfera: es mucho más pequeño que la tierra, su calor interno, metamorfismo y vulcanismo menores y no ha desarrollado una tectónica de placas. Por eso, las lavas han acabado recubriendo los sedimentos carbonatados y estos no han sido capaces de reincorporarse al ciclo.

Venus, sin embargo, es incapaz de reducir su CO₂ atmosférico. Sus altas temperaturas, consecuencia de un "efecto invernadero incontrolado" impidieron la existencia en superficie de agua líquida y el vapor, capaz de llegar a la alta atmósfera sin condensar, acabaría disociándose a causa de la importante radiación solar allí existente perdiéndose entonces en el espacio el hidrógeno, muy volátil. Tal escape de hidrógeno podría haber eliminado el equivalente de un océano en 30 millones de años... y a falta de agua, no hay ciclo del carbono.

FLUCTUACIONES CLIMATICAS A LO LARGO DE LA HISTORIA DE LA TIERRA

Pese a todo lo dicho hasta el momento, el clima terrestre no ha permanecido invariable. Sabemos, por ejemplo, que durante el Eocámbrico, Ordovícico Superior y tránsito del Carbonífero al Pérmico se produjeron, al menos en ciertas regiones del mundo, sucesivas fases frías que darían paso, en el Permotrias, a un clima árido y cálido sustituido a su vez por condiciones similares a las tropicales durante el resto del Mesozoico y la mayor parte del Terciario.

28-31.

²² La perfección y complejidad del equilibrio climático a través del ciclo del carbono y de la propia actividad biológica son tales que algunos científicos, como J.E.Lovelock y L.Margulis (autores de la "Hipótesis Gaia"), han llegado a sugerir que la biosfera es un sistema cibernético capaz de modificar el ambiente para adaptarlo a sus propias necesidades: de acuerdo con ello, la vida habría ido regulando los caracteres de la atmósfera a medida que se producía la evolución.

Por fin, desde el final del Plioceno vienen sucediéndose una serie de convulsiones climáticas que, por su escala y proximidad temporal, revisten especial significado para nosotros determinando las características de los sucesivos entornos en los que ha tenido que desenvolverse el hombre.

Este entorno fluctuante que nos parece "normal", y que ha permitido que el hombre se diferencie como tal, es consecuencia, en realidad, de una suma de circunstancias originales y únicas en la historia de la tierra.

Así, por ejemplo, la presencia de los dos casquetes polares de hielo, que determina absolutamente los caracteres de la circulación atmosférica actual, no tiene precedentes a lo largo de la historia geológica; lo normal es que no existiera ninguno o que, como máximo, apareciera uno de los dos: las regiones polares han sido, hasta este último episodio, oceánicas. El agua cálida tropical se desplazaba hasta altas latitudes donde liberaban calor e impedían la aparición de hielo. Sólo en aquellos momentos durante los que, como en el Pérmico, los continentes se desplazaron hacia latitudes elevadas, pudo producirse un fenómeno de glaciación.

Desde el final del Terciario, sin embargo, se produce una especial conjunción de circunstancias: la Antártida se sitúa en su posición actual bloqueando la circulación de agua tropical y propiciando la aparición de un gran casquete helado (hecho que debió producirse hace unos 30 millones de años) mientras que, en el Hemisferio Norte, los continentes Eurasiático y Norteamericano han ido abrazando el Ártico hasta convertirlo prácticamente en un mar interior. Las grandes corrientes cálidas apenas pueden penetrar en esta masa que, además, recibe enormes cantidades de agua dulce (poco densa y de fácil congelación) procedente de los ríos siberianos y canadienses. Estas circunstancias, de nuevo, son bastante recientes en términos geológicos no apareciendo los glaciares de altas latitudes en el Hemisferio Norte más que a partir del Mioceno.

De esta forma hoy, por primera y tal vez última vez en la historia, tenemos dos casquetes polares. Y esta situación única determina todo el complejo entramado de la circulación atmosférica a escala planetaria que se basa, precisamente, en los intercambios energéticos

existentes entre las regiones intertropicales, cálidas gracias a su balance de radiación positivo, y las polares, frías y con un balance negativo.

Pero el movimiento de los continentes es extremadamente lento (en cualquier caso, mucho más que el ritmo de los principales cambios climáticos conocidos), por lo que su situación actual puede considerarse, en la práctica, como permanente. Interesante de cara a la comprensión de las grandes alteraciones climáticas acaecidas a lo largo de la historia geológica, es una variable que no resulta útil para la explicación de los cambios que se han producido en periodos tan breves de tiempo como el último millón de años.

Hay que tener en cuenta que dichos cambios han sido bastante rápidos: hace entre 20 y 18.000 años el hielo cubría aún cerca de una tercera parte de las tierras emergidas con varios inlandsis de bastantes millones de km² cada uno: en el Hemisferio Norte los hielos cubrían la práctica totalidad de Canadá con un espesor próximo a los 4000 m; Islandia y Groenlandia, donde el grosor del hielo superaba probablemente los 3000 metros; Escandinavia, Norte de Rusia, hasta aproximadamente 100°E, y Noroeste europeo hasta la altura del centro de Inglaterra y de los Países Bajos donde debieron existir tres casquetes coalescentes centrados en cada una de estas zonas.

Además, el límite de las nieves y hielos permanentes descendió en torno a un millar de metros en todas las cordilleras (descenso que fue algo más importante en las latitudes bajas pero inferior en las altas) lo que permitió la aparición de glaciares y de pequeños casquetes en la mayoría de nuestras montañas.

Todos estos hechos se produjeron como consecuencia de un descenso de las temperaturas que, promediando para el conjunto de la tierra, debió ser de unos 5°C. Ese descenso generalizado de las temperaturas produjo graves perturbaciones en la situación de los centros de acción, cambios notables en los cinturones de vientos y, con ellos, en las corrientes marinas, en la distribución de las precipitaciones y, en general, un desplazamiento hacia el Ecuador de las grandes franjas bioclimáticas terrestres (lo que permitió a las glaciaciones cuaternarias desempeñar un papel importantísimo en la evolución y distribución reciente de las

especies).

En estas condiciones, la hidrosfera trasvasó cerca del 5% de su contenido a la criosfera al tiempo que el agua de los océanos, más fría, incrementó su densidad media reduciéndose el volumen de éstos. Todas estas circunstancias hicieron descender el nivel del mar hasta un centenar de metros por debajo de su cota actual.

Este hecho tuvo una enorme trascendencia ya que, más allá de su influencia en los seres vivos (que es la mejor conocida y la más evidente), implicó la emersión de las plataformas continentales y el cambio consiguiente del trazado de las costas; la aparición de "puentes" que permitieron la comunicación y colonización de islas y continentes (a través, por ejemplo, del estrecho de Behring, del Canal de la Mancha o del Báltico); el desvío forzoso de numerosas corrientes marinas (lo que, a su vez, debió influir poderosamente en el clima constituyendo un ejemplo de retroalimentación insuficientemente conocido hasta ahora) y una infinidad de alteraciones o cambios locales: el descenso del nivel de base marino obligó a los ríos a buscar un nuevo perfil de equilibrio y estos excavaron profundos valles que explican la morfología de nuestras actuales rías, o "bahías", y los fondos planos sedimentarios de algunos tramos bajos de los valles Cantábricos.

La última "glaciación" es la mejor documentada gracias, sobre todo, a la arqueología y a la paleontología. No es, sin embargo, más que el episodio más reciente de una larga secuencia ininterrumpida hasta la actualidad, y en la que estamos por ello implicados, que empezó a estudiarse ya en el siglo XIX pero que, ahora se demuestra, no hemos empezado a conocer aceptablemente bien hasta hace una veintena de años.

La cronosecuencia actualmente aceptada (que nos ha permitido diferenciar ocho episodios fríos durante el último millón de años) se basa en la determinación de la proporción de los isótopos de oxígeno (O_{16} y O_{18}) en los sedimentos marinos y hielos polares.

El oxígeno, en su forma más habitual, consta de ocho protones y ocho neutrones lo que le otorga una masa atómica de 16. Sin embargo, una proporción reducida, pero estable, de

átomos consta de dos neutrones más (con lo que su masa atómica asciende a 18). Este isótopo O_{18} requiere un mayor aporte energético para poder evaporarse. El resultado es que el agua de lluvia contiene casi exclusivamente O_{16} mientras que el isótopo más pesado tiende a permanecer en el océano. Si la masa oceánica disminuye como consecuencia de la glaciación, la proporción O_{16}/O_{18} variará en la misma medida a favor del segundo y vice-versa. Dado que los organismos marinos necesitan oxígeno para construir sus caparazones de carbonato cálcico (y toman indistintamente cualquiera de los dos isótopos), la proporción en la que aparezca uno y otro será similar a la del mar... y nos informará de la temperatura del agua en la que se formaron.

El estudio de los isótopos de oxígeno nos proporciona una secuencia bastante compleja y fiable: los sedimentos marinos reflejan las condiciones del conjunto del planeta gracias a la mezcla constante del agua y ofrecen una secuencia ininterrumpida fácil de datar por medios radiométricos. Sin embargo, y precisamente a causa de la mezcla constante de las aguas marinas, los datos procedentes de estos sondeos plantean algunos problemas de interpretación que hace necesaria su confrontación con los obtenidos en otros lugares, en áreas continentales y en los hielos polares.

El mejor registro terrestre hasta ahora disponible es el obtenido en el Devil's Hole, en Nevada que nos ofrece un panorama completo de los últimos 560.000 años. Los resultados son muy interesantes porque sin contradecir lo obtenido en el mar y hielos polares, desvela algunas cuestiones del mayor interés. Por ejemplo, parece mostrar un desfase de unos 10.000 años con aquellos (tal vez imputable al diferente comportamiento térmico de continentes y océanos) así como interglaciares de mayor duración (20.000 años frente a los 10.000 admitidos hasta ahora) haciendo necesaria la revisión de muchas de las cronologías establecidas en los últimos años²³.

Sin embargo, tras explotar durante un par de decenios los datos suministrados por los sedimentos marinos, la fuente más reciente de información son los sondeos realizados por sucesivas misiones internacionales en los hielos de la Antártida y de Groenlandia.

²³ Messadié, G., dir. (1993). Toute l'histoire du climat terrestre est à revoir. In: Echos de la Recherche, Science & Vie, 907, pp.23.

En esta última isla los sondeos realizados desde 1989 por científicos europeos y americanos en el marco de los proyectos GRIP y GISP2, han proporcionado testigos continuos de 10 cm de anchura y de varios miles de metros de longitud que permiten reconstruir la composición del aire de los últimos 200.000 años (incluyendo su contenido en CO₂, metano, polvo, polenes...) e inferir su temperatura gracias a los métodos isotópicos habituales (O₁₆-O₁₈ pero también H-deuterio) y a la conductividad del hielo (una conductividad elevada se corresponde al hielo ácido de un interglaciar mientras que una conductividad baja indica un hielo alcalino, propio de un periodo muy frío).

Los resultados, que han empezado a publicarse en 1993, son espectaculares por muchas razones:

En primer lugar, se corroboran los resultados de los estudios anteriores que demuestran que el hielo retenido sobre los continentes (y, en consecuencia, el volumen de los océanos), han fluctuado de forma constante y con cierta regularidad durante, al menos, todo el Pleistoceno. Estas fluctuaciones presentan una serie muy clara de ciclos de 100.000 años sobre la que se superponen, dando una curva en dientes de sierra, varios ciclos más cortos.

La relativa regularidad que presentan las principales tendencias de la curva obtenida demuestra que las glaciaciones responden a una causa astronómica que, parece lo más lógico, debe tener relación con el balance energético terrestre. Dado que la actividad solar es bastante irregular a escala decenal pero parece relativamente constante a escala de los milenios (o, al menos, no se ha demostrado lo contrario), la razón última debe buscarse en la geometría de los movimientos de la tierra. Con ello se vuelve a las propuestas que publicara el astrónomo serbio Milutin Milankovitch a principios de siglo y que, indemostrables en aquella época, habían permanecido durante años relegadas en una categoría poco menos que de "idea ocurrente-curiosa" y sin mayor aplicación en climatología. De acuerdo con ellas, sabemos que el balance de radiación terrestre depende tres factores relacionados con la propia órbita del planeta:

I. La oblicuidad (o inclinación del eje de rotación terrestre respecto al plano de la eclíptica y que hoy es de 23°45'.

2. La excentricidad de la órbita (que no es circular sino elíptica) y que en este momento presenta el reducido valor de 0.017.

3. La precesión del eje terrestre (es decir el giro "en peonza" que experimenta su eje respecto a la eclíptica o al resto de las estrellas).

Estos factores varían con el tiempo como consecuencia de las interacciones gravitacionales de la Tierra, Luna, Sol, Júpiter, Saturno y planetas cercanos y lo hacen de forma periódica en lo esencial (aunque constantemente se producen pequeñas anomalías difíciles de predecir, imperceptibles a escala humana, que podrían acabar teniendo significado a escala geológica). Así, sabemos que la excentricidad de la órbita terrestre oscila cada 100.000 años, que la oblicuidad del eje de rotación terrestre presenta ciclos de 41.000 años y que el eje terrestre efectúa un giro de precesión completo cada 23.000.

Milankovitch calculó la incidencia de estos tres tipos de ciclos en el balance de radiación terrestre. La consecuencia más importante que acarrear se relaciona siempre con lo marcado de la estacionalidad: al aumentar la inclinación del eje terrestre los inviernos y veranos se hacen más extremados en ambos hemisferios; de la precesión, y dado que nuestra órbita es elíptica, depende el momento del perihelio (momento de mayor proximidad al sol) y, con él, la máxima intensidad de las estaciones recae alternativamente en uno u otro hemisferio (dado que el perihelio actual se sitúa el 3 de enero, el invierno de nuestro hemisferio es más benigno ahora que hace -o dentro de- 12.000 años); la excentricidad, por fin, determina la máxima y mínima distancia tierra-sol acentuando el efecto de la precesión y alterando el balance global de radiación (es evidente que la tierra recibirá más energía cuanto más cerca se encuentre del sol)²⁴.

Estos tres ciclos se superponen y conjugan sus efectos (lo que explica la complejidad de las curvas "en dientes de sierra" ya comentadas). El ritmo teórico que cabe deducir de los efectos supuestos de tal superposición coincide bastante bien con la secuencia de períodos fríos-

²⁴ Covey, C. (1984). Órbita terrestre y períodos glaciales. In: Libros de Investigación y Ciencia (1991). El Clima, Prensa Científica, Barcelona, pp. 18-27.

periodos cálidos de, al menos, el Pleistoceno Superior y Holoceno y situa la época actual, precisamente, en el momento en el que debería iniciarse una nueva glaciación.

No obstante, las diferencias en el balance de radiación del conjunto del planeta son bastante pequeñas y sorprende que puedan bastar para desencadenar las glaciaciones (lo que demuestra la precariedad del equilibrio climático terrestre) y parece indicarnos que las condiciones que permiten la existencia de un período "glacial" o de un "interglacial" deben retroalimentarse.

Esto se entiende mejor si tenemos en cuenta que el mecanismo desencadenante de las glaciaciones depende casi exclusivamente de lo que ocurre en las altas latitudes, que son precisamente las que acusan más los efectos de los movimientos anteriores (es posible que el balance energético oscile en ellas hasta un 20%) y mucho más de lo que ocurre durante el verano que en el invierno: las temperaturas aquí son tales que, ocurra lo que ocurra, las precipitaciones invernales serán siempre de nieve mientras que de la temperatura estival dependerá la fecha de fusión. Si las temperaturas son mediocres, la nieve no se fundirá... y si estas circunstancias se prolongan varios años, la innivación enfriará progresivamente el ambiente, incrementará el albedo, facilitará el que, en otoño, las primeras nevadas se adelanten y recubran el suelo antes permitiendo la aparición de hielo y de glaciares (que una vez "in situ", contribuirán al mantenimiento del frío y retrocederán muy despacio).

Además, todos estos encadenamientos de hechos afectan al Hemisferio Norte, continental y por tanto susceptible de recubrirse de nieve, pero no al sur (donde la Antártida está de todas maneras cubierta de hielo y donde una ligera variación del balance energético no parece revestir tanta importancia).

Pero el estudio de los hielos de Groenlandia, que permite hacer un análisis año a año durante los últimos 15 milenios y con una resolución decenal en el peor de los casos después, demuestra algo que nadie se esperaba y es que durante todo el periodo analizado el clima de Groenlandia sufrió sobresaltos térmicos de una intensidad, frecuencia y brusquedad absolutamente insospechadas.

Durante la última glaciación las temperaturas (en Groenlandia) eran, como promedio, 12-13°C más bajas que las actuales. Sin embargo, entre 37.000 y 11.000 BP se produjeron al menos 11 subidas bruscas de las temperaturas. Todos estos interstadios (se ha mantenido la terminología clásica) se caracterizan por una rápida elevación de las temperaturas (hasta 7°C en 30-40 años) y un mucho más paulatino retorno a las condiciones de partida.

Durante el interglaciar (cuyas temperaturas medias eran un par de grados superiores a las actuales) se produjo el fenómeno opuesto con caídas súbitas de temperatura de 10 a 14°C en lapsos de tiempo a veces inferiores a los 10 años. Ello generaba condiciones de tipo glaciar durante algunos siglos (en una ocasión durante tan sólo 70 años) para, después, volver las temperaturas a su punto de partida y repetirse el hecho una y otra vez con intervalos de unos siglos²⁵.

Estos sobresaltos (que no han aparecido en el sondeo ruso-francés de Vostok, cuya resolución es bastante inferior) plantean incógnitas muy importantes:

* Es evidente que tales cambios de temperaturas deben relacionarse con las corrientes marinas (que determinan absolutamente la climatología ártica). Pero ¿qué pudo producir cambios tan repentinos e importantes²⁶?

* Por otra parte, ¿qué utilidad pueden tener todas nuestras proyecciones en relación con el efecto invernadero? (estamos especulando, en el límite de la validez estadística de los datos, con el sentido de cambios de unas décimas en un siglo cuando la naturaleza conoce sobresaltos diez veces mayores en la mitad de tiempo).

²⁵ Dansgaard et al. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-Kyr ice-core record. *Nature*, 364, 15-VII-93, pp. 218-220.

Guillemot, H. (1993). Climat: l'instabilité est la règle. *Science & Vie*, 913, X-93, pp. 34-39.

²⁶ Broecker, W.S. (1996). Clima caótico. *Investigación y Ciencia*, I-96, pp. 22-29.

* ¿Qué relación existe entre todos estos hechos y el efecto invernadero? (en Vostok aparece clara la correlación entre las temperaturas de todo el Pleistoceno final con el contenido atmosférico de CO₂ y de metano) o, incluso, cabe preguntarse si son los gases de invernadero quienes calientan la atmósfera o si, más bien al contrario, es el calentamiento atmosférico quien incrementa los gases de invernadero.

Estas preguntas son en la actualidad algunos de los mayores interrogantes con los que se enfrenta la comunidad de científicos del clima. Si no comprendemos la razón de estos cambios mayores ni somos capaces de entender su posible ritmicidad, nuestra preocupación por las fluctuaciones seculares, del tipo de las que observamos en la actualidad, resulta poco menos que ridícula. A la luz de lo que hoy sabemos, no podemos descartar la posibilidad de que el conjunto de la humanidad se encuentre sometido, por razones naturales, a condiciones climáticas radicalmente distintas de las presentes en un plazo que podría no superar el de una generación.

En estas condiciones puede comprenderse que la reconstrucción de la evolución climática a la escala de los miles o de los millones de años tiene forzosamente que completarse con otra cuya "capacidad de resolución" no supere el decenio, o incluso tal vez menos, y que nos garantice la detección de ciclos o acontecimientos de corta duración. Este tipo de trabajo, que no puede abordarse más que para los últimos siglos, nos sitúa de lleno en campo de la historia y de sus métodos.

EVOLUCION POSTGLACIAR DEL CLIMA

Nuestros conocimientos sobre la evolución del clima en el periodo comprendido entre el Holoceno inicial y los primeros siglos de nuestra era, imprescindibles para entender los orígenes de nuestra cultura y de los paisajes naturales actuales, resultan relativamente decepcionantes y, en ocasiones, contradictorios. Ello se debe a que mientras que las fuentes de información "útiles" para este lapso de tiempo siguen siendo, en esencia, las mismas que las que nos informaron sobre el Cuaternario (con un progresivo protagonismo de las técnicas "arqueológicas" en detrimento de las disciplinas más "geológicas"), la mayor proximidad cronológica y la "aceleración" que experimenta la historia a partir de estos momentos van requiriendo datos más y más precisos que las citadas fuentes no han sido capaces de suministrar

hasta época muy reciente.

Por otra parte, la gran cantidad de estudios que existen sobre esta etapa, que normalmente explotan fuentes concretas de información muy puntuales en el espacio y en el tiempo, ha proporcionado un abultadísimo número de datos sueltos. Estos datos, que aparentan una gran precisión pero que tienen en realidad una validez muy desigual, han sido interpretados frecuentemente sin el rigor ni la perspectiva interdisciplinar necesarios dando pie a demasiadas publicaciones que, una y otra vez, pretenden proporcionar "claves definitivas" para entender el clima Holoceno no contribuyendo, a veces, más que a complicar su interpretación.

El Holoceno se caracteriza ante todo por un calentamiento climático global. Un calentamiento desigual, muy rápido al principio, durante lo que se ha denominado el Bolling/Allerod (en torno al 13.000 BP la temperatura de las aguas oceánicas pudo subir 10°C en menos de cuatro siglos frente a la Península Ibérica²⁷); momentáneamente interrumpido durante el Dryas reciente (durante el cual la insolación, por razones astronómicas, debía ser 10% inferior a la actual) que conoció un recrudecimiento climático entre el 12.000 y, aproximadamente, el 10.000 BP, y que volvería a restablecerse definitivamente entre esta última fecha y el 9000.

Estos sobresaltos iniciales, los últimos verdaderamente importantes que ha conocido la humanidad, dan paso a partir de la última fecha señalada al periodo Boreal. Ya en el Holoceno reciente, presentará una tendencia ininterrumpida al calentamiento y unas fluctuaciones mucho más suaves a medida que el nivel del mar se va recuperando, con él el trazado preexistente de la línea de costa, y la circulación marina va restableciendo los mecanismos de intercambio energético propios de las épocas cálidas anteriores (para lo cual es necesaria la llegada al Artico de la Deriva Noratlántica).

A juzgar por el ritmo del ascenso marino, la fase culminante de este calentamiento debió

²⁷ Bard, E.; Arnold, M.; Maurice, P.; Duprat, J.; Moyes, J.; Duplessy, J.C. (1987). Retreat velocity of the North Atlantic Polar front during the last deglaciation determined by means of ¹⁴C accelerator mass spectrometry. *Nature*, 328, pp. 791-794.

producirse aproximadamente entre el 8000 y el 6000 BP (prolongandose o retrasandose tal vez un millar de años más en ciertas regiones) para terminar en lo que tradicionalmente se ha denominado el "óptimo climático post-glaciar" en el Periodo Atlántico. Durante todo este tiempo la mejora progresiva del clima fue sostenida pero irregular conociendo algunas inflexiones bruscas de las tendencias cuando, por ejemplo, se produjo el retroceso y la relativamente rápida fusión del casquete escandinavo o cuando el agua irrumpió repentinamente en la Bahía de Hudson acelerando la desaparición del inlandsis canadiense.

El óptimo climático, cálido y húmedo en Europa, permitió la llegada a latitudes medias y altas de una fauna de tipo mediterráneo²⁸, el afianzamiento de una cubierta vegetal termófila a base de robledales con tilo y olmo en toda Europa Occidental e incluso de encinares hasta la altura del Canal de la Mancha, y favoreció el proceso de neolitización, hechos relativamente antagónicos y sin embargo simultáneos (lo que no deja de ser interesante: probablemente lo que consideramos como nuestra cubierta vegetal "natural" debe al hombre primitivo algunos de sus caracteres más representativos).

No obstante, es preciso evitar interpretaciones basadas en un excesivo determinismo climático: las primeras actividades agrarias documentadas se producen en un periodo de calentamiento pero son muy anteriores al "óptimo postglaciar" y no siempre aparecieron en los lugares más favorecidos por el clima sino que, muchas veces, se dan en torno a áreas de montaña o en regiones semiesteparias.

Tras este periodo de bonanza que favoreció a todo el Hemisferio Norte entre el 7-6.000 y el 5.000-4.500 BP, existen evidencias inequívocas de un empeoramiento de las condiciones climáticas en nuestras regiones entrándose en lo que se ha denominado el Subboreal y en su prolongación, ya en época histórica, el Subatlántico. Esta nueva etapa, que puede colegirse de diversos bioindicadores y de la existencia de una muy desigual y en general breve fase regre-

²⁸ Aaris-Sørensen, K. (1980). Atlantic fish, reptile and bird remains from the Mesolithic settlement at Vedbæk, north Zealand. *Videnskabelige Meddelelser*, 142, pp. 139-149.

siva²⁹, no ha dejado testimonios tan evidentes como las precedentes, presenta importantes diferencias regionales y, curiosamente, resulta para muchos temas relativamente peor conocida que las inmediatamente anteriores.

Sabemos no obstante que en Europa supuso la sustitución de la cubierta vegetal termófila por otra más bien mesófila. Es entonces cuando se produjo la desaparición de los encinares más "nórdicos", cuando los robledales cedieron gran parte de su extensión al hayedo, que experimentó una formidable expansión por toda la Fachada Atlántica a medida que se incrementaban en ella las lluvias estivales, cuando estas mismas lluvias empezaron a ignorar al Norte de Africa dando lugar al mayor desierto del mundo y cuando, a mitad de camino entre las dos regiones citadas, se iniciaba el proceso biogeográfico de "mediterraneización" que acabaría conformando el paisaje y el ambiente mismo que haría posible el nacimiento de nuestra cultura occidental.

La desecación del Sahara, bien conocida a través de testimonios arqueológicos, es la consecuencia más dramática de la nueva situación climática. Probablemente la región hoy ocupada por el desierto era relativamente árida con anterioridad pero la vegetación debía ser continua y numerosos ríos y lagos debían permitir la existencia de corredores y de amplias regiones verdes entre el Mediterráneo y el trópico. Se ha estimado que entre Kufra y el Tibesti, en una región situada en pleno centro del desierto y que hoy prácticamente desconoce las lluvias, las precipitaciones debían estar comprendidas entre los 200 y los 600 mm hace 8000 años para situarse entre 50 y 150 hace 5000. Dado que las temperaturas eran más bajas y la nubosidad mayor, esta pluviosidad bastaba para mantener un medio parecido al de las sabanas secas actuales. En él se encontraba una fauna tropical que incluía elefantes, búfalos, rinocerontes y jirafas pero también hipopótamos, cocodrilos y otros animales acuáticos que, se sabe, aún abundaban en el Egipto de las primeras dinastías, y que aparecen en numerosas pinturas rupestres argelinas en medio de representaciones de rebaños e incluso de canoas.

La desertificación del Sahara, consecuencia probable de una reorganización de la

²⁹ Pirazzoli, P.A. (1991). World Atlas of Holocene sea-level changes. Elsevier, 300 pp.

circulación atmosférica global, generará unas condiciones que, a su vez, refuerzan los efectos de los mecanismos climáticos que originaron el desierto retroalimentando un proceso que, en las condiciones actuales, parece irreversible.

Este proceso, que se fue escalonando a lo largo de varios milenios (Anibal todavía obtuvo sus célebres elefantes en lo que hoy es Argelia), expulsó a la población hacia la periferia del desierto y márgenes fluviales en un proceso de gran significación histórica para aquellas regiones. Algunos autores han llegado a afirmar que la aparición de la cultura egipcia clásica y de la organización de la puesta en cultivo de todo el Valle del Nilo, aprovechando sus avenidas anuales para la irrigación, puede haber sido una respuesta lógica a la súbita reducción de la tierra cultivable en todo el norte de Africa en aquel momento.

De la misma manera, es probable que la concentración de la población y la aparición de las grandes culturas agrarias de los valles del Indo y del Tigris y Eufrates durante el III milenio tenga relación con la desecación de las regiones circundantes, la pérdida de superficies agrarias y los reasentamientos de los miles de personas así desplazadas³⁰. Numerosos pasajes bíblicos ilustran fielmente las vicisitudes de éste tipo sufridas por el pueblo de Israel, los enfrentamientos entre los agricultores sedentarios, que controlaban el agua y las mejores tierras, y los ganaderos nómadas, la búsqueda incesante de nuevas tierras e, incluso, la aparición del desierto y de los lagos y costras de sal (probablemente la hipersalinidad del Mar Muerto y las formas salinas que se encuentran al sur del mismo -y que popularmente se han identificado con la mujer de Lot y su

³⁰ Lamb,H.H. (1979). *Climate: Present, Past and Future*, Methuen, London, 2 vols., 613 y 835 pp.

Lamb,H.H. (1982). *Climate history and the modern world*. Methuen, London & New York, 387 pp.

Le Roy Ladurie (1983). *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion, Paris, 2 vols., 287 y 254 pp.

Estas obras constituyen las referencias básicas para la historia reciente del clima y, en general, para los contenidos de las páginas que siguen. No obstante, dado el solapamiento o incluso la repetición abierta de los datos aportados por éstos y otros autores y, en muchos casos, el carácter "ya clásico" y ampliamente asumido de muchas informaciones, las citas a pie de página no se harán más que en caso de reproducciones textuales de pasajes o de temas concretos que revistan una cierta relevancia evitándose la repetición excesiva de las referencias.

cortejo- datan de esta época)³¹.

En contra de lo que ocurrió en Europa, y tras una breve crisis, el Subboreal permitió una rápida recuperación de las temperaturas en gran parte del resto del mundo alcanzando a veces el mar algunas de las cotas más altas conocidas en época reciente. Esto está particularmente bien documentado en Oriente Medio donde la subida del nivel marino facilitó la construcción en época de Sesostri I del primer canal entre el Mediterráneo y el Mar Rojo, cerca de la actual Suez (canal que aún subsiste pero que en la actualidad no permite la entrada de agua marina por su "sobreelevación" relativa).

Este periodo cálido y probablemente bien regado que disfrutaron los países ribereños del Mediterráneo durante el II Milenio se vio bruscamente interrumpido por una importante crisis climática entre los siglos XIII y X aC. En aquel momento las temperaturas sufrieron un fuerte descenso en todas las latitudes medias y altas y las precipitaciones, que se hicieron más imprevisibles y torrenciales en Europa, se redujeron drásticamente en todas las regiones comprendidas entre Asia Central y el Norte de Africa. En estas condiciones las cosechas se retrasaron como media más de un mes en Babilonia mientras que las regiones con predominio del secano se vieron sumidas en una gravísima crisis que, según numerosos autores, fue determinante en el declive de las culturas hitita y micénica y tuvo un importante impacto económico en Mesopotamia y Egipto³².

Este empeoramiento climático, que marca la transición hacia el periodo Subatlántico, supuso una marcada inestabilidad del nivel marino que, probablemente, experimentaría algunas breves pulsaciones. La descripción que se hace en el Libro del Exodo del paso de los judíos a través del Mar Rojo (hecho que coincide cronológicamente con estas posibles pulsaciones

³¹ Aunque las referencias son múltiples a lo largo de los libros más antiguos, resultan particularmente ilustrativos los capítulos 11- 13, 19, 26, 41 y 46 del Génesis o el Libro del Exodo.

³² Carpenter, R. (1966). *Discontinuity in Greek Civilization*. Cambridge University Press, Cambridge (Mass.). Citado en: Pinna, M. (1984). *La Storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*. *Memorie della Società Geografica Italiana* XXXVI, pp. 120.

regresivas) parece demostrar el conocimiento que de tales cambios del nivel marino existía al final del siglo XIII.

En el Norte de Africa la crisis fue pasajera y dio paso entre los siglos X y VII aC a un periodo de prosperidad favorecido por un incremento de la pluviometría en toda la margen sahariana. Las pruebas de esta fase climática son abundantes y muy diversas e incluyen desde los depósitos sedimentarios (de este momento son los restos de costras fangosas que recubren campos de dunas en El Fayoum y en Asyut) hasta los testimonios escritos: *"la tierra era como el mar, la arena desaparecía y las aguas inundaron la ciudad de Tebas. No se conoció otra igual en nuestra historia; la causa de ello fueron las grandes lluvias en Nubia"*³³ (recuerdese que en el área central de Nubia las lluvias son hoy prácticamente desconocidas registrandose, como promedio, una vez cada dos años. Lluvias como las que describe el texto son, sencillamente, impensables en la actualidad).

Sin embargo el empeoramiento del inicio del Período Subatlántico prolongó durante más tiempo sus consecuencias adversas en latitudes medias y altas. En los Alpes se produjo un avance generalizado de los glaciares a la vez que varias fases de lluvias torrenciales escalonadas durante los siglos siguientes alteraron el nivel de los lagos destruyendo, una y otra vez en torno a los años 1300, 1000, 800 y 500, la mayoría de los asentamientos palafíticos y ribereños de la región.

Más al norte, el refrescamiento y fuerte incremento de las precipitaciones de esta época es responsable del decaimiento de los focos culturales escandinavos de la Edad del Bronce, del abandono progresivo de las regiones más septentrionales de Europa y, con él, de las primeras invasiones germánicas que ha conocido nuestro continente.

La situación fue cambiando progresivamente entre el 250 y el 200 aC momento en el que se inicia una etapa de particular bonanza climática que se prolongará en Europa Occidental durante todo el periodo romano. Tal como describen los escritores clásicos de temas agrarios,

³³ Referencia de Herodoto (II,137 y 683) a inundaciones durante el reino de Shabaka. Citado en Pinna,M., op.cit., pp.131.

esta fase permitió una expansión de los cultivos hacia regiones del norte de Italia en las que dichos productos no habían llegado nunca a prosperar por razones climáticas:

*"Muchos estudiosos dignos de crédito han expresado la opinión de que el tiempo y el clima han cambiado, pero el famosísimo astrónomo Hiparco había previsto que un día las condiciones del cielo cambiarían. De esto estaba también convencido el autorizado escritor de cuestiones agrarias Saserna que, en su libro sobre la agricultura, asegura que las condiciones del clima habían cambiado mucho, por lo cual ciertas regiones que con anterioridad no podían permitir el crecimiento de especie alguna de vid y de olivo a causa de la crudeza de sus inviernos, se habían hecho en su tiempo ricas en fértiles olivares y viñedos, prueba de que el clima frío de los tiempos pasados se había hecho más tibio y agradable"*³⁴.

Pero los testimonios van más allá e incluyen los cambios naturales de paisaje: Plinio en su Historia Natural (XVI,15) comenta la existencia reciente de hayas en los alrededores de Roma constatando su definitiva desaparición (y, aunque no lo diga, sustitución por encinares). Aunque no es posible descartar que tal ocaso se debiera a su sobreexplotación por la presencia de la gran ciudad, es interesante recordar que durante los siglos anteriores, más frescos y húmedos y "menos mediterráneos", los hayedos recubrieron amplias superficies en todo el sur de Europa y que, aún hoy, se conservan algunos bosques residuales en enclaves húmedos de Tarragona, o de montañas tan señeras del mundo mediterráneo como el Etna y el Olimpo.

Durante todo este periodo el clima debió ser más cálido, húmedo y, probablemente, estable que en la actualidad en toda la cuenca Mediterránea. Llama mucho la atención las diferencias climáticas que pueden deducirse de las observaciones anotadas en el diario realizado por Claudio Tolomeo en Alejandría hacia el año 120 de nuestra era de acuerdo con las cuales dicha ciudad registraba precipitaciones once meses al año y sufría las temperaturas máximas entre julio y agosto (lo que denota no sólo una pluviometría muy superior sino, en general, un régimen de vientos diferente del actual). Sólo en estas condiciones se explica la importancia

³⁴ Columela: De Re Rustica I,5.

agraria de todas esas regiones entonces consideradas como el "granero de Roma" y en las que difícilmente puede mantenerse una cerealicultura intensiva por debajo de la hoy inalcanzable cota de los 350-400 mm de precipitación.

En las regiones más septentrionales de Europa el clima también resultaba suave y propicio para las actividades productivas. Los glaciares alpinos retrocedieron sensiblemente, permitiendo el paso y la extensión de la minería a través de cotas muy altas, los ríos se debían helar raramente y el mar debió resultar fácilmente navegable. Sin embargo, el inevitable ascenso de su nivel conllevó la inundación de amplias comarcas costeras entre el Canal de la Mancha, los Países Bajos y Dinamarca provocando el abandono de antiguos asentamientos y generando un ambiente palustre que tardaría siglos en recuperarse para el uso humano.

Esta fase cálida se prolongará aún durante todo el primer milenio en muchos lugares del mundo. En Europa, en la Cuenca Mediterránea y en Asia Central y Sudoccidental se verá sin embargo interrumpida a partir de los años 300 a 450 aproximadamente por un incremento de la aridez en las regiones más meridionales y un enfriamiento acompañado de un aumento de las lluvias en las septentrionales.

La crisis altomedieval presentó dos "picos" en las áreas mediterráneas, uno entre los siglos IV y V y el otro en torno al 800, mientras que en Asia fue ininterrumpida durante todo este tiempo y, aparentemente, mucho más dura: se sabe que el Mar Caspio registró sus niveles mínimos históricos, que la aridez acabó con amplias zonas de pastos empobreciendo y sumiendo en el hambre a pueblos enteros, que antiguas ciudades-etapa situadas a lo largo de la célebre Vía de la Seda tuvieron que ser abandonadas en Irán, Afganistán y Turkestán y que prácticamente todas las poblaciones que por su situación constituían "puertas del desierto", tanto en Oriente Medio como en el Sahara, y que habían disfrutado de una prolongada prosperidad gracias al comercio, se vieron sumidas en gravísimas crisis y, normalmente, acabaron por ser abandonadas. Es el caso, entre otras, de Timgad, Leptis Magna, el Djem, Petra, Palmira, Antioquía o Efeso, ciudades muy distintas (y distantes) y en las que, evidentemente, concurren otros factores no menos diversos (recordemos, por ejemplo, que nos encontramos ante los primeros años del Islam en unas regiones que, ya en aquella época, eran conflictivas de forma

crónica). Sin embargo, la coincidencia cronológica, los cambios en las economías de todos estos núcleos y la recurrencia de ciertos indicadores parecen demostrar de forma inequívoca el papel del clima en la crisis de la región.

Este deterioro de las condiciones naturales del centro de Asia expulsó de sus tierras de origen a millares de personas que, desplazándose hacia el Extremo Oriente o hacia Europa, dieron lugar a las sucesivas oleadas de "pueblos bárbaros" que conoció nuestro continente durante aquellos siglos. Es interesante observar que las migraciones no tienen una componente Norte-Sur como había ocurrido en ocasiones anteriores con motivo de enfriamientos climáticos sino Este-Oeste, es decir, desde las estepas y desiertos del centro del continente hacia su verde fachada oceánica.

Sin embargo, Europa Occidental no disfrutaba de su mejor clima: a partir del siglo V se produce un sensible descenso de las temperaturas invernales que, acompañado por lluvias intensas y por mucha nieve en las zonas más frías, conlleva un deterioro de la vegetación en las regiones árticas y de montaña y un brusco crecimiento de los glaciares alpinos. En algunos lugares, como en el Val de Bagnes, en Suiza, el avance del hielo es comparable al que se registraría bastante siglos después durante la "Pequeña Edad del Hielo" invadiendo áreas ocupadas del fondo de los valles, interceptando vías tradicionales de comunicación y, en general, dificultando mucho las relaciones entre las regiones mediterráneas y el Centro de Europa.

Como es habitual en tales casos, el nivel marino acusó inmediatamente el enfriamiento sufriendo los efectos de una ligera regresión suficiente no obstante para conformar una nueva línea de costa en los Países Bajos en medio de sucesivos temporales que causaron frecuentes destrozos y segaron un número considerable de vidas en aquellas regiones.

Afortunadamente la crisis es de corta duración y, rápidamente, es sustituida hacia el 750 o el 800 por el retorno de unas condiciones favorables que ya no habrían de abandonar el continente hasta el final de la Edad Media.

Así, entre los siglos X y XII se produce un periodo cálido, un auténtico "óptimo climático", aberrante de hecho por la excepcionalidad de sus valores, que supuso una etapa de prosperidad en toda Europa Occidental, la existencia de excedentes agrarios, los intercambios comerciales, la colonización de diversas regiones marginales e, indirectamente, una fase de esplendor de las ciudades.

Las evidencias históricas que nos permiten deducir tales rasgos climáticos son tan abundantes como diversas y, lo que es más importante, aparentemente unívocas:

En los Alpes, donde los alerces conocen una expansión sin precedentes y el límite del árbol asciende muy por encima de su posición actual, diversas actividades florecen en lugares que, aún hoy, nos parecen sorprendentes. El caso mejor documentado es el de las minas de oro del Hölle Tauern situadas a gran altitud y que tras varios siglos de actividad ininterrumpida tendrían que abandonarse definitivamente en el siglo XIII ante el avance de los glaciares.

Simultáneamente en las regiones árticas, las más sensibles a cualquier fluctuación, los vikingos se instalan en toda Escandinavia, colonizan Islandia en el siglo IX y un siglo más tarde ocupan Groenlandia que recibe desde entonces ese nombre de "Tierra Verde".

Y aunque es evidente que tal nombre tiene más de reclamo publicitario que de descripción real de los caracteres de la isla, no debemos por ello ignorar que ya en el siglo IX se cultivaba centeno en Noruega en Malangen, a 69°30' de latitud, que en Islandia, donde existían importantes bosques de abedules, se cultivaron cereales durante varios siglos, que en las costas de Groenlandia se pescaba bacalao en aguas excesivamente frías hoy para tal especie y que existen testimonios fiables de travesías a nado que se consideran imposibles en las aguas actuales por simples razones fisiológicas.

Todos estos hechos parecen demostrar que las temperaturas debían ser, como mínimo, 3 ó 4° más altas que las actuales en la periferia del Ártico y al menos 1°C en el sur de Inglaterra donde el cultivo de la vid y la producción de vino se llevaron hasta el Yorkshire. En general, los veranos eran secos y los inviernos suaves y lluviosos en toda Europa Occidental.

En los países mediterráneos, las temperaturas no debían ser muy distintas de las actuales pero la humedad y la pluviometría eran mucho más importantes a juzgar por los recursos que se invirtieron para construir magníficos puentes (como el Ponte dell'Ammiraglio de Palermo) para atravesar ríos que hoy no son más que pequeños arroyos o a juzgar por el exagerado miedo que los peregrinos jacobeos (que no debían ser precisamente pusilánimes) tenían a algunos de nuestros ríos meseteños.

Sin embargo, no todo era positivo en estas condiciones. El mar, más cálido, sufría por esa misma razón temporales más frecuentes y violentos y presentaba un nivel más alto que el actual. En Flandes y en los Países Bajos esta situación acabó resultando catastrófica al romperse los cordones de dunas que defendían la costa y padecer ambos países terribles inundaciones que, a lo largo de tres siglos acabarían produciendo cientos de miles de víctimas y anegando irreversiblemente amplias superficies.

A partir de la segunda mitad del siglo XII en el norte, un poco más tarde en las regiones europeas más meridionales, esta situación empieza a cambiar.

Sabemos que en las latitudes elevadas la navegación se vio progresivamente dificultada por un incremento de los temporales y de los hielos flotantes que bloquearon frecuentemente los puertos³⁵. La comunicación entre Groenlandia, Islandia y Noruega quedó interrumpida en numerosas ocasiones y las poblaciones de ambas islas, abandonadas a sí mismas, se vieron sumidas en una crisis de la que no llegarían a recuperarse (aunque es evidente que también debieron concurrir en ella factores políticos y sociales) y que hizo perder a los vikingos todo el protagonismo que habían tenido hasta muy poco antes.

Esta crisis, que no hará más que agravarse durante los siglos siguientes, culminará con la desaparición del poblamiento de Groenlandia tras una sucesión de hambrunas y de carencias que han dejado algunos testimonios patéticos: la estatura media de los hombres inhumados en la

³⁵ Schell, I.I. (1961). The ice off Iceland and the climates during the last 1200 years, approximately. *Geografiska Annaler*, XLIII, 3-4, pp. 354-361.

necrópolis de Herjolfsnes pasa durante esos años de 177 a 164 cm³⁶.

Entretanto, en América del Norte, el clima se hizo más seco y se sabe de comunidades indígenas que tuvieron que abandonar la agricultura para volver a una caza y a una trashumancia que prácticamente se habían olvidado.

Pero es en Europa Occidental, y particularmente a partir de 1310, donde coincide el mayor número de testimonios de esta etapa. Mientras que los temporales siguen haciendo estragos en los Países Bajos, donde el anegamiento de una amplia superficie da lugar al golfo de Zuiderzee, ríos tan distantes como el Támesis o el Ródano se hielan una y otra vez interrumpiendo la navegación y la actividad portuaria.

Sólo el Mediterráneo mantiene un ambiente tibio y lluvioso. Sin embargo, la frecuencia de las grandes avenidas en agosto y septiembre, un par de meses antes que en la actualidad, y las plagas de langostas que procedentes de África asolaron Alicante, Tortosa y otros lugares a lo largo del siglo XIV podrían interpretarse en relación con la persistencia de situaciones ciclónicas y con una circulación atmosférica notablemente distorsionada respecto a la actual por la persistencia de los anticiclones de bloqueo sobre Escandinavia.

Volviendo a la fachada atlántica, las olas de frío invernales vinieron frecuentemente acompañadas por un tiempo exageradamente húmedo favorecido por las situaciones del W o SW que echa a perder las cosechas y es responsable de un ambiente particularmente insano en las ciudades.

En el siglo XV esta tendencia se acentúa y los inviernos se recrudecen aún más: el Ebro se hielan en Tortosa y se citan bandadas de lobos hambrientos cruzando el Báltico helado desde Noruega hacia Dinamarca huyendo del frío.

Todas estas circunstancias climáticas tuvieron una enorme trascendencia social y

³⁶ Lamb, H.H. op.cit., pp. 178-179

económica. Así, junto a la ya mencionada crisis de los asentamientos situados en la periferia del Artico, se produjo un continuo desplazamiento hacia el sur de lo que podríamos llamar "centro de gravedad cultural" de los pueblos del norte: de Trondheim se pasa a Bergen, de aquí a Oslo y de Oslo, a Kopenhague. Al mismo tiempo, Escocia sufría una crisis de producción sin precedentes que se tradujo en una sucesión ininterrumpida de hambrunas y de desórdenes sociales. La inseguridad acabó siendo de tal magnitud que justificó el desplazamiento de la capitalidad a Edimburgo, único castillo en el que la vida misma del rey parecía poder garantizarse.

La pérdida de tierras útiles en el norte tuvo su equivalente en la reducción de potencialidad de las zonas de montaña de las latitudes medias. Desaparecieron entonces extensas áreas de viñedo en Alemania y en los Vosgos a la vez que el nivel del bosque descendía en todo el continente. Se estima que, en tres siglos, el límite superior de los cultivos descendió en Escocia de los 425 metros documentados en el siglo XIII a los 225 del siglo XVI.

La crisis desencadenada por esta situación fue particularmente grave en las Islas Británicas donde las pérdidas de cosechas se vieron agravadas por la extensión de plagas como el cornezuelo del centeno, responsable del ergotismo, que debilitaron enormemente a la población y favorecieron la expansión fulminante de la peste por toda Europa (es cierto que no sólo de la Atlántica).

Entre la mitad del siglo XV y bien entrado el XVI se produce una mejoría de la situación perceptible sobre todo en el sur de Europa. Disminuye la frecuencia con la que se huela el Ródano, se producen numerosas cosechas y vendimias precoces a la vez que se verifica un apreciable retroceso de numerosos glaciares alpinos y las comunicaciones a través de las regiones de montaña (entre Italia y Alemania por ejemplo) se ven muy mejoradas con la apertura de nuevas vías y la multiplicación de los asentamientos en las zonas altas.

Aparentemente, quien resultó más beneficiada por esta clemencia fue la Cuenca Mediterránea. Pese a las pestes y a los sobresaltos producidos por algunas olas de frío intempestivas, por una humedad a veces excesiva y por un tiempo bastante irregular e impredecible, España e Italia experimentaron un importante crecimiento económico y un excelente

momento cultural que sería excesivo atribuir al clima pero que, evidentemente, no se vio entorpecido por él.

Estas circunstancias se ven confirmadas en la orilla opuesta del mismo mar donde los geógrafos y viajeros árabes nos describen condiciones de vida bastante favorables en las márgenes de un desierto cuyos verdaderos límites se encontraban bastante más retirados que en la actualidad.

Pero esta fase favorable es de corta duración. Si el siglo XVI es conocido por algo es por coincidir con el inicio de la peor crisis climática que ha sufrido el hombre moderno: la "Pequeña Edad del Hielo" que se prolongará, con algún sobresalto y algún paréntesis, hasta mediados del siglo pasado.

Las consecuencias de la Pequeña Edad del Hielo son muy diversas y están bien documentadas con datos de todo tipo incluyendo las series de registros de Tycho Brahe y de otros precursores de la meteorología.

Gracias a todos esos indicadores y datos sabemos que durante la Pequeña Edad del Hielo se produjo en toda Europa Occidental un descenso rápido de las temperaturas que, entre 1560 y 1600, debieron ser en invierno 1,5 a 2° más bajas que las actuales. Este descenso es aparentemente atribuible a la persistencia durante gran parte del año de los vientos del E y del NE, y por tanto del anticiclón escandinavo, y al desvío consiguiente hacia latitudes más bajas del cinturón de perturbaciones del Frente Polar (lo que, de paso, producía en ellas un incremento de los gradientes de presión y temperatura y, con ello, una mayor frecuencia de los acontecimientos violentos). En estas circunstancias, los inviernos meteorológicos se alargaban hasta marzo-abril, los veranos resultaban irregulares y en general muy húmedos y los temporales bruscos y frecuentes.

Las sucesiones de veranos frescos y húmedos y de primaveras nivosas favorecieron la acumulación de nieve en las áreas de montaña. Esta acumulación está bien documentada a través de la difusión de enfermedades y plagas, como las generadas por el *Fusarium nivale*, un

parásito que, aún hoy, ataca en Suiza a los cereales que crecen bajo la nieve) de la misma forma que el descenso de las temperaturas medias puede deducirse de la presencia constante de hielo durante este periodo en determinadas cuevas. Así Poissenot relata su visita a la célebre cueva de la Froidière de Chaux (en la que el hielo se explotaría de forma ininterrumpida hasta su desaparición en 1910):

"...laquelle nous trouvâmes de la longueur et largeur d'une grande salle, toute pavée de glace par la bas, une eau cristalline, plus froide que celle du mont d'Arcadie Nonacris (...) jamais je ne jettay mes yeux en haut que de frayeur tout le corps ne me frissonnait et que les cheveux ne me dressassent en teste, voyant tout le dessus de la grotte revêtu de gros glaçons massifs, le moindre desquels, tombant sur moy estoit suffisant de m'escarbouiller le cerveau et me mettre en pièces..."³⁷

Pero, sobre todo, la Pequeña Edad del Hielo se refleja en un espectacular avance de los glaciares de montaña. No siendo sincrónico ni lineal en todo el Hemisferio Norte, tal avance es generalizado a partir de 1550 y alcanza su máximo pasado 1700. Y aunque varios autores han identificado diferentes fases paroxísmicas, una entre 1600 y 1640-1650, la segunda entre 1770 y 1780-1790 y la última entre 1850 y 1865³⁸, cada macizo o grupo de glaciares presenta sus propias fechas y particularidades y difícilmente pueden utilizarse como referencia cronológica directa a causa del inevitable desfase que se produce entre la acumulación en la cabecera y su reflejo en la lengua glaciar.

³⁷ *...la cual encontramos de la longitud y anchura de una gran sala, toda pavimentada de hielo por ahí, un agua cristalina, más fría que la del monte de Arcadia Nonacris (...) cada vez que echaba mis ojos hacia arriba todo el cuerpo se me estremecía de miedo y los pelos se me ponían de punta viendo todo el techo de la cueva revestido de grandes bloques de hielo macizo, el menor de los cuales bastaría, cayendo sobre mí, para espachurrarme el cerebro y hacerme pedazos...*

Poissenot, B. (1586). Nouvelles histoires tragiques... ensemble une lettre à un ami contenant la description d'une merveille appelée la Froidière venue par l'auteur en la Franche Comté de Bourgogne, Paris, pp.440-451. Cit.en Le Roy Ladurie, Op.cit. pp. 167-168.

³⁸ Jorda, M.; Roditis, J.C. (1993). Les épisodes de gel du Rhône depuis l'an mil. Périodisation, fréquence, interprétation paléoclimatique. Méditerranée, 3.4, pp.19-30.

Bachmann, R.C. (1981). Glaciares de los Alpes. RM, Barcelona, 304 pp.

Grove, Jean M. (1988). The Little Ice Age. Routledge, London-New York, 498 pp.

No obstante, es interesante observar que este máximo glaciar del siglo XVIII coincide con los datos de la dendroclimatología que nos presentan ese principio de siglo como el momento más crudo en el SW de EEUU.

Como consecuencia de estas condiciones, numerosas granjas y pastos de montaña fueron abandonados en las zonas altas de los Alpes, varios puertos y vías de comunicación transalpinas dejaron de ser regularmente transitables (a veces ocupados por glaciares) y el imparable avance del hielo llegó incluso a destruir varias aldeas bajo la mirada impotente de sus moradores que nos han dejado numerosos testimonios escritos del hecho.

*Les glaciers, rivière d'Arve et autres torrens ont ruyné et gasté cent nonante cinq journaux de terre en divers endroitz de la dicte parroesse (Chamonix) et particulièrement nonante journaux et douze maisons ruynés au village du Chastelard auquel n'est resté que la douzième partie du terroir, le village des Bois deshabité à cause desd. glassiers; au villaige de la Rozière et Argentier sept maisons couvertes des susd.glassiers, dont le ravaige continue et faict de jour è aultre progrès... deux autres maisons ruynés au villaige de La Bonneville... à l'occasion desd.ruynes la cense du disme ets grandement diminuinée.*³⁹

Cuando se producía una de estas fases de avance los habitantes de los valles alpinos, que estaban acostumbrados a la presencia de los glaciares y que conocían el peligro que

³⁹ *Los glaciares, río Arve y otros torrentes han arruinado ciento noventa y cinco "journaux" de tierra en diversos lugares de dicha parroquia (Chamonix) y en particular noventa "journaux" y doce casas arruinadas en el pueblo de Chastelard al que no le ha quedado más que una doceava parte de su tierra, el pueblo de Bois deshabitado a causa de los dichos glaciares; al pueblo de la Rozière y Argentier siete casas cubiertas por los susodichos glaciares cuyos estragos continúan y progresan de día en día... otras dos casas arruinadas en el pueblo de La Bonneville... con motivo de dichas ruinas el censo del diezmo está grandemente disminuido.*

Documentos manuscritos del archivo de Chamonix publicados por Letonnelier, G. (1913). Documents relatifs aux variations des glaciers dans les Alpes françaises. Comité des Travaux historiques et scientifiques, Bulletin de la section de géographie, 28. Citado en Le Roy Ladurie, op.cit. pp. 172-173

representaban, intentaban detenerlo con todos los medios a su alcance lo que ha dejado multitud de testimonios muy precisos y de gran interés para el historiador del clima.

Cuando los medios materiales y las fuerzas de los afectados parecían agotados, se recurrió en varias ocasiones a la iglesia con objeto de exorcizar el avance de estas diabólicas "serpientes" de hielo: así, en el momento en el que el glaciar des Bois parece que va a obstruir el paso del Arve y desencadenar una catástrofe, Carlos de Sales, coadjutor de Ginebra y sobrino de S.Francisco, es prevenido; el 29 de mayo de 1644, tras recibir la visita de los síndicos de Chamonix, promete su ayuda y, a principios del mes siguiente encabeza una procesión de 300 personas *"au lieudit Les Bois sur le village duquel est imminent et menassant de ruyne totale un grand et spovantable glacier poussé du hault de la montagne"*, glaciar que bendice *"solennellement, a forme de rituel"*. A continuación bendice el glaciar de Argentièrre y *"un aultre horrible glacier, sur le village dit Le Tour..."*⁴⁰ Las descripciones y enumeraciones son abundantes y demuestran que las lenguas glaciares se encontraban inmediatas a los pueblos (y fácilmente accesibles para una procesión encabezada por ancianos que difícilmente podrían llegar hoy hasta algunas de ellas). El caso es que, en esta ocasión, la medida parece eficaz y en un documento de 1665 queda constancia del retroceso del hielo:

*"...ont heu recours à Monseigneur de Genève, l'hors evesque d'Ebron, afin d'exorciser lesdict glaciers, lesquels de despuis ils sont retirés de peu à peu: mais ils ont laissé la terre qu'ils occupaient si stérile et bruslé que despuis il ny est creu ny herbe ny aultre chose"*⁴¹.

Por eso, cada vez que en ocasiones sucesivas (la primera de las cuales se presentaría en

⁴⁰ *...en el lugar de Les Bois sobre cuyo pueblo está inminente y amenazando ruina total un gran y espantoso glaciar empujado desde lo alto de la montaña (...) otro horrible glaciar, sobre el pueblo llamado Le Tour.*

Letonnelier,G.(1913). Op.Cit. In Roy Ladurie, pp. 221.

⁴¹ *...han recurrido a Monseñor de Ginebra, el entonces obispo de Ebrón, con el fin de exorcizar los dichos glaciares, los cuales, desde entonces se han retirado poco a poco: pero han dejado la tierra que ocupaban tan estéril y quemada que desde entonces no ha crecido ni hierba ni otra cosa.*

Letonnelier,G.(1913). Op.cit. In Le Roy Ladurie, pp. 223.

ese mismo decenio) el glaciar reiniciaba su avance sobre el valle, se multiplicaron los actos religiosos, la traída de reliquias y las visitas, hechos todos ellos que nos dejan buena constancia de las pulsaciones del hielo y que están suficientemente estudiados para ser explotados de forma objetiva.

Fue sin embargo el norte de Europa quien, de nuevo, se llevó la peor parte. En Islandia, donde el cultivo del cereal tuvo que ser definitivamente abandonado⁴², los glaciares arrasaron numerosas granjas y el interior de la isla se hizo inhabitable desencadenando un movimiento de población hacia la costa meridional. Pero al recubrir áreas de vulcanismo activo, la fusión de los glaciares desencadenó grandes e imprevisibles riadas que limitaban aún más la superficie útil de una isla que, por si fuera poco, permaneció años enteros incomunicada a causa de los hielos marinos, se vio privada de su principal recurso pesquero al emigrar el bacalao hacia aguas más tibias (al final del XVII las temperaturas del mar eran unos 5º más bajas que las actuales) y sufrió catastróficas erupciones que, con sus gases, envenenaron y echaron a perder gran parte de los pastos. Todos estos hechos redujeron su población hasta la mitad de los efectivos con los que contaba en el siglo XI.

Más al sur, son estos años en los que los lagos suizos⁴³, el Támesis, el Báltico, el Zuiderzee, el Ródano y hasta los canales de Venecia se hielan periódicamente bloqueando la navegación y las actividades portuarias. Esto aparece representado en multitud de ocasiones en las pinturas de Pieter Brueghel el Viejo (que con sus temas invernales inicia, en particular tras el crudísimo invierno de 1564-65, todo un género donde los verdaderos protagonistas serán el paisaje y la meteorología) y es aprovechado por los londinenses que, forzosamente inactivos por el bloqueo del puerto, empiezan a organizar auténticas fiestas sobre el hielo.

La posibilidad de que el Támesis se hiele siempre ha existido y, por razones obvias, está muy bien documentada: se conocen al menos ocho episodios anteriores al año 1000 y a lo largo

⁴² Schell, I.I. Op.cit.

⁴³ Pfister, C. (1989). Fluctuaciones climáticas y cambio histórico. El clima en Europa Central desde el siglo XVI y su significado para el desarrollo de la población y la agricultura. Geocrítica 82, 41 pp.

del resto de la Edad Media esta eventualidad se produjo varias veces más. En cada caso, el congelamiento del río era pretexto para unos regocijos espontáneos que atraían a todo el mundo sin distinción de clases: se sabe, por ejemplo, que Isabel I o que Enrique VIII se aventuraron sobre el hielo en medio de la algarabía popular. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XVI, la crudeza de los inviernos fue en aumento y estas fiestas, cada vez más frecuentes, acabaron dando paso a partir de 1607 a las verdaderas "Ferias del Hielo".

Durante las mismas se levantaban edificios contruídos con bloques de hielo (como los que visitó Carlos II en 1683-84 durante un episodio que duró más de dos meses) y se erigían decenas de tiendas de campaña en las que se ofrecía toda clase de divertimentos, desde el patinaje y la organización de conciertos, bailes y juegos, hasta otros de frecuentación más dudosa.

Pese a que los fríos invernales se prolongaron durante algunas décadas más, el calentamiento de las aguas del Támesis por efecto de la industria y de los efluentes urbanos fue dificultando su congelación a partir del siglo XIX y la última Feria de Hielo, que según las crónicas resultó pobre y aburrida, "*The ice, from its roughness and inequalities, is totally unfit for amusement*"⁴⁴, se celebró en el invierno 1813-14. Aún así, si nos fiamos de lo que nos reporta la prensa, los londinenses debieron aprovechar bien la ocasión:

*"Yesterday a very fine elephant crossed the Thames a little below Blackfriars Bridge; the singularity of such an animal on the ice attracted a great concourse, who accompanied him to the Olympic Theatre, where he was ushered into his new apartments in the presence of at least five thousand spectators"*⁴⁵

⁴⁴ *El hielo es totalmente inapto para la diversión por su aspereza y falta de igualdad.*
The Times, 2 de febrero de 1814. Cit. en Gribbin, J. (1990). Weather force. Bison Books, London, pp.99.

⁴⁵ *Ayer un magnífico elefante cruzó el Támesis algo más abajo del Puente Blackfriars; la singularidad de un tal animal sobre el hielo atrajo una gran concurrencia que le fue acompañando hasta el Olympic Theatre, donde fue introducido en sus nuevos aposentos en presencia de, como mínimo, cinco mil espectadores.*
The Morning Post, 3 de febrero de 1814. Cit. Gribbin, J. Op.cit. pp. 99.

Sin embargo no todas las consecuencias del frío fueron tan festivas. El mar se helaba en anchuras que superaron los 30 km alrededor de los Países Bajos en 1683 impidiendo la navegación y la pesca y la estación útil para la agricultura se acortó dos meses en Inglaterra.

Volvieron a repetirse entonces las situaciones de extrema penuria que culminaron con la desaparición de numerosos pueblos y asentamientos de East Anglia y de Escocia. Los hechos llegaron a ser tan graves que Jacobo VI de Escocia y Iº de Inglaterra dispuso en 1612 el desplazamiento de los habitantes de pueblos enteros escoceses hacia el Ulster, donde las condiciones eran más favorables, en busca de tierras cultivables (y, de paso, del control político de Irlanda del Norte). En menos de un siglo los así desplazados serían más de 100.000 alimentando las sucesivas oleadas un problema político, social y religioso cuyas secuelas, bien conocidas, han llegado hasta la actualidad.

La situación sin embargo siguió empeorando durante los decenios siguientes en las Islas Británicas: entre 1693 y 1700 se perdieron en Escocia siete de las ocho cosechas produciendo una hambruna y un debilitamiento desesperado de la población que contribuyeron sin duda mucho más que otros factores de tipo político a la Unión con Inglaterra en 1707.

La información relativa a nuestro país sobre los siglos XVI y XVII es más dispersa y contradictoria aunque, en lo esencial, concuerda bastante bien con lo descrito en el resto de Europa y con los modelos que nos hablan de la persistencia de una circulación con una fuerte componente meridiana. En general los inviernos fueron fríos o muy fríos y más bien secos (lo que se corresponde con el predominio de anticiclones térmicos continentales) mientras que los veranos fueron normalmente cálidos aunque de corta duración.

Acortamiento de los veranos y recrudecimiento de los inviernos es lo que parecen indicar de hecho no sólo los numerosos testimonios históricos disponibles sino también los fenológicos o biogeográficos. Así, mientras que los anillos de crecimiento de los pinos del Pirineo se van reduciendo hasta alcanzar sus valores mínimos en torno a 1700 (lo que nos hable

de primaveras frías o, si se quiere, de un alargamiento del invierno)⁴⁶, asistimos a un buen número de plagas de langosta procedentes de Africa (fenómeno que se ve favorecido por las altas temperaturas y por las situaciones depresionarias que estas originan sobre el Magreb), a la vez que las fechas de las vendimias, bien conocidas para el caso de Valladolid⁴⁷, se adelantan considerablemente durante casi todo el siglo XVII (lo que puede indicar bien que la primavera y verano han sido cálidos, bien que los viticultores temen perder su producción por las heladas tempranas. En cualquiera de los dos casos esta precocidad, que no implica buena calidad del producto, encaja perfectamente con los rasgos climáticos descritos).

Sin embargo, mientras que los dos primeros tercios del siglo XVI nos ha dejado el recuerdo de continuas y pertinaces sequías que justificaron la multiplicación de rogativas por toda nuestra geografía, el periodo siguiente y todo el XVII pasaron a la historia por su tremendo número de inundaciones (eventos que en cualquier caso no son excluyentes y que se superpusieron un muchas ocasiones) y por su ambiente excesivamente húmedo lo que acabó resultando catastrófico para todas las regiones del sudeste peninsular.

La reconstrucción de las situaciones sinópticas de todo el verano de 1588 gracias al recorrido de la Armada Invencible y a las observaciones simultáneas de Tycho Brahe demuestra la presencia veraniega sobre la Península de borrascas que, en la actualidad, circulan a latitudes muy superiores sin alcanzar más que en casos excepcionales la profundidad y persistencia de aquellas⁴⁸. Una circulación con un índice zonal bajo favorecía la llegada frecuente de aire frío hasta el Mediterráneo dando lugar a situaciones de fuerte inestabilidad y a las precipitaciones consiguientes.

⁴⁶ Creus,J. (1991-2). Tendencia secular de la temperatura de Mayo en el Pirineo Oriental. Notes de Geografía Física, 20-21, pp. 41-49.

⁴⁷ Benassar,B.(1983). Valladolid en el Siglo de Oro. Una ciudad de Castilla y su entorno agrario en el siglo XVI. Ed.Fundación Municipal de Cultura. Exmo.Ayto.de Valladolid, pp. 46-47

⁴⁸ Lamb,H.; Douglas,K.; Loader,C. (1978). A meteorological study of july to october 1588: The Spanish Armada Storms. Univ.of East Anglia, Norwich.

Linés,A. (1984). Las condiciones meteorológicas durante la navegación de la Gran Armada de Lisboa a Coruña. Revista Historia Naval, Madrid.

En tales condiciones es probable que el conjunto de España fuera menos árido que en la actualidad conservandose aún hayedos y masas forestales caducifolias en áreas hoy dominadas por las formaciones esclerófilas. Si las citas de hayas en el Quijote, que no deja de ser una novela, son célebres, estas todavía pueden rastrearse en el diccionario de Pascual Madoz, muy posterior pero aún dentro de la "Pequeña Edad del Hielo", (veanse por ejemplo en Cantabria las voces de Reocín de los Molinos, Rocamundo o Villaescusa de Ebro⁴⁹) o aparecen, junto a otras especies significativas, en la toponimia castellana muy al sur de su área actual.

Pero esta menor aridez no se limitaba al norte peninsular a juzgar por los escritos de Francisco López de Ulloa según quien "*por medio de la ciudad* (de Las Palmas de Gran Canaria) *pasa un río de agua muy buena (...) todas estas güertas y jardines se riegan con esta agua*" (lo que presupone una pluviometría y probablemente una cubierta vegetal mayores que las actuales)⁵⁰, o si tenemos en cuenta las mermas o incluso pérdidas de cosechas por culpa de las lluvias estivales excesivas y las frecuentísimas referencias a inundaciones que se producen en toda la Península en cualquier época del año:

Sólo en la ciudad de Murcia está documentada la destrucción de más de 4200 viviendas y la pérdida de varios miles de vidas a lo largo del siglo XVII en una decena de grandes riadas y estas causaron daños constantes en todo el contorno Mediterráneo (con más de un millar de muertes en Málaga durante un par de acontecimientos...), en la Meseta (con ruina de 300 casas en Valladolid en 1657...), en el Valle del Ebro (destrucción del Puente de Piedra zaragozano en 1643 representada por Velázquez...) e incluso en el Cantábrico (gran riada de 1651 en el Nervión)⁵¹.

⁴⁹ Madoz, P. (1845-50). Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar. Edición facsímil por editoriales Ambito y ESTVDIO, Valladolid y Santander, 1984.

⁵⁰ Linés, A. (1990). Cambios en el sistema climático. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, pp.31.

⁵¹ Instituto Nacional de Meteorología (1995). El Tiempo 1996. Madrid, MOPTMA, Agenda s.p.

Precipitaciones importantes y fríos intensos (que vienen avalados por el congelamiento del Ebro a su paso por Tortosa, del Turia en Valencia o del Pisuerga en Valladolid) supusieron un fuerte incremento de las nevadas que adquirieron así un protagonismo sin precedentes en España. El episodio, que se inició con la aparición de un manto continuo de nieve sobre Cuenca en pleno mes de septiembre en 1550 y con una sorprendente nevada en Córdoba, se prolonga con la acumulación de un palmo de nieve en la ciudad de Alicante en 1572 y con los temporales de Valencia de 1624, para alcanzar su máxima expresión con motivo de la gran nevada de Palma de Mallorca (frente a cuya costa llegaron incluso a observarse témpanos flotantes) en 1697.

En relación con este último meteoro es interesante observar que a partir de la segunda mitad del XVI se popularizó mucho la costumbre de refrescar las bebidas utilizando la nieve almacenada en construcciones levantadas al efecto. Proliferaron así por toda nuestra geografía los "pozos de nieve", edificaciones normalmente cilíndricas, abovedadas y con una única pequeña apertura a media altura que podían alcanzar dimensiones considerables (el de Lerma podía almacenar 1000 arrobas de nieve) y que a veces, y ello indica la importancia que se le otorgaba, se encargaron a los mejores arquitectos de la época. A Juan de Herrera, por ejemplo, se atribuye un pozo de nieve situado cerca de El Escorial.

Aunque el uso de la nieve es antiguo y está perfectamente documentado en época árabe e incluso romana, su sorprendente extensión en el siglo XVI generando un gran debate sobre sus supuestas virtudes medicinales, un intenso comercio y un sinnúmero de pleitos, no hubiera sido posible de no producirse un fuerte incremento de las nevadas en todo el país. Ese incremento, imputable a la Pequeña Edad del Hielo, es el que justifica la existencia de pozos de nieve en todas nuestras comarcas mediterráneas a partir de los 500 metros en lugares en los que actualmente la innivación es insignificante por debajo de los 900 o 1000 de altitud. Por eso, ya en las primeras décadas del siglo XVIII, que fueron más secas, costaba llenar los pozos y todo este comercio acabó apagándose poco a poco a lo largo del XIX pese al mantenimiento de la demanda⁵².

⁵² Capel, H. (1971). Una actividad desaparecida de las montañas mediterráneas: el comercio de

En el Cantábrico sabemos que el clima también se caracterizó por la inestabilidad y por la frialdad de los inviernos, frialdad relativamente compensada por la probable mayor frecuencia de las situaciones de viento Sur. La frecuencia de las rogativas "pro serenitatem" en Galicia y las noticias de pérdidas de cosechas en el Cantábrico parecen demostrar que las lluvias estivales debieron ser excesivamente abundantes conociéndose además, aunque el hecho no tiene excesiva significación climática, varias inundaciones en Santander y Bilbao (las más notables de las cuales se produjeron en 1581 y en 1651).

Entre 1700 y 1730 ó 40 se produce una suavización relativa en toda Europa que tiene su reflejo inmediato en el aumento de la esperanza de vida y en el estado sanitario de las poblaciones nórdicas.

Los años en los que esto ocurre son fáciles de determinar a través de numerosos indicadores, desde nuestros pozos de nieve, que no se consigue llenar, hasta el recrudecimiento de la peste (la pulga vectora de dicha enfermedad encuentra condiciones óptimas entre los 20 y los 32°) o la presencia de un indeseable huesped en numerosas viviendas: el *Hylotrupes bajulus*, un escarabajo xilófago que parasita las coníferas, cuya dispersión requiere temperaturas superiores a los 16,5°C⁵³ y que, estrictamente durante esas tres décadas, produjo grandes daños en el maderamen de las casas londinenses para desaparecer después rápidamente hasta mediados de nuestro siglo.

En general, el principio del XVIII debió ser bastante seco en nuestras regiones. Así, entre 1723 y 1731 bastantes molinos de agua vizcainos, forzosamente inmovilizados por la falta de caudal, fueron sustituidos por molinos de viento haciendo estos entonces su aparición en los paisajes de Sondica, Izpaster, Guecho, Abadiano y otros lugares⁵⁴.

la nieve. Geocrítica, Barcelona, 42 pp.

⁵³ Ford, M. (198). The changing climate: responses of the natural fauna and flora. George Allen and Unwin, London, pp.118.

⁵⁴ Uriarte Cantolla, A. (1996). El clima. In Meaza y Ruiz Urrestarazu (dir), Geografía de Euskal Herria, Ostoa, Lasarte, pp. 39.

Esta suavización fue sin embargo de corta duración y en 1740, el año más frío de la historia en Gran Bretaña, ya se había producido la inversión de la tendencia con un nuevo recrudecimiento que habría de prolongarse durante todo el siglo siguiente. En general, de nuevo, los inviernos fueron muy fríos y nevados reapareciendo las heladas en numerosos ríos europeos⁵⁵ mientras que los veranos se mantenían cálidos y normalmente húmedos (tendencia que en ningún momento dejó de producirse en España: pocos meses después de superarse los estragos del calurosísimo verano de 1718, en el que la vendimia se adelantó veinte días en Valladolid, el Pisuerga permanecería helado durante todo un mes llegando incluso a helar los pinos de Valsain durante aquellos inviernos⁵⁶).

Sin embargo, el clima se comportó de forma bastante irregular y la distribución de los acontecimientos extremos fue muy aleatoria lo que dificulta una rápida caracterización: mientras que el verano de 1783 es el más cálido del que haya quedado constancia estadística en Inglaterra, el de 1788 fue el más frío. No obstante, destacan dos décadas por su significación histórica y por su crudeza: la novena del siglo XVIII y la segunda del XIX.

La década 1780-89, particularmente dura en Francia y en los países vecinos, experimentó una conjunción de intensas sequías, de inundaciones devastadoras y de inviernos muy fríos. Sin salir de España, en el único invierno de 1787-88, que venía precedido por años muy secos y fríos, se registraron gigantescas crecidas en los valles del Aragón y Ebro (segundo un único episodio 600 vidas en Sangüesa y 85 en Tortosa) y una gran inundación en Valladolid durante la cual el Esgueva arrastró 12 de los 14 puentes existentes y obligó a evacuar barrios enteros. Además, están documentados daños de diversa entidad en Zamora, Salamanca y las cuencas del Guadalestín, Segura y Mula. El invierno siguiente sin embargo se caracterizaría por el frío llegando el Ebro a permanecer entonces completamente helado en Tortosa durante quince días (lo que implica temperaturas del orden de -15°C prácticamente a orillas del Mediterráneo). En Francia esta secuencia obligó a sacrificar gran parte del ganado existente y

⁵⁵ Jorda,M.; Roditis,J.C. op.cit.

⁵⁶ Font Tullot,I. (1988). Historia del clima en España. Madrid, Instituto Nacional de Meteorología.

produjo una situación de escasez y de inflación que ha sido invocada muchas veces como uno de los factores coadyuvantes a la Revolución.

Tras aquellos acontecimientos, el tiempo se suavizó un tanto hasta la década de 1810 a 19, la más fría de la época contemporánea. Sufridos por las tropas napoleónicas durante su Campaña de Rusia y perfectamente descritos en los cuentos de Charles Dickens que los vivió durante su infancia, presentó una sucesión de inviernos extremadamente duros y de veranos mediocres.

En 1816, que se conoce desde entonces como el "año sin verano", llegó a nevar y heló repetidamente en Nueva Inglaterra en pleno mes de agosto perdiéndose cosechas en todo el mundo a causa de las bajas temperaturas o del exceso de lluvias.

En Europa el verano fue frío (unos 3°C en promedio inferiores a la media) y sumamente desapacible inspirando a Lord Byron, que pasaba el verano en Ginebra, uno de sus poemas más pesimistas mientras que Mary Shelley traslada a su monstruo de Frankenstein hasta los amenazantes hielos de los Alpes, nuevamente en avance; que las constantes lluvias producían el desbordamiento del Rin, el Ródano y otros ríos; el hambre generaba disturbios en Gales e Irlanda y numerosas epidemias se propagaban por todo el mundo favorecidas por la humedad y la malnutrición (fue el caso, entre otras, del tifus en Europa, o de la primera gran epidemia de cólera en Bengala).

En el Cantábrico las consecuencias no fueron tan graves aunque se perdieron casi todas las patatas, las frutas y el chacolí y, según se dice, el frío fue tan intenso que se observaron lobos hambrientos buscando comidas en los pueblos en pleno mes de julio⁵⁷. Es preciso destacar no obstante que los grandes fríos habían sido bastante recurrentes en la Cordillera Cantábrica desde el cambio de siglo y que la serie 1815-1817 no resultó tan sorpresiva a sus habitantes como a los de otras regiones europeas o mundiales.

⁵⁷ Gozalo, C. El año sin verano (inédito), citado en Lines, A. op.cit.

En la actualidad sabemos que el "año sin verano" se debió al velo de polvo que, procedente de las erupciones del Tambora y de otros volcanes, se instaló en la alta atmósfera durante varios años filtrando los rayos solares. El periodo comprendido entre 1800 y 1840, con un máximo muy marcado en 1816, es el que ha registrado la mayor cantidad de polvo volcánico en suspensión de los tiempos modernos.

Y si dicha nube de polvo tuvo las consecuencias climáticas que acaban de describirse, no son pocos los recuerdos culturales que nos han llegado de tal episodio, desde los citados cuentos de Dickens, hasta los espectaculares atardeceres y efectos ópticos que representaría Turner en sus pinturas, pasando por la adopción de una moda vestimentaria cerrada, representada en esta ocasión por John Constable, con la aparición de prendas cálidas y de la ropa interior (incluyendo los "bosom friends").

A partir de 1840 se inicia una tendencia al calentamiento que se ha mantenido hasta la actualidad. La respuesta a este calentamiento, que se inició con una sucesión de veranos cálidos y húmedos, fue sin embargo muy desigual según las regiones: en Irlanda las precipitaciones excesivas echaron a perder año tras otro las cosechas de patata originando hacia 1848 una hambruna sin precedentes en la relativamente superpoblada isla y desencadenando una éxodo masivo de personas que, en medio siglo, reduciría su población a la mitad. Mientras tanto, en la orilla opuesta del Atlántico, ocurría lo contrario y ese mismo año las Cataratas del Niágara llegaron a secarse totalmente.

Con todo, y pese a la reaparición del frío en algunas ocasiones, como en 1878-79, lo esencial del periodo es un calentamiento lento pero sostenido hasta los años 40 de nuestro siglo en todo la Tierra. Como consecuencia del mismo, los glaciares alpinos empezaron a retroceder y el permafrost a fundirse en Canadá y Siberia liberando en esta última región los célebres mamuts que habían permanecido congelados desde el Holoceno (lo que constituye la mejor prueba de la significación del calentamiento del último siglo) a la vez que la vegetación ganaba terreno en altitud y latitud. Por eso, pese a los problemas iniciales y a la repetición de acontecimientos meteorológicos violentos a final del siglo pasado (que en el caso de nuestra Península se traduce en una multiplicación de los temporales, riadas y galernas...) el cambio

resultó más bien beneficioso para el hombre que se fue acostumbrando sin excesivas dificultades a las nuevas circunstancias.

La tendencia al calentamiento sufrió una breve interrupción en el Hemisferio Norte entre 1940 y 1965 posiblemente relacionada con un reajuste de las corrientes marinas. Sin embargo, no produjo mayores problemas que algunos conflictos pesqueros entre Islandia, el Reino Unido y algunos otros países al emigrar los bancos de peces hacia aguas más clementes y que los derivados del rápido acomodo a una situación que fue muy favorable en España y que pese a ser absolutamente accidental pasó inmediatamente a considerarse como "la normal" (aquellos años fueron muy regulares y bastante lluviosos en toda la Cuenca Mediterránea).

Después de esa fecha sin embargo el calentamiento se ha ido acelerando de forma prácticamente regular hasta llegar a la situación actual. Así, la de los 80 ha sido la década más cálida de los últimos siglos y ocho de los diez años más calurosos de la centuria se han producido entre 1980 y 1995 siendo éste último año el que de momento ostenta los valores más altos. Y, lejos de detenerse, la tendencia, que ha venido acompañada de un incremento de la variabilidad climática (y por tanto, en la era de la planificación, de los problemas para el hombre) parece ser hacia un aumento aún mayor tanto de las temperaturas como de la irregularidad climática en ambos hemisferios.

El calentamiento actual afecta a la totalidad de la tierra. Estimado como media en torno a 0,6°C, es sin embargo muy desigual según la latitud y la estación del año de forma que resulta casi imperceptible en las regiones tropicales, se sitúa entre 0,3 y 0,7°C en el Mediterráneo Español⁵⁸ y alcanza sus valores máximos en invierno en las altas latitudes de nuestro Hemisferio (tal vez hasta 9°C en las Svalbard). El hecho de que, al menos durante los dos últimos decenios, este incremento de temperaturas al nivel del suelo se corresponda con un descenso equivalente al nivel de la estratosfera⁵⁹ parece además demostrar que nos encontramos

⁵⁸ Quereda, J.; Montón, E. (1994). Calentamiento significativo en el Mediterráneo Español (1870-1993). I Reunión del Grupo de Climatología de la Asociación de Geógrafos Españoles. La Rábida, 1994, pp. 347-360.

⁵⁹ Schönwiese, C.D. (1993). Globale Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft.

ante un hecho climático mayor cuya reversibilidad a muy corto plazo es totalmente incierta.

Las consecuencias del calentamiento actual, que no se han hecho esperar, son evidentes. Una de las más notables es la progresiva fusión del permafrost y la reducción del congelamiento estacional de los suelos en amplias regiones continentales y de montaña (lo que está planteando ya algunos importantes inconvenientes a sus habitantes⁶⁰).

Pero al mismo tiempo, se está produciendo una rápida reducción de la superficie y del espesor de la banquisa ártica⁶¹, reduciéndose el volumen de los hielos flotantes y haciendo posible la utilización de rutas marítimas impensables hasta hace poco tiempo. Así, mientras que el límite meridional de los hielos flotantes alcanzaba en el siglo pasado las islas Faéroe, a 62°N, su posición actual a lo largo del mismo meridiano está a unos 71°, un millar de kilómetros más al norte⁶² habiendo desaparecido prácticamente la banquisa de las costas groenlandesas y quedando la ruta hacia las Svalbard normalmente expedita durante la mayor parte del tiempo (cuando aún en los años 20 la navegación hacia dicho archipiélago no era posible más que tres meses al año y en la década siguiente durante siete).

Ello no impide la existencia de numerosas excepciones regionales en el Atlántico Norte y gran parte del Pacífico que, por razones que se desconocen, pero que deben tener relación con la ya citada reorganización de los sistemas de corrientes, parecen mostrar un enfriamiento de sus aguas (acarreando incluso algunos cambios en la ubicación de los bancos de peces y contribuyendo a generar importantes conflictos pesqueros).

No obstante, estas anomalías son bastante locales y no logran compensar la tendencia

Geographische Rundschau, 45,2, pp. 77.

⁶⁰ Demek, J. (1996). Catastrophic implications of global climatic change in the cold regions of Eurasia. *Geojournal*, 38,3, pp. 241- 250.

⁶¹ Bolle, H.J. (1993). Das System Erde. *Geographische Rundschau*, 45,2, pp. 81-87.

⁶² Habenicht, H. (1895). See-Atlas. Justus Perthes, Gotha, lám. 23.

Times Books (1986). The Times Atlas of the World. Times-London, plate 48.

generalizada al calentamiento. Una buena prueba de ello es el ascenso eustático que se está observando en estos momentos y que está contribuyendo a la rápida erosión de todas nuestras playas. Se estima que el 16,5% del litoral francés retrocede en estos momentos más de un metro por año (en algunos lugares el retroceso alcanza la veintena de metros anuales) y aunque no existen datos para nuestro litoral, la observación de los procesos actuales y la rápida degradación de nuestros arenales parece sugerir tasas comparables de erosión en el Cantábrico. Sin embargo, la subida del nivel marino, que no ha debido superar los 15 cm en un siglo, no ha hecho más que empezar y de acuerdo con las últimas observaciones del satélite Topex-Poseidón podría situarse ya en torno a los 4 mm/año⁶³ lo que no hará más que acelerar los procesos descritos durante los próximos decenios.

Al mismo tiempo, y promediando observaciones muy dispares que incluyen las tendencias contrapuestas antes citadas, parece que junto al calentamiento se está produciendo un aumento de las precipitaciones en latitudes altas y una disminución en las bajas y mediterráneas lo que, junto a la evolución de las temperaturas, favorece en general a las primeras, que registran un aumento de la productividad de sus cultivos y de sus recursos hídricos, pero, a la inversa, perjudica seriamente a las segundas donde se registran los efectos opuestos.

Estas tendencias, que podrían beneficiar a los países "del norte" (y que han sido a veces abordada con el más crudo de los cinismos por algunos analistas del mundo desarrollado⁶⁴) no aparecen muy claramente en España, situada precisamente en la zona de transición entre ambas áreas.

El análisis de los datos de nuestras mejores series estadísticas parece mostrar un incremento de las precipitaciones en toda la fachada atlántica y cantábrica de la Península desde San Fernando o Sevilla hasta La Coruña, Santander o San Sebastián-Mte Igueldo. Frente a él, las estaciones mediterráneas (Jaén, Palma de Mallorca) tienden más bien a la disminución mientras que la Meseta y el Valle del Ebro muestran datos contradictorios aunque con un

⁶³ Bourdial, I. (1996). Le littoral français à l'agonie. Science et Vie, 946, pp. 111-117.

⁶⁴ Gribbin, J. (1986). El clima futuro. Salvat, Barcelona, pp. 225-241.

aparente predominio de los aumentos. Sin embargo, fuera tal vez de las estaciones cantábricas, la significación estadística de estas tendencias es limitada⁶⁵, queda enmascarada por la extrema variabilidad de los climas mediterráneos y podría verse influida por otros factores (como el posible efecto de los microclimas urbanos en Madrid, Zaragoza o Valencia, que experimentan importantes incrementos de la precipitación).

De acuerdo con todo lo anterior, el estudio de la historia del clima ha permitido demostrar que "la normalidad", caso de existir, consiste paradójicamente en la sucesión de acontecimientos "anormales" de distinto signo y que, por la misma razón, deben atribuirse a causas dispares...

Muchas de estas causas van siendo ya bien conocidas. Es el caso de los ya comentados "ciclos de Milankovitch", de origen puramente astronómico, o los ciclos de actividad solar (llama la atención, por ejemplo, que el momento de mayor "stress" climático de la historia coincida con un mínimo de actividad solar, el "mínimo de Maunder" (1645-1715) durante el cual desaparecieron prácticamente las manchas solares -coincidiendo casi exactamente, para el anecdotario, con el reinado en Francia Luis XIV, el "Rey Sol"-).

Otras causas, como también se ha ido viendo, tienen que ver con los movimientos oceánicos y el comportamiento de los hielos polares (aunque ambos son tributarios del clima y por tanto nos encontramos ante fenómenos que se retroalimentan: el calentamiento reciente funde la banquisa, el mar, que absorbe mejor la energía solar que el hielo se calienta y ello contribuye a acelerar aún más el proceso en un mecanismo que en muy pocos años podría tener consecuencias climáticas irreversibles).

Otras más tienen que ver con la actividad volcánica y la cantidad de polvo y aerosoles en suspensión en el aire lo que, de paso, otorga un protagonismo al hombre, productor de diversas

⁶⁵ Raso,J.M. (1993). Evolución de las precipitaciones anuales en España desde 1870. Notes de Geografía Física, 22, pp. 5-24.

formas de contaminación atmosférica comparables a la que producen los volcanes⁶⁶. Cuando Virgilio afirma que al morir César "*el sol sintió piedad de Roma, por lo que cubrió su brillante faz con oscuridad y la impía generación temió una noche eterna*", lo que nos está describiendo son los efectos de la erupción que, hoy sabemos, oscureció la atmósfera el 44aC de igual manera que lo hicieron las que describió, sin saberlo, Benjamín Franklin en 1784⁶⁷, las que Turner refleja en sus pinturas o las del Pinatubo, Nevado de Ruiz, St.Helens y Chichón⁶⁸, muy recientes y de efectos climáticos perfectamente conocidos.

Dado el estado actual de nuestros conocimientos y de nuestras incertidumbres es evidente que otras muchas causas, por fin, están aún por determinar. Pero, como ha quedado demostrado en los últimos años, sólo la suma de los resultados de investigaciones sectoriales abordadas desde muy diversos ámbitos científicos puede permitir avanzar significativamente en éste campo.

Pensamos que en el momento en el que las licenciaturas de Geografía y de Historia, o de Historia y de Geografía, inician en España sus andaduras independientes, en el momento en el que la sociedad, las universidades y los organismos de investigación parecen tener cada vez mayor propensión a menospreciar y a abandonar a su suerte a las disciplinas que tienen el supuesto estigma de ser de letras, olvidar que muchos de los datos en los que se apoyan las ciencias naturales más punteras proceden de las humanidades de la misma forma que mucho de lo que se sabe en las humanidades no podría ser correctamente interpretado sin el auxilio de las ciencias naturales y de la tecnología, o, simplemente, que la sociedad no puede prescindir de las

⁶⁶ El análisis de los efectos climáticos de las actividades humanas y de las distintas formas de contaminación requiere un desarrollo mucho más amplio que el de estas páginas y se ha obviado conscientemente a lo largo de las mismas con objeto de no dispersar la atención del lector. En cualquier caso, es muy probable que el calentamiento actual se deba al hombre en una proporción que está por determinar y que, por tanto, se prolongue en las próximas décadas a un ritmo que podría ser cada vez más acelerado.

⁶⁷ Carta manuscrita de B.Franklin citada en Lamb,H.H. (1970). *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.A266, pp.425-533 y extractada en Gribbin,J. (1986) op.cit. pp. 121-122.

⁶⁸ Rampino, M.R.; Self, S. (1984). Efectos atmosféricos de El Chichón. In. *Libros de Investigación y Ciencia* (1991). *El Clima*. Prensa Científica, Barcelona, pp. 56-66

aportaciones de todos y cada uno de los ámbitos del saber, es una clase de error cuyas consecuencias tardaría muchos años en subsanarse y que de ninguna manera podemos permitirnos.

BIBLIOGRAFIA

AARIS-SØRENSEN, K. (1980). Atlantic fish, reptile and bird remains from the Mesolithic settlement at Vedbaek, north Zealand. *Videnskabelige Meddelelser*, 142, pp. 139- 149.

BACHMANN, R.C. (1981). *Glaciares de los Alpes*. RM, Barcelona, 304 pp.

BARD, E.; ARNOLD, M.; MAURICE, P.; DUPRAT, J.; MOYES, J.; DUPLESSY, J.C. (1987). Retreat velocity of the North Atlantic Polar Front during the last deglaciation determined by means of ^{14}C accelerator mass spectrometry. *Nature*, 328, pp. 791-794.

BENASSAR, Bartolomé (1983). *Valladolid en el Siglo de Oro. Una ciudad de Castilla y su entorno agrario en el siglo XVI*. Ed. Fundación Municipal de Cultura. Exmo. Ayto. de Valladolid, 586 pp.

BENHAMOU, Guy (1990). CO_2 : les chercheurs font les comptes. *Sciences & Avenir*, 517, pp. 28-31.

BLANCO, Juan Francisco, dir. (1987). *El tiempo. Meteorología y cronología populares*. Exma. Diputación de Salamanca, Archivo de Tradiciones Salmantinas 3, 151 pp.

BOLLE, Hans-Jürgen (1993). Das System Erde. *Geographische Rundschau*, 45,2, pp. 81-87.

BOURDIAL, Isabelle (1996). Le littoral français à l'agonie. *Science & Vie*, 946, pp. 111- 117.

BROECKER, W.S.; DENTON, G.H. (1990). ¿Qué mecanismo gobierna los ciclos glaciales? In: *Libros de Investigación y Ciencia* (1991). *El Clima*. Prensa Científica, Barcelona, pp. 29-37.

BROECKER, W.S. (1996). Clima caótico. *Investigación y Ciencia*, I-96, pp. 22-29.

BUDYKO, M.I.; GOLITSYN, G.S.; IZRAEL, Y.A. (1988). *Global climatic catastrophes*. Springer Verlag, Berlin, 99 pp.

CAPEL, H. (1971). Una actividad desaparecida de las montañas mediterráneas: el comercio de la nieve. *Geocrítica*, Barcelona, 42 pp.

CARPENTER, R. (1966). *Discontinuity in Greek Civilization*. Cambridge University Press, Cambridge (Mass.)

CASAS GASPAR, Enrique (1950). *Ritos agrarios. Folklore campesino español*. Escélicer, Madrid.

CHABOUD, René (1994). *Pleuvra, pleuvra pas. La météo au gré du temps*. Gallimard-Découvertes, Paris, 160 pp.

COVEY, C. (1984). Orbita terrestre y períodos glaciales. In: *Libros de Investigación y Ciencia*

(1991). El Clima, Prensa Científica, Barcelona, pp. 18-27.

CREUS, José (1991-92). Tendencia secular de la temperatura de Mayo en el Pirineo Oriental. Notes de Geografía Física, 20-21, pp. 41-49.

DANSGAARD y otros (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-Kyr ice-core record. Nature, 364, 15-VII-93, pp. 218-220.

DEMEK, J. (1996). Catastrophic implications of global climatic change in the cold regions of Eurasia. Geojournal, 38,3, pp. 241- 250.

FIERRO, Alfred (1991). Histoire de la météorologie. Denoël, Paris, 315 pp.

FLOHN, Hermann; FANTECHI, Roberto (1984). The climate of Europe: Past, Present and Future. Reidel, Dordrecht-Boston-Lancaster-Tokyo, 356 pp.

FONT TULLOT, Inocencio (1988). Historia del clima en España. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

FORD, Michael (1982). The changing climate: responses of the natural fauna and flora. George Allen and Unwin, London, 190 pp.

GRIBBIN, John (1986). El clima futuro. Salvat, Biblioteca Científica 58, Barcelona, 241 pp.

GRIBBIN, John (1990). Weather force. Bison Books, London, 192 pp.

GROVE, Jean M. (1988). The Little Ice Age. Routledge, London-New York, 498 pp.

GUILLEMOT, H. (1993). Climat: l'instabilité est la règle. Science & Vie, 913, pp. 34-39.

HABENICHT, Hermann (1895). See-Atlas. Justus Perthes, Gotha, s.p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (1995). Agenda El Tiempo 1996. Instituto Nacional de Meteorología, s.p.

JONES, P.D. (1990). Le climat des mille dernières années. La Recherche 219, pp. 304-312.

JORDA, M.; RODITIS, J.C. (1993). Les épisodes de gel du Rhône depuis l'an mil. Periodisation, fréquence, interprétation paléoclimatique. Méditerranée, 3.4, pp. 19-30.

KASTING, James F.; OWEN, B.Toon; POLLACK, James B. (1988). Evolución del clima en los planetas terrestres. In: Libros de Investigación y Ciencia (1991). El Clima. Prensa Científica, Barcelona, pp. 10-17.

KINGTON, J.A. (1988). Daily Weather Mapping for the 1780s, Cambridge University Press, Cambridge (Mass.).

LAMB, H.H. (1979). *Climate: Present, Past and Future*, Methuen, London & New York, 2 vols. 613 y 835 pp.

LAMB, H.H. (1982). *Climate history and the modern world*. Methuen, London & New York, 387 pp.

LAMB, H.H.; DOUGLAS, K.; LOADER, C. (1978). *A meteorological study of July to October 1588: The Spanish Armada Storms*. University of East Anglia, Norwich.

LE ROY-LADURIE, E. (1983). *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion, Paris, 2 vols, 287 y 254 pp. (2ª edic.)

LETONNELIER, G. (1913). Documents relatifs aux variations des glaciers dans les Alpes françaises. Comité des Travaux historiques et scientifiques, Bulletin de la section de géographie, 28.

LINES ESCARDO, Alberto (1984). Las condiciones meteorológicas durante la navegación de la Gran Armada de Lisboa a Coruña. *revista de Historia Naval*, Madrid.

LINES ESCARDO, Alberto (1990). Cambios en el sistema climático. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid, 125 pp.

MESSADIE, G., dir. (1993). Toute l'histoire du climat terrestre est à revoir. *Science & Vie*, 907, pp. 23.

MINORU OZIMA (1987). *Geohistory. Global evolution of the earth*. Springer Verlag, Berlin, 165 pp.

PFISTER, C. (1989). Fluctuaciones climáticas y cambio histórico. El clima en Europa Central desde el siglo XVI y su significado para el desarrollo de la población y la agricultura. *Geocrítica* 82, 41 pp.

PINNA, Mario (1984). La Storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clim-uomo in età postglaciale. *Memorie della Società Geografica Italiana*, XXXVI, 261 pp.

PIRAZZOLI, P.A. (1991). *World Atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier, 300 pp.

QUEREDA, J.; MONTON, E. (1994). Calentamiento significativo en el Mediterráneo Español (1870-1993). I Reunión del Grupo de Climatología de la Asociación de Geógrafos Españoles. La Rábida, 1994, pp. 347- 360.

RAMPINO, Michael R.; SELF, Stephen (1984). Efectos atmosféricos de El Chichón. In. *Libros de Investigación y Ciencia* (1991). El Clima. Prensa Científica, Barcelona, pp. 56-66

RASO NADAL, Jose María (1993). Evolución de las precipitaciones anuales en España desde 1870. *Notes de Geografía Física*, 22, pp. 5-24.

SAFRONOV,V. (1969). Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the earth and planets. NASA, TTF-677, US Dept. of Commerce.

SCHÖNWIESE, Christian-D. (1993). Globale Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft. Geographische Rundschau, 45,2, pp. 74-80.

URIARTE CANTOLLA, Anton (1996). El clima. In Meaza,G.; Ruiz Urrestarazu,E., dir. Geografía de Euskal Herria. Ostoa, Lasarte, vol 3 pp. 6-83.

VIERIS, Georges (1981). Climatología. Oikos-Tau, Elementos de Geografía, Vilassar de Mar, 309 pp.

WANG SHAO-WU; ZHAO ZONG-CI (1981). Climate and History. Cambridge University Press, Cambridge (Mass.)