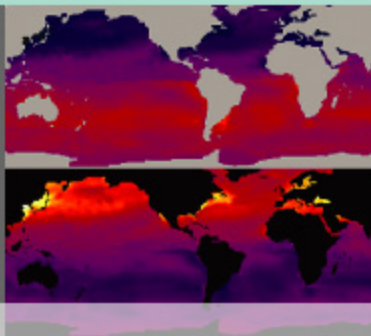


Cambio climático
y pesquerías regionales
en el futuro:
análisis en colaboración



Fotografías:

Arriba: Diferencias entre la temperatura de la superficie del mar en verano e invierno en el hemisferio sur.

Abajo: Diferencias entre la temperatura de la superficie del mar en verano e invierno en el hemisferio norte.

Cambio climático y pesquerías regionales en el futuro: análisis en colaboración

FAO
DOCUMENTO
TÉCNICO
DE PESCA
452

por

Gary D. Sharp

Centro para el Estudio del Clima y los Recursos Oceánicos

Monterey, CA

Estados Unidos de América

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA
Y LA ALIMENTACIÓN**

Roma, 2004

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 92-5-305016-0

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse al
Jefe del Servicio de Gestión de las Publicaciones de la Dirección
de Información de la FAO
Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia
o por correo electrónico a:
copyright@fao.org

© FAO 2004

PREPARACIÓN DEL PRESENTE DOCUMENTO

El presente documento ha sido preparado como parte de las actividades del Programa Ordinario realizadas por el Servicio de Recursos Marinos de la Dirección de Recursos Pesqueros de la FAO, que tienen por objeto estudiar y vigilar los efectos a largo plazo de la variabilidad ambiental y del cambio climático en las pesquerías marinas. Además de examinar y resumir los trabajos más recientes sobre cambio climático y pesca, este documento ofrece, en el Anexo I, una lista de publicaciones recomendadas que, si bien no se citan en el propio texto, se consideran lecturas útiles sobre la materia. También se incluye en el Anexo II un glosario de los términos más utilizados en esta esfera.

Varias personas han contribuido a la preparación del presente documento y el autor desea expresar su especial gratitud a quienes han colaborado más directamente en la elaboración de este estudio, en particular los Sres. Leonid Klyashtorin y A. Nikolaev, Ciencias Pesqueras, VNIROV, Moscú, Federación de Rusia; James Goodridge, Climatólogo del Estado de California (jubilado), Chico, CA, Estados Unidos de América, y Joseph Fletcher, Director (jubilado), Administración Oceánica y Atmosférica Nacional, Oficina de Investigaciones Oceánicas y Atmosféricas (NOAA, OAR), Sequim, WA, Estados Unidos de América.

Distribución:

Todos los Miembros y Miembros Asociados de la FAO
Departamento de Pesca de la FAO
Oficiales de Pesca de las Oficinas Regionales de la FAO
Instituciones no gubernamentales
Lista de direcciones relacionadas con la pesca marina del Departamento de Pesca (FI)

Sharp, G.D.

Cambio climático y pesquerías regionales en el futuro: análisis en colaboración.

FAO Documento Técnico de Pesca. No. 452. Roma, FAO. 2004. 84p.

RESUMEN

En primer lugar, se examinan cuestiones relativas a la confrontación entre cambio mundial y calentamiento mundial. Mediante gráficos de la historia de las variaciones del clima de la Tierra en los últimos millones de años, basados en investigaciones paleoclimáticas, se presenta la Tierra desde una perspectiva más amplia como un planeta cálido y húmedo que experimenta frecuentes períodos de enfriamiento. Se describe el ciclo hidrológico y se pone de relieve su importancia para la pesca. La dinámica climática ha tenido graves consecuencias en la evolución de las especies, en la sociedad y en la variabilidad de las pesquerías. Se describen las variaciones de la producción y las modificaciones de la vulnerabilidad debidas a la dinámica constante de los movimientos oceánicos. Se interpretan los datos correspondientes a algunas pesquerías importantes, tal como los entendemos después de un siglo de investigaciones y análisis profundos de diversa información indirecta, en particular bioindicadores. Se estudia la historia del clima en su relación con la pesca y se describen las diferentes escalas espaciales y temporales que se evidencian en las respuestas de las pesquerías, tratando de establecer una diferencia entre las condiciones meteorológicas y el clima y otros acontecimientos. Se analizan las respuestas ecológicas regionales al cambio climático y se ofrecen ejemplos relativos a los principales ecosistemas oceánicos, definidos por sus propiedades térmicas estacionales. Se examinan la sincronía y las transiciones sistemáticas. Se describen diversos métodos de pronóstico y se combinan sus conclusiones, en caso de que sean similares, con el fin de obtener previsiones realistas para los próximos decenios y períodos posteriores. Se exponen los probables efectos, clasificados por tipos de pesquerías, y se indican las medidas para afrontarlos, cuando se conocen, subrayando la función que desempeña el hombre en la protección de los hábitat y el mantenimiento de las opciones.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CUESTIONES RELATIVAS A LA DISYUNTIVA ENTRE CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL Y CALENTAMIENTO MUNDIAL.....	2
1.1 Panorama general.....	4
1.2 Las estaciones como base para comprender la variabilidad de la Tierra.....	7
1.3 Ciclo hidrológico y zonas climáticas.....	9
1.4 Observaciones paleológicas y cambios climáticos.....	13
1.5 Problemas locales.....	18
2. RELACIONES ENTRE CLIMA Y PESQUERÍAS EN EL PASADO, EL EL PRESENTE Y EL FUTURO.....	20
2.1 Respuestas de los ecosistemas al forzamiento climático a diversas escalas.....	22
2.2 Patrones climáticos frente a patrones de las condiciones meteorológicas.....	25
2.3 Respuestas de las sociedades y las pesquerías a los cambios climáticos en el curso de la historia.....	26
3. RESPUESTAS ECOLÓGICAS REGIONALES AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	36
3.1 Cambios de productividad a largo plazo.....	36
3.2 Comportamiento de determinados ecosistemas oceánicos.....	38
3.3 Simultaneidad frente a transiciones sistemáticas.....	46
3.4 Pronósticos: enseñanzas del pasado para el futuro.....	49
4. ALGUNAS PREVISIONES.....	55
5. CONCLUSIONES.....	58
REFERENCIAS.....	62
ANEXO I – OTRAS LECTURAS RECOMENDADAS.....	73
ANEXO II – GLOSARIO.....	81

INTRODUCCIÓN

La presente publicación pretende explicar diversos procesos físicos, de orden climático y ecológico, que ejercen influencias mutuas y contribuyen de modo decisivo a mantener los sistemas de apoyo ecológico de la Tierra, en particular los relacionados con los peces y las pesquerías. Los estudios de sistemas complejos requieren siempre unos planes adecuados de seguimiento, aplicados durante períodos lo suficientemente largos para que se pueda captar íntegramente su dinámica. Por ejemplo, se han realizado pocas observaciones durante períodos prolongados para disponer de series cronológicas que abarquen más de uno o dos ciclos completos de ascenso y descenso de las pesquerías en cuestión. Y aún son menos los casos en que se han realizado además observaciones del sistema o los sistemas de forzamiento que los afectan directa o indirectamente. Este último problema determina los límites de nuestra capacidad para pronosticar cambios ecológicos. Rara vez disponemos de todos los datos necesarios para evitar «sorpresas», sencillamente porque nuestros sistemas de observación son demasiado nuevos, nuestras series cronológicas demasiado breves y nuestras mediciones demasiado locales, a pesar de la reciente aparición de los satélites de observación.

La dinámica física de la Tierra que ha sido objeto de mayor número de mediciones es el viento de superficie. Esas mediciones se refieren habitualmente a los gradientes térmicos, tanto regionales como generales. Los patrones estacionales regionales suelen ser bastante similares a escalas climatológicas decenales y más largas. Las perturbaciones más breves del clima previsto están asociadas con la dinámica atmosférica a escala de El Niño/Oscilación Austral (ENSO) o con la actividad volcánica. Los volcanes lanzan a las capas superiores de la atmósfera gases y partículas que forman nubes duraderas y reflectoras bajo las cuales se produce por lo general un enfriamiento. Tanto los volcanes como los episodios del ENSO imprimen un carácter singular a las condiciones meteorológicas estacionales. Es lo que se define como cambio climático.

Todos los procesos que aquí se reseñan comenzaron mucho antes de que existiera el hombre, y probablemente persistirán mucho después de que éste haya desaparecido. Los procesos de los ecosistemas se regulan en parte por sí mismos. También influyen notablemente en ellos los procesos de forzamiento físico que inducen la atmósfera y los océanos de la Tierra, y por consiguiente la mayoría de las actividades humanas.

Si se quiere sustentar a la humanidad en esas condiciones en constante cambio, es imprescindible proporcionarle suficientes proteínas. Los océanos, los grandes lagos y los cursos de agua suministran la mayor parte de las proteínas destinadas al consumo humano. De ahí que nos centremos en los vaivenes de los ecosistemas acuáticos y las pesquerías dentro del contexto más amplio de la dinámica de sistemas de la Tierra. Para ilustrar los aspectos principales, se utilizarán análisis de diversas actividades pesqueras regionales en los que se tendrá en cuenta la creciente influencia de las actividades pesqueras y no pesqueras en el suministro de proteínas con fines alimentarios a medida que la población aumenta y modifica los cursos de agua y las riberas. Los conceptos básicos relativos a los principales factores naturales que fuerzan los ecosistemas acuáticos se «combinan» dentro de un conjunto más amplio. Algunos de los conceptos e ideas se atribuyen por lo general a sus autores, aunque se siguen manteniendo las relaciones causa-efecto necesarias para comprender las interdependencias.

Presentaremos: 1) la variación climática de la Tierra en los últimos millones de años, basándonos en investigaciones paleoclimáticas; 2) la variabilidad de las pesquerías, tal como la entendemos después de un siglo de investigaciones y análisis profundos de diversos datos

indirectos, en particular bioindicadores; 3) los principios fundamentales de la información sobre la irradiancia solar procedente de generaciones de satélites, seguida de la estimación de las variaciones solares en los últimos siglos llevada a cabo por Hoyt y Schatten; 4) los pronósticos climáticos de Doug Hoyt, Werner Mende y otros, reunidos por el Dr. Joseph Fletcher en una reciente serie de conferencias sobre el clima en el siglo XXI. Los pronósticos para los futuros decenios o siglos han sido confirmados por el reciente estudio de Klyashtorin y Nikolaev sobre las previsiones relativas a los regímenes pesqueros, basado en el seguimiento de la velocidad de rotación de la Tierra (-LOD); y, por último, 5) un breve examen de las respuestas de las pesquerías regionales al probable cambio climático, tal como se deduce del trabajo anteriormente descrito. Estos elementos se interpretarán para cada región mediante una combinación de todos esos estudios, valiéndose del concepto de sistema climático de Marcel Leroux (1998) y de la tendencia del autor principal a la integración, y describiendo las conexiones puestas de manifiesto en los recientes intentos de explicar las variaciones ecológicas decenales o seculares que han dado lugar a variaciones en las pesquerías. Mediante esas descripciones se presentarán a los lectores importantes resultados de las nuevas disciplinas científicas ambientales y geofísicas.

El mensaje principal que se quiere transmitir aquí es que nos enfrentamos con un cambio constante. El amplio panorama que se desprende de estas colaboraciones está destinado a ayudar a científicos y profanos en la materia a reorientar sus objetivos en el marco de nuestro sistema solar y de la Gran Fuga de la Tierra en la que los seres humanos tocamos muchos instrumentos, pero desgraciadamente no manejamos la batuta del director.

1. CUESTIONES RELATIVAS A LA DISYUNTIVA ENTRE CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL Y CALENTAMIENTO MUNDIAL

El clima es el resultado de intercambio de calor y masa entre la tierra, el océano, la atmósfera, las regiones polares (casquetes glaciares) y el espacio. Barnett, Pierce y Schnur (2001) señalan que «los océanos son un componente importante del sistema climático mundial; dado que cubren cerca del 72 por ciento de la superficie del planeta, poseen una inercia térmica y una capacidad calorífica que contribuyen a mantener y mejorar la variabilidad climática. Si bien se han realizado estudios de detección y atribución en los que se ha utilizado la temperatura de la superficie de los océanos, al parecer no se ha intentado nunca utilizar los cambios de temperatura en las profundidades. Un reciente estudio observacional (Levitus *et al.* 2000) ha demostrado que el contenido calorífico de las capas superiores del océano ha aumentado en los últimos 45 años en todos los océanos del mundo, aunque la velocidad del calentamiento varía considerablemente entre las diferentes cuencas oceánicas.» Barnett, Pierce y Schnur (2001) señalan también que «... no puede ser correcto un modelo climático que reproduce el cambio observado en la temperatura del aire a escala mundial en los últimos 50 años, pero no reproduce cuantitativamente el cambio observado en el contenido calorífico de los océanos», con lo que refuerzan los argumentos en contra de los informes recientes y más antiguos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 1990, 1996 e IPCC 2001) y de los modelos hipotéticos sobre el clima futuro que optan por subrayar el forzamiento antropógeno de los gases de invernadero para explicar el calentamiento de la superficie de la Tierra en los últimos 150 años.

Los investigadores alemanes Zorita y Gonzalez-Rouco (2000) realizaron comparaciones de la oscilación ártica (AO) mediante dos modelos climáticos mundiales (MCM) complejos y avanzados. Esa oscilación es importante porque está estrechamente relacionada con el clima invernal en el hemisferio norte y con algunas de las pesquerías más productivas del mundo. Por

ejemplo, cuando la AO es intensa, Eurasia tiene inviernos más suaves de lo normal y las pesquerías de especies pelágicas del África occidental prosperan. Seguidamente compararon los pronósticos relativos a la AO utilizando dos modelos: el MCM del Centro Hadley y el modelo del Instituto de Meteorología Max-Planck. En primer lugar, ambos modelos coinciden en su reproducción de los patrones de circulación media invernal en el hemisferio norte y su variabilidad. Pero cuando se incrementan los niveles de los gases de invernadero, los modelos predicen tendencias diferentes de la AO que influirán también en el cambio regional simulado de la temperatura del aire. Una tendencia negativa de la AO reducirá los aumentos (previstos) de la temperatura en Eurasia y las zonas sudorientales de los Estados Unidos y reforzará los aumentos de la temperatura en Groenlandia y el Canadá occidental; unas tendencias positivas darán lugar a resultados opuestos. Los autores concluyen que «las predicciones de la intensidad de los principales patrones de circulación atmosférica, incluso a escala planetaria, no son todavía fiables o dependen considerablemente de la variabilidad interna del modelo.»

Del mismo modo, Giorgi y Francisco (2000) reunieron los resultados de cinco MCM correspondientes a 23 regiones terrestres de todo el mundo y compararon las predicciones sobre temperaturas y precipitaciones para los años 2070–2099 con el período de referencia de 1961–1990. En primer lugar, determinaron la exactitud con la que cada modelo reproducía el clima del período de referencia de 1961–1990. Esta comparación es muy importante, porque si los modelos no reproducen el clima actual, lo que indiquen para el futuro carecerá de valor. Observaron que algunos modelos se acercaban mucho a las observaciones de referencia (ausencia de error) en algunas regiones, pero los puntos de los datos estaban muy dispersos en torno a la media. En algunos casos, los errores de temperatura eran superiores a 5 °C. Algunos errores con respecto a las precipitaciones llegaban al 200 por ciento, pero la mayoría de ellos eran en general inferiores al 100 por ciento, al menos de junio a agosto. No había un modelo que funcionara mucho mejor que los demás en todas las regiones. Teniendo en cuenta su incapacidad para establecer las condiciones actuales, no vale la pena considerar las proyecciones de los modelos para el futuro. En la actualidad, los MCM proporcionan poca información sobre la circulación general o las respuestas oceánicas en el futuro.

El presente documento no pretende ser una nueva y superflua refutación de las hipótesis del IPCC sobre el calentamiento mundial, sino contribuir a que otras personas reconozcan el forzamiento climático en gran escala del que han quedado datos en los sistemas naturales. Esos datos proceden de sedimentos laminados, testigos de hielo y varias otras fuentes, como anillos de crecimiento de árboles y corales, situados en diversos medios de todo el mundo. Por ejemplo, en el mismo volumen en que se publicó el artículo de Barnett, Pierce y Schnur (2001) antes citado, Zachos *et al.* (2001) demostraron que las varianzas del clima y de la química del carbono oceánico estaban concentradas en todas las frecuencias de Milankovitch (véase el Glosario), debido a diversas fuerzas del sistema solar que modifican las órbitas anuales de la Tierra alrededor del sol, porque las fuerzas gravitacionales dominantes de éste arrastran a nuestro sistema solar en su trayectoria a través del espacio.

Zachos *et al.* (2001) realizaron análisis espectrales en dos testigos tomados del fondo del mar con una cronología interrumpida de 5,5 millones de años, desde finales del Oligoceno hasta comienzos del Mioceno. Esos testigos, que procedían del Atlántico occidental ecuatorial, revelaron una potencia espectral relacionada con el clima registrada en una banda de excentricidad de 406 000 años, dentro de un período de 3,4 millones de años (de 20 a 23,4 millones de años atrás), así como en bandas de 125– y 95–1 000 años, dentro de un período de 1,3 millones de años (de 21,7 a 23 millones de años atrás). Además, una importante glaciación transitoria en la época límite (~23 millones de años), Mi-1, se corresponde con una

rara congruencia en cuanto a la oblicuidad y excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del sol. La anomalía, que consiste en una varianza de baja amplitud de la oblicuidad (nodo) y un mínimo de excentricidad, dio lugar a un extenso período (~200 000 años) de órbitas de baja estacionalidad que favorecieron la expansión del casquete glaciar en la Antártida.

¿Por qué habrían de ser pertinentes para nuestros pronósticos esos datos y procesos antiguos? Cuando avanzamos en el tiempo y el espacio, lo primero que hemos de recordar es que *el cambio es la norma*. Teniendo en cuenta la jerarquía del forzamiento externo, la transferencia de energía e impulso entre esas fuerzas externas y la atmósfera de la tierra, los océanos y las estructuras internas, la estabilidad es poco probable casi a cualquier escala. Y, lo que es más importante, si ha habido ya un patrón de cambio relacionado con el comportamiento de la Tierra dentro del sistema solar, es probable que vuelva a repetirse. Lo que nos enseñan esos estudios paleoclimáticos es que los patrones climáticos son repetitivos, y por consiguiente facilitan el pronóstico de los procesos regionales y sus consecuencias por analogía histórica. Este concepto es la base de lo que viene a continuación y explica por qué se ofrecen amplias descripciones de los estudios pertinentes.

1.1 Panorama general

En primer lugar, hemos de aceptar que la tierra es un planeta cálido y húmedo que ha sufrido una compleja serie de cambios a partir de los cuales se inició y evolucionó la vida, a lo largo de una secuencia de condiciones muy diferentes. Estas condiciones propiciaron a su vez cambios tan extraordinarios que posteriormente desaparecieron muchas de las especies resultantes. La primera de esas crisis ambientales de grandes proporciones ocurrió millones de años después de que la bacteria inicial fijadora del azufre llegara a ser la forma de vida dominante. Con el tiempo evolucionaron formas de vida fotosintéticas fijadoras del dióxido de carbono que empezaron a expulsar oxígeno como resultado de su metabolismo en períodos nocturnos o de oscuridad, creando una atmósfera rica en oxígeno que no sólo era tóxica, sino además «venenosa» para innumerables especies susceptibles. Actualmente sobreviven muchos organismos anaerobios sensibles al oxígeno que siguen desempeñando importantes funciones en los ecosistemas de la Tierra, inclusive en nuestra flora intestinal y en la de otros animales, donde esas bacterias simbióticas convierten una variedad de formas químicas de carbohidratos como la celulosa y los azúcares complejos en diversos compuestos solubles de los que nos sustentamos. El metano, el CO₂ y el agua son el resultado de la labor metabólica realizada por nosotros y nuestros simbioses.

La fijación del nitrógeno fue el siguiente paso hacia una ecología productiva e interactiva porque es el proceso que proporciona los elementos constitutivos de las proteínas. Al ser los niveles de nitrógeno en la atmósfera de la Tierra altos por naturaleza, el dióxido de carbono resulta ser el factor limitante de la producción ecológica y, como tal, todo aumento de CO₂ redundará en un incremento de la producción vegetal y «reverdece» nuestro mundo, al producir a la vez más alimentos carbohidratados y más oxígeno. El aumento de CO₂ no es un problema importante, a pesar de la retórica de los medios de comunicación (véase Idso 1982). Muchas especies oceánicas que viven en colonias, como los cocolitóforos, incorporan CO₂ en la estructura de su caparazón y con el tiempo, a medida que se hunden en el fondo marino, pueden acumularse hasta adquirir características geomorfológicas notables, como por ejemplo los acantilados blancos de Dover. El carbono de origen vegetal y animal puede almacenarse también en forma de yacimientos de carbón o de campos petrolíferos, siempre que se den las condiciones adecuadas de tiempo y clima. Tampoco es el dióxido de carbono el único elemento químico limitante de la productividad biológica. Martin, Gordon y Fitzwater (1991) señalaron

que el hierro puede limitar la producción primaria y secundaria en los océanos. El hierro está disponible en las capas oceánicas superiores debido a los vientos terrales, a los fenómenos volcánicos o a alteraciones de los sedimentos que hacen que vuelva a la superficie como consecuencia de fuertes turbulencias.

Otra cosa que hemos de entender es que el balance térmico de la Tierra está regulado por dos procesos distintos. Mientras que en los polos se registra una pérdida continua de calor, en las regiones ecuatoriales, y en particular en los océanos, se observa una absorción casi continua de calor, en ambos casos moduladas por la dinámica de la nubosidad. La dinámica de la energía resultante en todo el planeta se manifiesta mediante la interacción de la humedad atmosférica (es decir, las nubes y tipos de nubes y las diversas formas de precipitación), el calentamiento y enfrentamiento al nivel del suelo y el movimiento oceánico. Todos estos factores interactúan con diferentes porciones de entrada y salida de espectros electromagnéticos. Gracias a las últimas generaciones de satélites en órbita tenemos ahora una visión más completa de la dinámica térmica de la Tierra. Tampoco debemos olvidar que los últimos metros de la capa superior del océano contienen más energía térmica que toda la atmósfera. Además, la mayor parte de la energía atmosférica se localiza a unos pocos miles de metros de la superficie de la Tierra. De hecho, cabe concebir la Tierra como una bola caliente, cubierta por capas finas y poco nítidas de un fluido caliente, con dos polos fríos. Todos los flujos de calor y energía siguen las rigurosas leyes físicas de la termodinámica, que los seres vivos no pueden alterar

La historia ofrece pruebas evidentes de que un mundo cálido y húmedo es óptimo para el hombre. Las sociedades se distinguen por su capacidad de afrontar o no los cambios sufridos por el sistema terrestre en los últimos tres ó cuatro millones de años. Hemos reorientado continuamente nuestra dependencia para sobrevivir. No hay garantías de que podamos seguir manteniendo nuestro patrón actual de crecimiento, especialmente si modificamos los hábitat y otras bases de recursos que nos han ofrecido opciones en el pasado. Con demasiada frecuencia hacemos caso omiso de nuestra obligación de administrar nuestro crecimiento y nuestras interacciones competitivas, aunque algunos atribuyen erróneamente las desgracias a otras causas. La negativa a reconocer sus culpas es uno de los rasgos más negativos de la humanidad.

Las Figuras 1a a 1c muestran que durante la mayor parte del tiempo la tierra ha sido un planeta cálido y húmedo que nos ha proporcionado la variedad de hábitat y especies necesarias para sustentar el desarrollo humano. Otro hecho importante es que todas las especies existentes han evolucionado y se han adaptado en el marco de esa misma dinámica climática. Las especies más móviles y adaptables son las que tienen más probabilidades de sobrevivir a cualquier dinámica climática del futuro, mientras que las especies adaptadas al medio local, con menos capacidad para desplazarse de un lugar a otro cuando las nuevas condiciones climáticas alteran su hábitat, son las que tienen más probabilidades de desaparecer, es decir, de extinguirse.

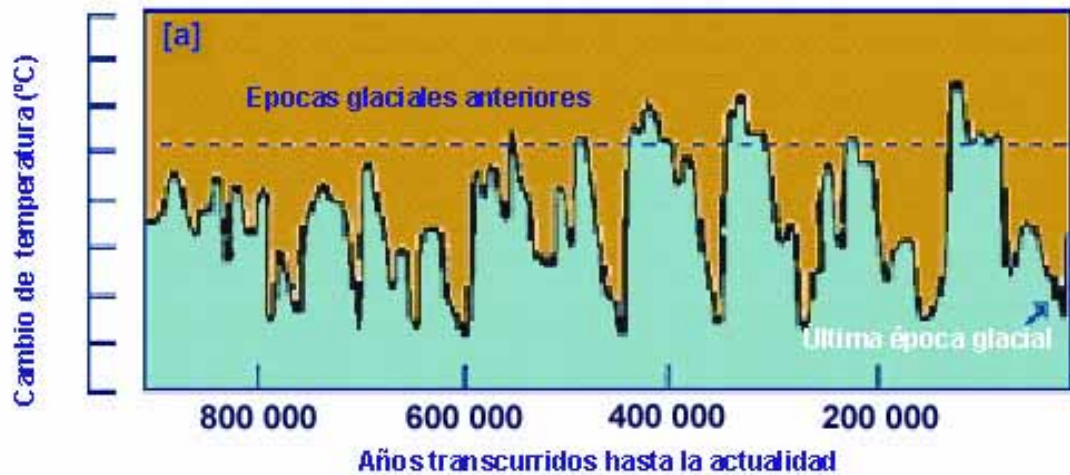


Figura 1a Aquí se representan los cambios ocurridos en la superficie de la Tierra durante 900 000 años, según la interpretación realizada por muchos paleoclimatólogos a partir de diversos datos indirectos procedentes de estratos de rocas sedimentarias, sedimentos laminados del fondo marino, determinados testigos de hielo de alta y baja latitud y, más recientemente, anillos de crecimiento de árboles y otras capas finas clasificadas con arreglo a una secuencia temporal. En más de diez ocasiones se han registrado descensos de la temperatura que han dado lugar a una expansión de los glaciares; el calentamiento interglacial más reciente se produjo hace sólo 18 000 años. Esto parece indicar que muchas especies han colonizado de nuevo las latitudes más altas (>45 grados norte o sur) desde que se redujo la capa de hielo.

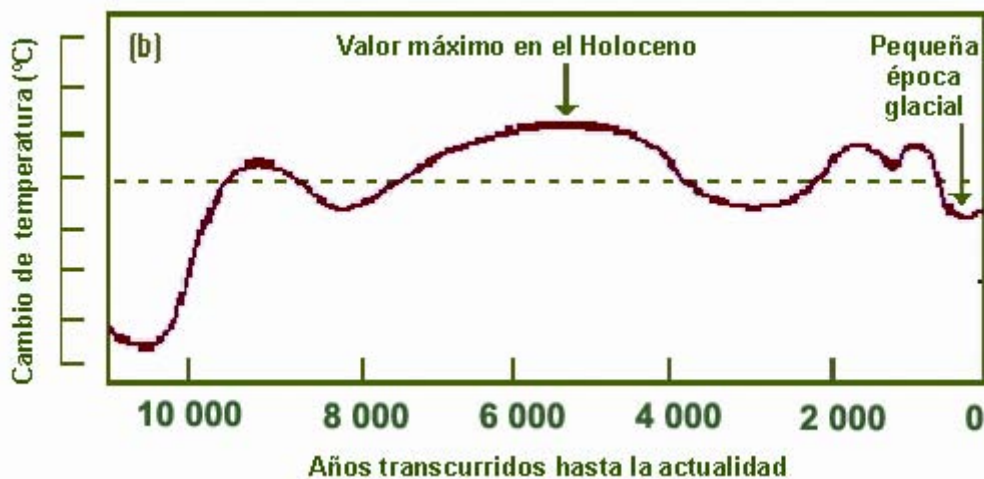


Figura 1b Aquí se muestra el patrón de las temperaturas mundiales en los últimos 11 000 años, con una línea de referencia que indica la temperatura media para facilitar la visualización de este período (que comenzaría en el extremo inferior derecho de la Figura 1a). Los extensos períodos de clima relativamente cálido proporcionaron un entorno adecuado para el desarrollo de la mayoría de las civilizaciones y también para la expansión hacia latitudes más altas.

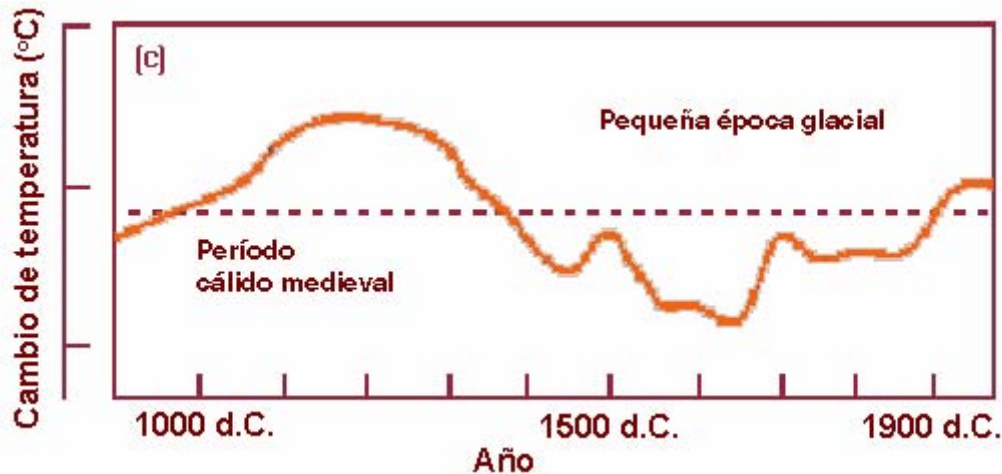


Figura 1c Aquí se muestran las temperaturas mundiales registradas desde el año 900 d.C., y se ofrece también una línea de referencia que indica la temperatura media. Este gráfico comienza más o menos en el punto intermedio de la doble protuberancia que aparece a la derecha de la Figura 1b. Obsérvese que la escala temporal es el calendario moderno.

1.2 Las estaciones como base para comprender la variabilidad de la Tierra

Es importante aceptar que la tierra es un planeta cálido y húmedo que sufre excursiones en períodos más fríos en los que hay una mayor formación de hielo. Las oscilaciones estacionales de los niveles de luz solar y de energía son extremos en los polos, mientras que se mantienen relativamente constantes en torno al ecuador. La variabilidad estacional más baja y la cantidad relativamente grande de luz y calor que absorbe el océano en torno al ecuador da lugar en esta zona a un calentamiento general. Los datos históricos indirectos de la paleoclimatología muestran que el océano ecuatorial no sufrió cambios espectaculares de temperatura durante las épocas glaciales. Por el contrario, los océanos polares crecieron enormemente, por lo que los gradientes térmicos norte-sur se hicieron también más acusados, con el consiguiente estrechamiento de las zonas climáticas.

El ciclo anual de las condiciones meteorológicas estacionales por el que pasamos es la base de los principales patrones ecológicos y de la diversidad de las especies de la Tierra, que en ambos casos son consecuencia de los continuos cambios en los contextos físicos de ésta. El cambio continuo es de primordial importancia en el marco contextual de la Tierra en el que ha evolucionado la vida tal como la conocemos. Prácticamente todas las especies están adaptadas al cambio, porque de lo contrario no tendrían ninguna probabilidad de sobrevivir más allá de unas pocas generaciones. La forma casi esférica de la Tierra y la relación directa entre la luz/energía incidente y el calor disponible, unidas a la lenta variación del eje central de rotación de la Tierra, intensifican las diferencias regionales en la irradiación solar. El desequilibrio es el resultado de que la luz solar incidente crezca o mengüe a medida que la Tierra da vueltas alrededor del sol, girando en torno a su eje algo inclinado y alejado 28° del centro. La estacionalidad es por consiguiente el resultado de la inclinación del eje de la Tierra. Si no hubiera esa inclinación, la Tierra no tendría estaciones.

El albedo, es decir, las propiedades de reflexión y absorción de la atmósfera, las masas de agua y las diversas superficies de la cubierta vegetal de la Tierra afectan a la absorción de la energía procedente de la irradiancia solar y la rerradiación de energía infrarroja. La nubosidad y el tipo de nubes, la capa de hielo, los tipos de vegetación y su fase de desarrollo, así como el agua en estado líquido y de vapor, influyen considerablemente en el albedo. Todos estos elementos tienen una distribución estacional dinámica.

Un buen ejemplo de nuestros conocimientos relativamente recientes procede de la comunidad de científicos que estudian el sol, cuyas observaciones durante siglos han demostrado que el número de manchas de la superficie solar sigue un patrón de crecimiento y disminución que dura un período de unos 11 a 13 años. Se «suponía» que la aparición de un gran número de manchas solares quería decir que el sol era menos activo. Además, hasta que se lanzaron satélites para medir la producción solar más allá de la atmósfera de la Tierra, los científicos solían aceptar el concepto de «constante solar». Sólo hace poco se ha reconocido que hay cambios notables en las emisiones solares, relacionados con el ciclo de manchas solares, y que más manchas solares significan más emisión de energía solar, es decir todo lo contrario del «supuesto general» anteriormente aceptado. Por otra parte, se trata en realidad de dos episodios cíclicos, pues al primero se ha añadido la inversión de la polaridad magnética del Sol en cada ciclo solar, que da lugar a un patrón de doble pico con un período de unos 22 años.

Aunque en la actualidad es evidente que la irradiancia solar no es «constante», las mediciones mediante satélite realizadas desde 1979 indican que hasta ahora, teniendo en cuenta la breve serie cronológica disponible, la variación sigue siendo relativamente pequeña (~2 vatios por metro cuadrado – Figuras 2a y 2b). A pesar de esta variación relativamente pequeña, en muchos estudios se muestran patrones de cambio climático que parecen indicar la existencia de ciclos solares dobles de ~22 años (2 x 11–13) de irradiación e inversión del campo magnético solar (Friis-Christensen y Lassen 1991). Estos ciclos se observan a menudo en los patrones hidrológicos regionales (véase Perry 1994; 1995; 2000).

He aquí un resumen de los hechos principales: 1) hay una pérdida continua de calor en los polos y, simultáneamente, 2) una absorción casi continua de calor en los océanos ecuatoriales. La dinámica de la energía resultante en todo el planeta se manifiesta en la interacción de la humedad atmosférica (es decir, nubosidad, tipos de nubes y diversas formas de precipitación); calentamiento/enfriamiento del suelo; y movimiento oceánico. Todos estos elementos interactúan con espectros de energía radiante de entrada y de salida. Tampoco debemos olvidar que los últimos metros de las capas superiores del océano contienen más energía térmica que toda la atmósfera. La mayor parte de la energía atmosférica se localiza a unos pocos miles de metros de la superficie de la Tierra.

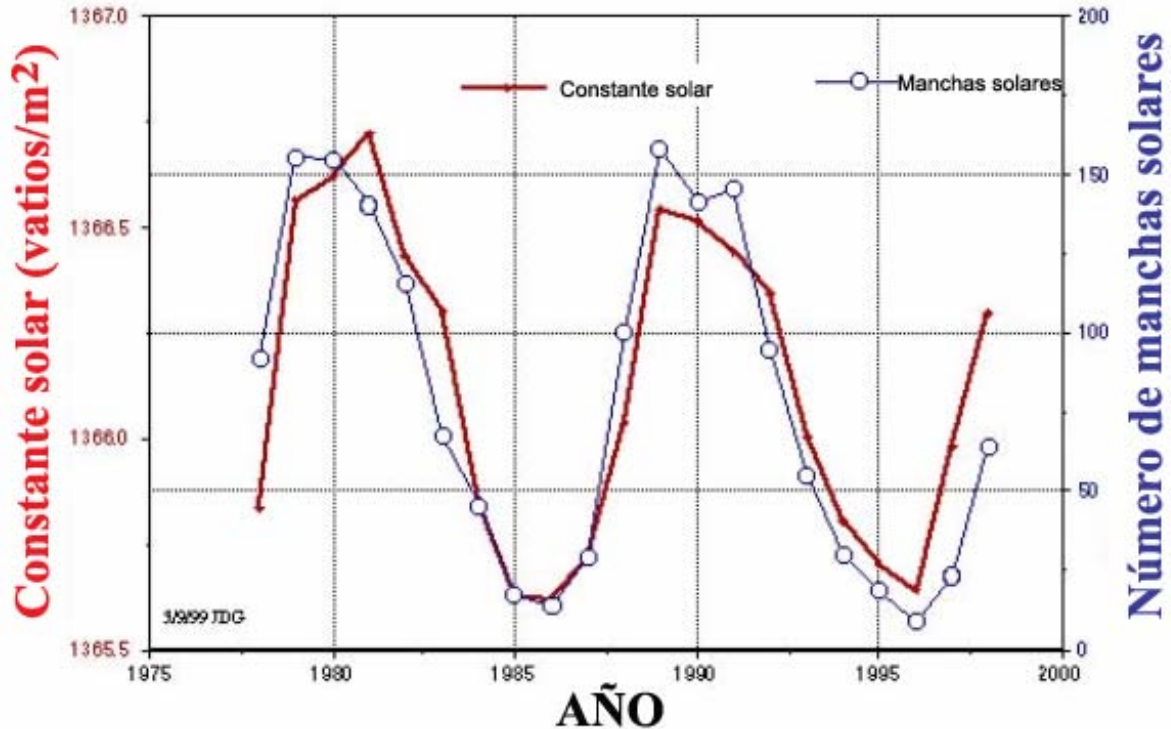


Figura 2a Se trata de un diagrama basado en mediciones por satélite de la irradiancia solar y del número de manchas solares observadas desde que en 1979 se iniciaron las mediciones por satélite, tomado de Hoyt y Schatten (1997). Las diferencias en las mediciones de la irradiancia solar son muy pequeñas, situándose en torno al 0,05 por ciento entre los valores máximos y mínimos. Los valores estimados son también, por lo tanto, muy pequeños, pero desde el mínimo de Maunder parece haberse producido un aumento a largo plazo de la irradiancia total de cerca del 0,2 por ciento.

1.3 Ciclo hidrológico y zonas climáticas

Las regiones ecuatoriales (zona tropical) reciben una aportación de energía relativamente mayor, en función de los patrones de irradiancia espectral electromagnética del sol. Las nubes moderan tanto la irradiancia que llega a la superficie como la tasa de retención de la retrorradiación infrarroja en todos esos puntos de contacto. Las estaciones siguen su ciclo dentro de la órbita anual de la Tierra, transfiriendo la atmósfera con suma rapidez las disparidades de energía. Por ejemplo, las precipitaciones y los movimientos de las nubes que siguen a una convección profunda, en la que la energía de la superficie del océano se transfiere a la atmósfera, transmiten calor (energía) procedente de la zona tropical a la zona templada, en dirección a los polos. Estos procesos pueden durar días o semanas. Un ciclo completo de transferencia a las regiones polares a través de la atmósfera puede durar meses o años si la energía se retiene en forma de nieve o hielo, o incluso según el caudal que lleven los ríos en primavera. En los polos, el calor se pierde continuamente en el espacio en forma de energía infrarroja.

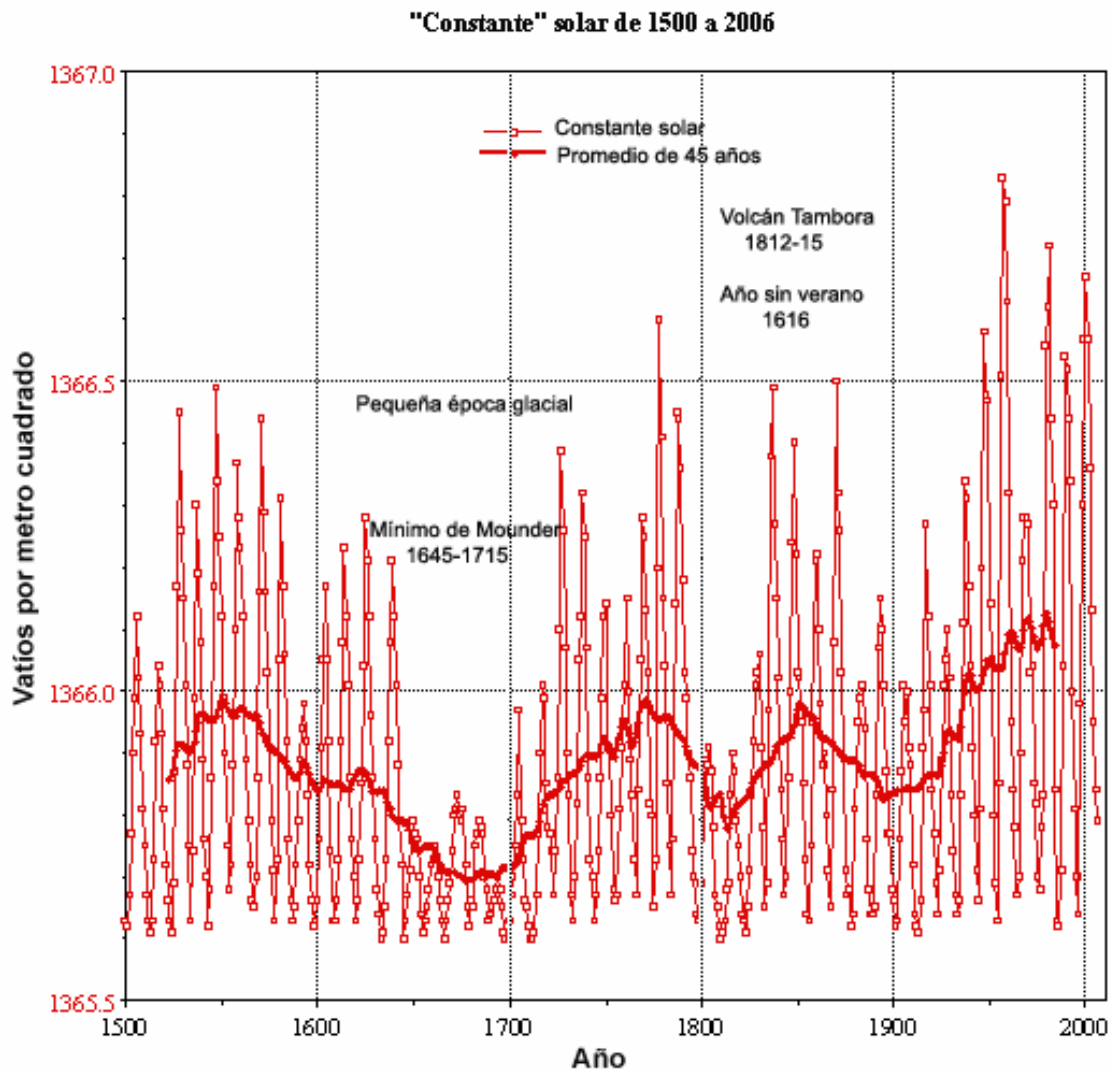


Figura 2b Aquí se muestra la irradiancia solar en esta traducción anual de las observaciones de manchas solares en irradiancia solar, utilizando el método de calibración de Hoyt y Schatten (1997) a partir de las observaciones representadas en la Figura 2a. Las líneas continuas indican los resultados obtenidos tras aplicar una suavización de 45 años con el fin de evidenciar las tendencias de la actividad solar a largo plazo.

El ciclo de transmisión de calor de la zona tropical a latitudes más altas a través de las corrientes oceánicas es mucho más lento. La forma y la trayectoria de las corrientes, forzadas por los vientos y la dinámica termohalina, están sujetas a las fuerzas rotacionales de la Tierra, descritas por Ekman en el siglo pasado (véase Bakun 1996), y a las fuerzas de las mareas. Océanos, lagos y ríos realizan transferencias similares de energía, sujetas a los patrones locales de las precipitaciones estacionales, la intensidad de los vientos de superficie y las fuerzas gravitacionales, cuando el líquido trata de alcanzar su nivel de equilibrio dentro de las diversas cuencas. La dinámica interna océano-atmósfera y los ciclos hidrológicos son los resultados más importantes de todo ello.

Todas esas transferencias de masa y energía crean unas dinámicas locales. Esas dinámicas dependen de las disparidades locales de calor que generan también subsidencia o convección, las cuales a su vez ocasionan vientos de superficie que interactúan de nuevo para evaporar el agua (enfriando la superficie local) o producir más precipitaciones. El enfriamiento de las superficies de evaporación puede ser causa tanto de una condensación como de un aumento de la salinidad y de la densidad que, a su vez, inducen un hundimiento de las aguas superficiales a diversas escalas. Pero la cuestión más importante no es, como algunos pretenden que creamos, si la situación en que nos encontramos actualmente tiene o no precedentes.

Desde la perspectiva de un observador o de un científico de laboratorio, puede parecer que las distintas transferencias son bastante sencillas y que es fácil construir un modelo de ellas. La cosa cambia cuando se empieza a seguir cada proceso desde sus orígenes, a través de los múltiples puntos de interacción, cada uno de los cuales es escenario de una transición o una transformación. Por ejemplo, los oceanógrafos físicos tratan el agua dulce o de alta mar como un sistema sencillo de densidades inducidas por el viento y de fuerzas gravitacionales. Sin embargo, como cada tipo de agua se encuentra con un medio más o menos salino, esos puntos de contacto se modifican inmediatamente, con las consiguientes interacciones. Los cambios de densidad habitualmente sutiles del agua dulce, o las interacciones más complejas de temperatura y salinidad del agua salina, son reconocibles por sus puntos de contacto físicamente mensurables, cada uno de los cuales puede conllevar otra escala cronológica y una resolución habitualmente más lenta de cualquier disparidad en el contenido de energía. El resultado final es el sistema hidrológico de la Tierra, sumamente complejo (véanse Enzel *et al.* 1989; Gray 1990; Gray y Scheaffer 1991; Gross *et al.* 1996; Perry 1994, 1995, 2000; Perry y Hsu 2000; White *et al.* 1997; White, Chen y Peterson 1998; Lean y Rind 1998).

Hay innumerables discontinuidades y cambios de fase, cada uno de los cuales interactúa en otra escala espaciotemporal de resolución de las disparidades de energía. Los cambios en el estado o la composición química del agua son los factores que más contribuyen a los numerosos e importantes patrones del clima físico con una escala temporal variable. Esos puntos de contacto pueden generar también unas condiciones ecológicas de contorno bastante identificables, las cuales varían a su vez en función de su posición general: 1) dentro de la geomorfología de la Tierra, que cambia lentamente, y 2) con arreglo a unos límites estacionales relativamente móviles, a medida que la Tierra realiza su desplazamiento anual alrededor del sol y que avanza a través del tiempo y el espacio. Estos patrones dinámicos son lo que denominamos zonas climáticas o, a escala local, microclimas.

Al nivel del mar, cerca de la costa, el clima refleja la dinámica térmica estacional media de la superficie del océano y de los vientos de superficie que, al atraer y rechazar la carga de energía, conducen hacia un estado más estable. Cada uno de los medios sirve para alcanzar un estado de energía más uniforme. A medida que subimos desde la playa hacia un terreno más elevado, solemos encontrar zonas costeras escarpadas, o incluso montañas, de diversas escalas. Estas características orográficas transforman rápidamente el aire en superficie, que está cargado de vapor de agua a menudo casi saturado, en una atmósfera generalmente más fresca, formando nubes o incluso cristales de hielo, según la latitud y la estación. Esta masa de aire continúa su ascenso, siguiendo una trayectoria de resolución de la energía/densidad que puede dar lugar a precipitaciones. Dependiendo de las condiciones que se den en las capas inferiores, la humedad puede evaporarse, caer en forma de lluvia o ser impulsada hacia arriba, para precipitarse en ocasiones en forma de granizo que se funde al recibir la energía térmica procedente del suelo y del aire de superficie.

Otros procesos similares que se producen sobre el océano suelen resolverse más rápidamente por dilución. Sin embargo, el agua de la superficie del océano puede sellarse con lentejones de agua dulce más cálida y poco salina. Este fenómeno suele ser reforzado por la escorrentía fluvial, que da lugar otra capa compleja, ya que esos lentejones de agua dulce pueden impedir la mezcla normal de vientos, hasta que el perfil de salinidad acaba siendo más susceptible de mezcla, en función de las diferencias de salinidad y del forzamiento externo. Por ejemplo, si hay una fuerte subsidencia atmosférica, procedente tal vez de una región polar, el agua dulce superficial puede congelarse, sellando aún más firmemente el océano subyacente frente a la mezcla de vientos. Por otra parte, cuando las precipitaciones han sido escasas, la misma subsidencia polar puede evaporar el agua salina del océano, creando corrientes muy frías y de alta densidad que se sumergen profundamente en el océano, a lo largo de puntos de contacto con una densidad específica según las condiciones de temperatura y salinidad. El aire húmedo y más cálido se transfiere a menudo a enormes distancias hasta que se enfría, se condensa y acaba por precipitarse.

La nieve suele producirse cuando masas densas de aire seco y frío se encuentran con masas de aire más húmedo y cálido, procedentes de otra zona climática, creando estratos enfriados rápidamente en los que el vapor de agua se congela adoptando formas cristalinas. Esos cristales o copos caen al suelo con relativa lentitud, formando de nuevo una cubierta aislante, o son arrastrados por el viento que los transporta hasta que acaban por formar bancos – e incluso glaciares en determinadas condiciones –, o simplemente se funden y pasan a engrosar los recursos hídricos locales. El tipo de proceso, y el sitio donde ocurre, depende tanto de la altitud como de la latitud, pudiendo dar lugar a glaciares en el ecuador a 5 000 metros o a lluvias estacionales a partir de 60 °N o 60 °S en altitudes inferiores. El deshielo estacional genera corrientes de agua dulce que a menudo llegan hasta el océano distante centenares o miles de millas del lugar donde se produjeron las precipitaciones iniciales.

El flujo de agua dulce es fundamental para muchas pesquerías, como por ejemplo las de camarón, cangrejos y especies anádromas como el salmón y la anguila. Incluso la formación de hielo estacional tiene consecuencias ecológicas (Loeb *et al.* 1997). Todo proceso climático que modifique los límites de la zona climática influirá en el régimen de precipitaciones y por consiguiente afectará a las pesquerías de esas especies. El clima regional y mundial puede cambiar rápidamente, y de hecho lo hace, si se traspasan ciertos umbrales. Algunos sistemas pesqueros reflejan esos cambios de manera espectacular, como señalaron Hjorth (1914, 1926) y Russell (1931, 1973) en sus trascendentales trabajos. En la actualidad, se reconoce ampliamente, aunque apenas se tiene en cuenta en las evaluaciones regionales de las poblaciones de peces, que las capturas pesqueras constituyen unos indicadores excepcionales del cambio climático y ecológico, según se demuestra en recientes publicaciones (Southward 1974a,b; Southward, Butler y Pennycuick 1975; Southward, Boalch y Mattock 1988; Sharp y Csirke 1983; Loeb, Smith y Moser 1983a,b; Garcia 1988; Ware y McFarlane 1989; Glantz y Feingold 1990; Kawasaki *et al.* 1991; Ware y Thompson 1991; Glantz 1992, Gomes, Haedrich y Villagarcía 1995; Mantua *et al.* 1997; Taylor 1999; Klyashtorin 1998, 2001). Se ha recorrido un largo camino desde que Baranov expuso sus ideas (1918, 1926).

1.4 Observaciones paleológicas y cambios climáticos

En los últimos decenios, algunos paleoclimatólogos han realizado investigaciones muy avanzadas, utilizando datos procedentes de testigos de hielo, sedimentos de las costas de océanos y lagos, corales y otros sistemas vivos, que les han llevado a la notable conclusión de que se han producido con frecuencia cambios impresionantes en los patrones climáticos, a una escala cronológica de unos pocos años o decenios. Por ejemplo, un grupo de paleocientíficos estudió testigos de sedimentos procedentes del lago Elk, en Wisconsin (Anderson 1992; Dean *et al.* 1984). Aplicando una variedad de técnicas modernas al material tomado de los testigos de sedimentos anuales cuya secuencia se remontaba a más de 11 000 años, observaron que, en un período comprendido entre unos pocos años y un decenio, se habían producido cambios ecológicos ocasionados por el clima desde el ecotono de la pradera hasta el de los bosques del norte y del este.

El primero de ellos, es decir el ecotono de la pradera, supone el dominio de las condiciones meteorológicas actualmente normales en el sistema anticiclónico del Pacífico Norte. El último, el ecotono de los bosques del este, supone el dominio, y el movimiento hacia la costa, del fenómeno atmosférico denominado anticiclón de las Bermudas, que bombea aire cálido y húmedo hacia el interior de Norteamérica y favorece el desarrollo de los bosques de pinos. El tipo intermedio, o ecotono de los bosques del norte, se produce durante los períodos en que los anticiclones del Pacífico y de las Bermudas se debilitan y se alejan de las costas, y los patrones estacionales están dominados por la subsidencia ártica, es decir cuando los anticiclones polares móviles (véase Leroux 1998) dominan el terreno, dando lugar a inviernos secos y rigurosos que favorecen el crecimiento de las especies de los bosques septentrionales y hacen retroceder los otros dos ecotonos hacia el ecuador y el océano.

Estos tipos de cambios de patrón están «escritos» en los sedimentos, los testigos de hielo y las modalidades de distribución de las plantas en todo el mundo (véase Markgraf 2001). ¿Cómo es posible aprender de los océanos, teniendo en cuenta su dinámica? El problema no carece de importancia, ya que en los océanos es más difícil tomar muestras y explicar y describir los procesos en términos que puedan traducirse en «analogías climáticas». Sin embargo, el número de estudios es cada vez mayor, especialmente desde la brillante obra de Soutar e Isaacs (1974) y los trabajos complementarios de Baumgartner *et al.* (1989), que demuestran que los océanos sufrieron variaciones paralelas en sus patrones, como resultado de las cuales se produjeron cambios drásticos en la abundancia, composición y distribución de las especies.

Estos cambios relacionados con el clima tuvieron notables consecuencias para las sociedades locales y regionales, desde el Ártico hasta Tierra del Fuego, Australia y Sudáfrica, así como en los océanos de todo el mundo. Hay razones que justifican la adopción de cualquiera de las opciones posibles para pronosticar las transiciones climáticas o variaciones de régimen, o identificar los síntomas de las que están en curso. Recientemente se han hecho algunos avances en geociencias que podrían conducir hacia ese objetivo. Por ejemplo, la velocidad de rotación de la Tierra o longitud negativa del día (-LOD) varía, lo que al parecer se debe a la suma de todas las dinámicas «internas» del sistema terrestre. Científicos rusos que se ocupan de la pesca y la geofísica (Klyashtorin, Nikolaev y Klige (1998) y Klyashtorin, Nikolaev y Lubushin, en estudio) han observado que algunos procesos importantes relacionados con la pesca están determinados por cambios en la -LOD, así como en los índices de circulación atmosférica (ACI) tipificados. Esos conceptos son fundamentales para modificar el modo en que se realiza la ordenación pesquera, abandonando los métodos de reconstitución *a*

posteriori para adoptar métodos de pronóstico verdaderamente proactivos. Nuestra hipótesis de trabajo es que los cambios en la temperatura del aire en la superficie de la Tierra (dT) y la dinámica de la circulación atmosférica regional (ACI) pueden darnos una idea de las variaciones registradas en los océanos y el medio ambiente, y por consiguiente de los patrones de producción de las pesquerías (Klyashtorin 1998; Sharp 2000; Sharp, Klyashtorin y Goodridge 2001).

Uno de los índices del cambio climático mundial es la anomalía en la temperatura del aire en superficie (dT), que se ha medido continuamente a lo largo de 140 años. Se sabe que la variabilidad anual de la dT es muy alta, y es necesaria una suavización considerable (13 años) de la serie cronológica correspondiente para determinar las tendencias de la temperatura a largo plazo (Figura 3a). Las series cronológicas suavizadas de la dT media anual (Figura 3b) muestran diversas fluctuaciones, de varios decenios de duración, con valores máximos en los decenios de 1880, 1930 y 1990 (Halpert y Bell 1997; Bell *et al.* 2000), así como la respuesta de los índices de circulación atmosférica (Figura 3c). Esas fluctuaciones tienen lugar en el contexto de una prolongada tendencia ascendente de $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ años}$ (Sonechkin, Datsenko e Ivaschenko 1997, Sonechkin 1998).

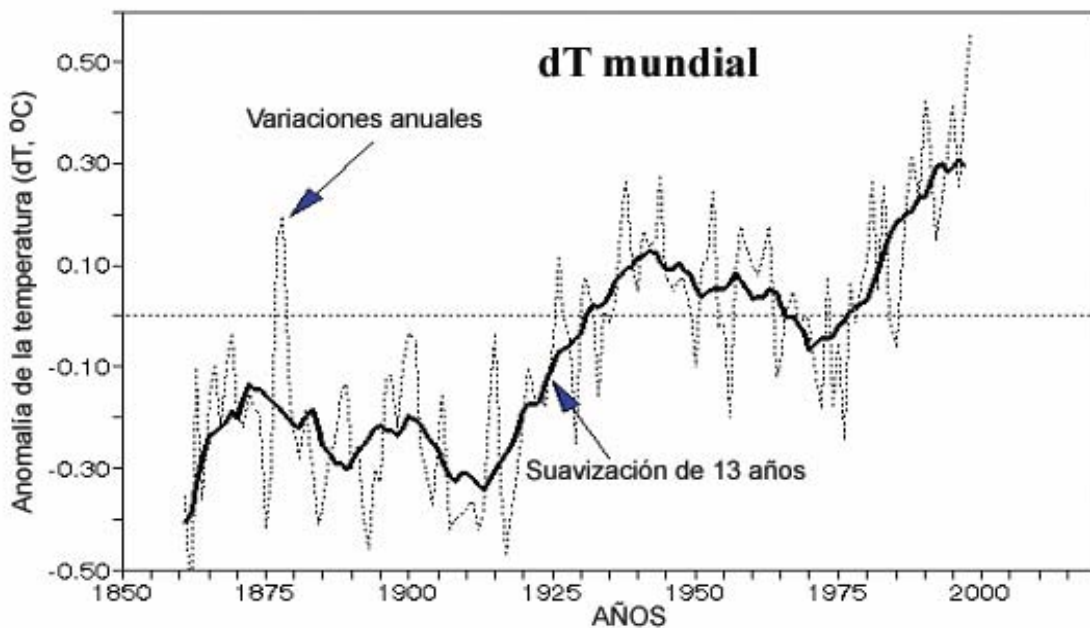


Figura 3a

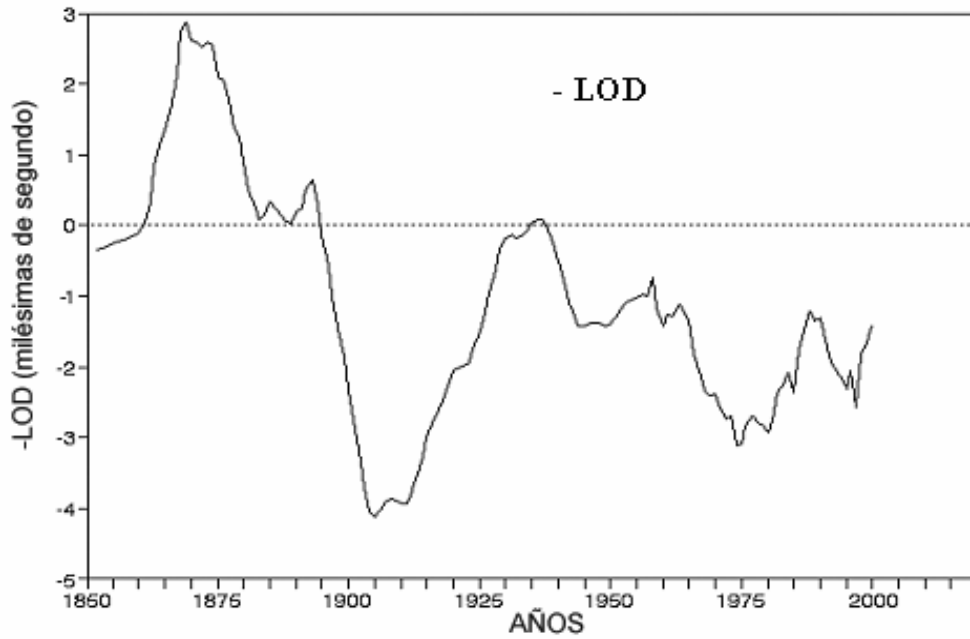


Figura 3b

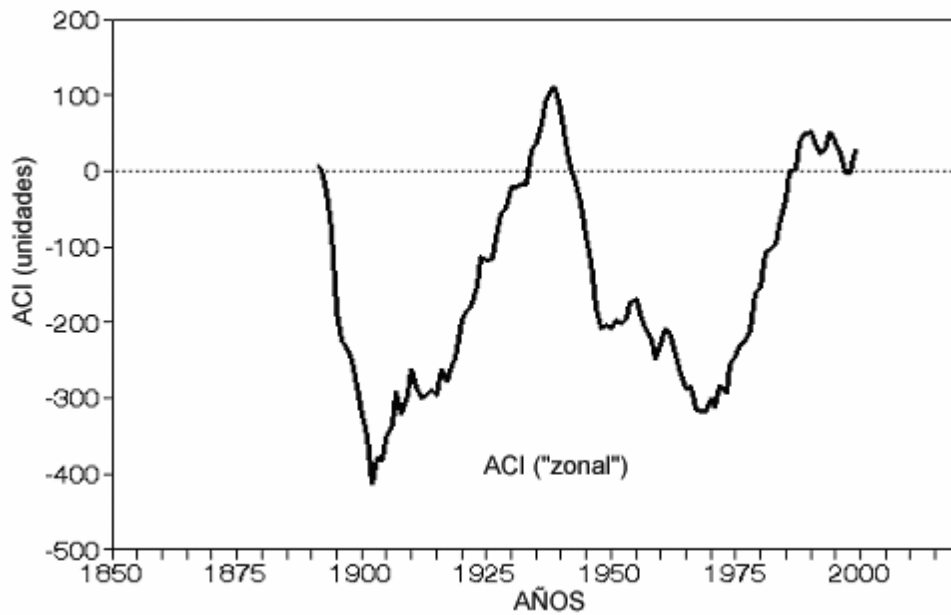


Figura 3c

Figura 3 Dinámica a largo plazo de los índices climáticos y geofísicos estudiados: **3a** Anomalía de la temperatura mundial (dT): 1) promedio anual, 2) promedio anual suavizado por un promedio corriente de 13 años; **3b** Índice de velocidad de rotación de la Tierra (-LOD); **3c** Índice de circulación atmosférica latitudinal (ACI zonal). Figuras facilitadas por Leonid Klyashtorin, comunicación personal.

La anomalía de la transferencia atmosférica (AT), el índice de circulación atmosférica (ACI), la anomalía de la temperatura mundial (dT) y el índice de longitud del día (-LOD) han sido medidos todos ellos durante los últimos 100–150 años. Las fluctuaciones periódicas a largo plazo de esos índices están perfectamente correlacionadas, aunque han variado en el curso del tiempo. Las oscilaciones de la anomalía de la AT, que duran varios decenios, preceden a las fluctuaciones periódicas de la LOD (en 14–16 años) y de la dT (en 16–20 años), lo que permite predecir con mucha antelación la probable dinámica de éstas últimas. Por razones prácticas, los meteorólogos no trabajan directamente con la anomalía de la AT, sino que utilizan el producto de su acumulación (es decir, la suma secuencial de anomalías de la AT).

El índice de circulación atmosférica (ACI) fue propuesto por Vangeneim (1940) y Girs (1971) para caracterizar los procesos atmosféricos a escala hemisférica (mundial). Sólo existen series cronológicas fiables de esos índices para los últimos 110 años aproximadamente. Para cada uno de los componentes, la dirección predominante de la masa de aire transportada depende del régimen de presión atmosférica que prevalece en un inmenso territorio, que va por ejemplo desde el Atlántico hasta Siberia occidental. Esta información se analiza y posteriormente se presenta en forma de mapas diarios de los campos de presión atmosférica en la región, con unos límites de 45 °W, 75 °E y 20 °N al Polo Norte. Existen patrones similares para el hemisferio sur, basados en datos similares.

La aparición de cada componente (C, W o E) se determina en función del número de días con la correspondiente dirección predominante de la masa de aire transferida. El número total de apariciones de los tres componentes en un año es igual a 365. Para cada intervalo de años, la aparición de la transferencia atmosférica predominante se expresa como la anomalía de la transferencia atmosférica (anomalía de la AT), que, como se ha demostrado, es el resultado de sustraer a un período de tiempo determinado el promedio correspondiente. Por consiguiente, la suma de las anomalías de la AT de los tres componentes básicos (C, W y E) durante el mismo período es siempre igual a cero. La serie cronológica resultante (anomalías de la AT acumuladas) se denomina índice de la circulación atmosférica (ACI); es decir, la ACI es la serie cronológica integrada de las anomalías de la AT correspondiente a cualquier período de mediciones. Klyashtorin (1998) indicó la estrecha relación que existe entre las capturas comerciales en las principales pesquerías del mundo y los índices de la ACI del Instituto Ruso de Investigaciones sobre el Ártico (Figura 4).

La idea de que los patrones de las condiciones meteorológicas en los hemisferios son cíclicos y están relacionados con las fuerzas atmosféricas no es nueva ni suscita especiales polémicas. Es fácil admitir las relaciones típicas entre cambios de regímenes climáticos y datos hidrológicos de grandes sistemas, siempre que los conjuntos de datos sean coherentes, amplios y correctos. Las subidas y bajadas de los sistemas de lagos continentales han sido registradas durante muchos decenios, y en algunos casos, como las crecidas del río Nilo, durante casi 2 000 años. Por ejemplo, los especialistas rusos en recursos hídricos saben bien que la forma dominante de presión atmosférica ACI-C significa un aumento de la transferencia de precipitaciones de norte a sur. Por otra parte, durante las «épocas meridionales» el clima regional se vuelve más continental, es decir muestra mayores diferencias entre las temperaturas del verano y las del invierno.

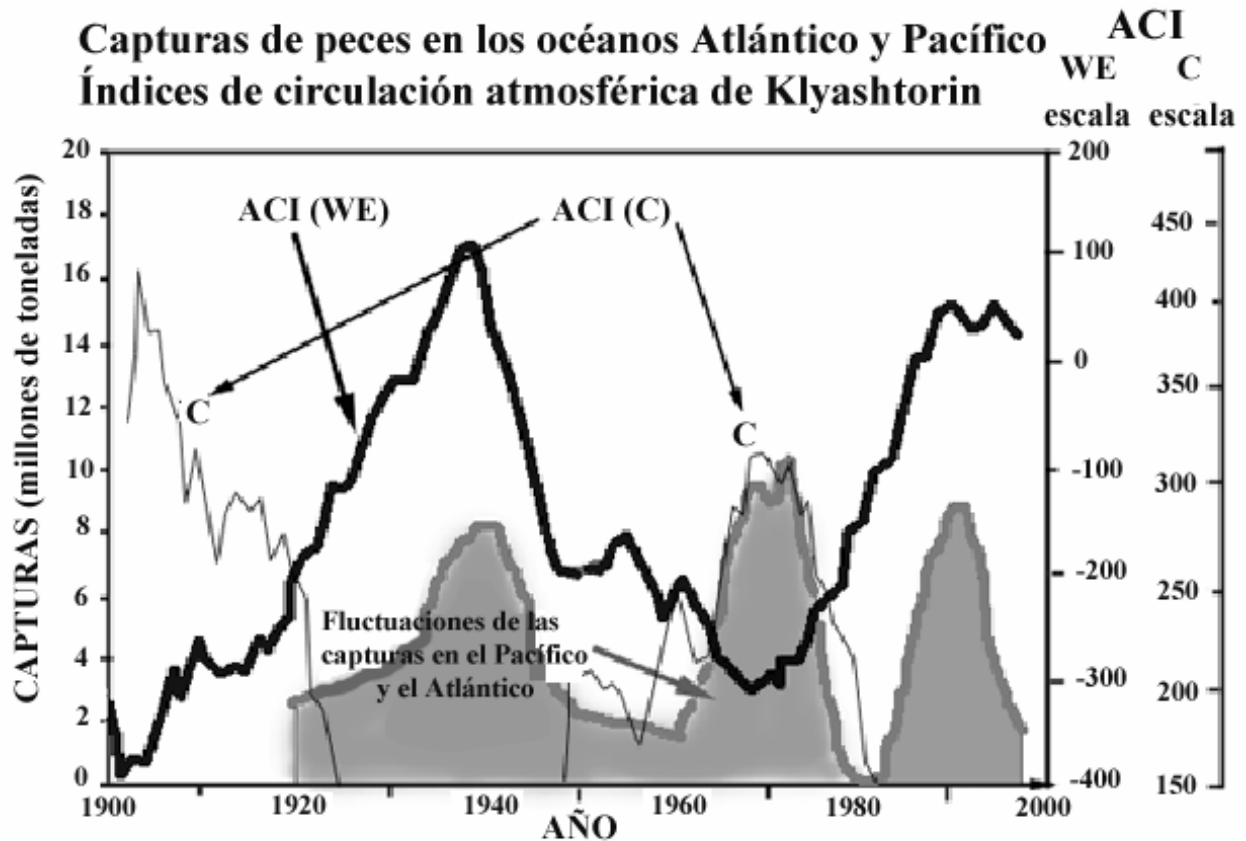


Figura 4 Aquí se muestran los índices de circulación atmosférica correspondientes al mismo período, elaborados a partir de datos regionales sobre desembarques comerciales de «régimen cálido» para las doce pesquerías principales descritas por Klyashtorin (2001, véase la Figura 14). La ACI (W–E) designa períodos en que los campos dominantes de vientos de superficie son zonales, mientras que la ACI (C) indica los períodos en que los campos de vientos son predominantemente meridionales. Obsérvese la coherencia relativa de los picos de producción pesquera dentro de los dos patrones de la ACI (WE y C).

En los últimos decenios, ha habido un intenso debate sobre las causas del descenso de las aguas del mar de Aral y de otros cursos de agua de Rusia, al haber crecido la agricultura y haberse explotado más recursos hídricos con fines de riego. La Figura 5 ayuda a explicar los descensos a largo plazo, antes preocupantes, del nivel del mar de Aral, situado al oeste del lago Balkhash.

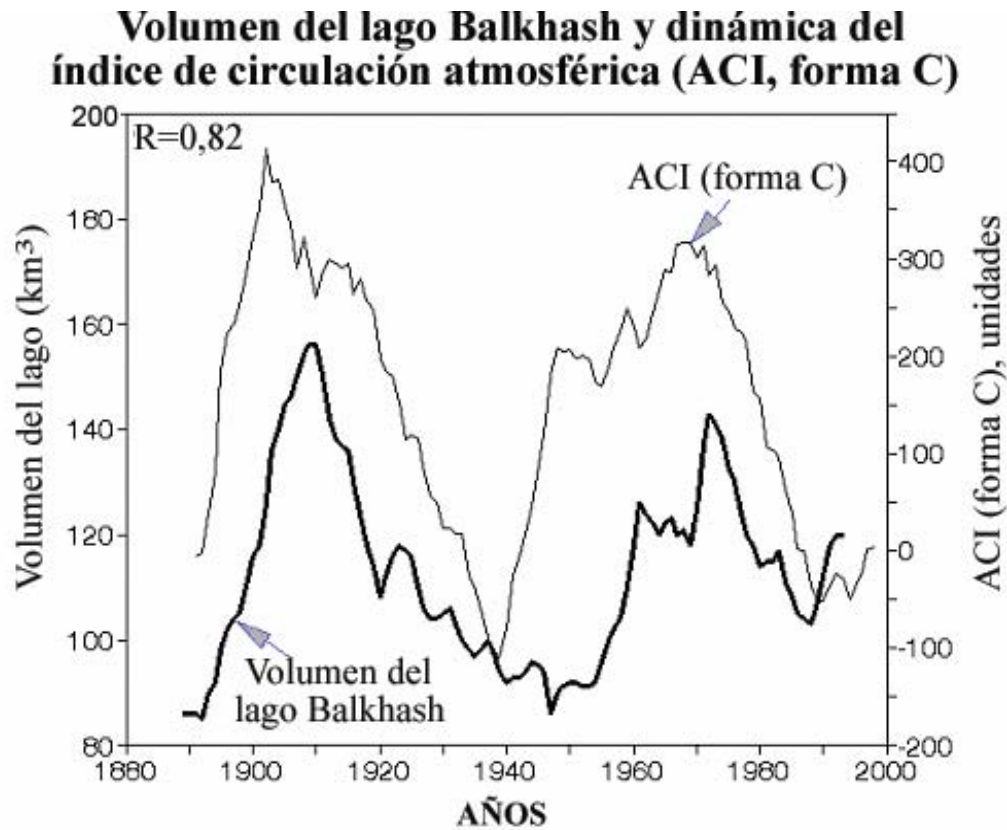


Figura 5 Aquí se muestra la concordancia entre el volumen del lago Balkhash y el índice de circulación atmosférica de forma C (meridional) de Klyashtorin (*supra*). El mar de Aral y otras cuencas hidrológicas regionales han empezado recientemente a aumentar en forma lenta. Estos datos corroboran los pronósticos moderadamente positivos con respecto a los cambios ecológicos.

1.5 Problemas locales

La necesidad fundamental de encontrar alimentos y, en particular, proporcionar una cantidad adecuada de proteínas a una población en constante aumento plantea un dilema de enormes dimensiones. Es evidente que con la estabilización e incluso el descenso de la producción de algunas pesquerías oceánicas, están empezando a agotarse las opciones que teníamos a nuestra disposición, a medida que se modifican los hábitats para dar preferencia a la agricultura y se utiliza más pescado como pienso en el cultivo de peces y camarones. Teniendo en cuenta la presión que ejerce el actual crecimiento demográfico, tal vez podría aprovecharse mejor la proteína del pescado si una parte mayor de las capturas de peces se destinara directamente al consumo humano, en lugar de utilizarla para obtener productos de más valor mediante la etapa añadida de su conversión ineficiente en pienso para otras especies.

La Figura 6 sitúa en un contexto temporal y climático ejemplos de cambios conocidos en los patrones sociales y pesqueros que parecen responder a cambios climáticos igualmente bien descritos aunque de duración algo mayor (véase la Figura 1c). Los ejemplos de las respuestas, relacionadas con el clima, del arenque de Bohuslan, en el Atlántico Norte, así como de las culturas andinas, a los cambios en las influencias solares no coinciden plenamente con las causas locales de cada fenómeno. Pueden documentarse en todo el mundo la aparición y desaparición de hielo glaciar, el enfriamiento y calentamiento del hábitat oceánico y las

secuencias de períodos húmedos y secos: esa es la misión, por ejemplo, del programa Polo-Ecuador-Polo PAGES (véase el sitio web de PEP-PAGES). Los patrones climáticos regionales y mundiales son estudiados y archivados por diversas instituciones nacionales (véanse los sitios web del Centro de Predicción del Clima de la NOAA y de la CSIRO), la más antigua de las cuales es el indicador de nivel del río Nilo, cerca de El Cairo. La atención de las ciencias climáticas aplicadas, centrada en El Niño durante los últimos decenios, se ha ampliado ahora a La Niña u otros patrones neutrales.

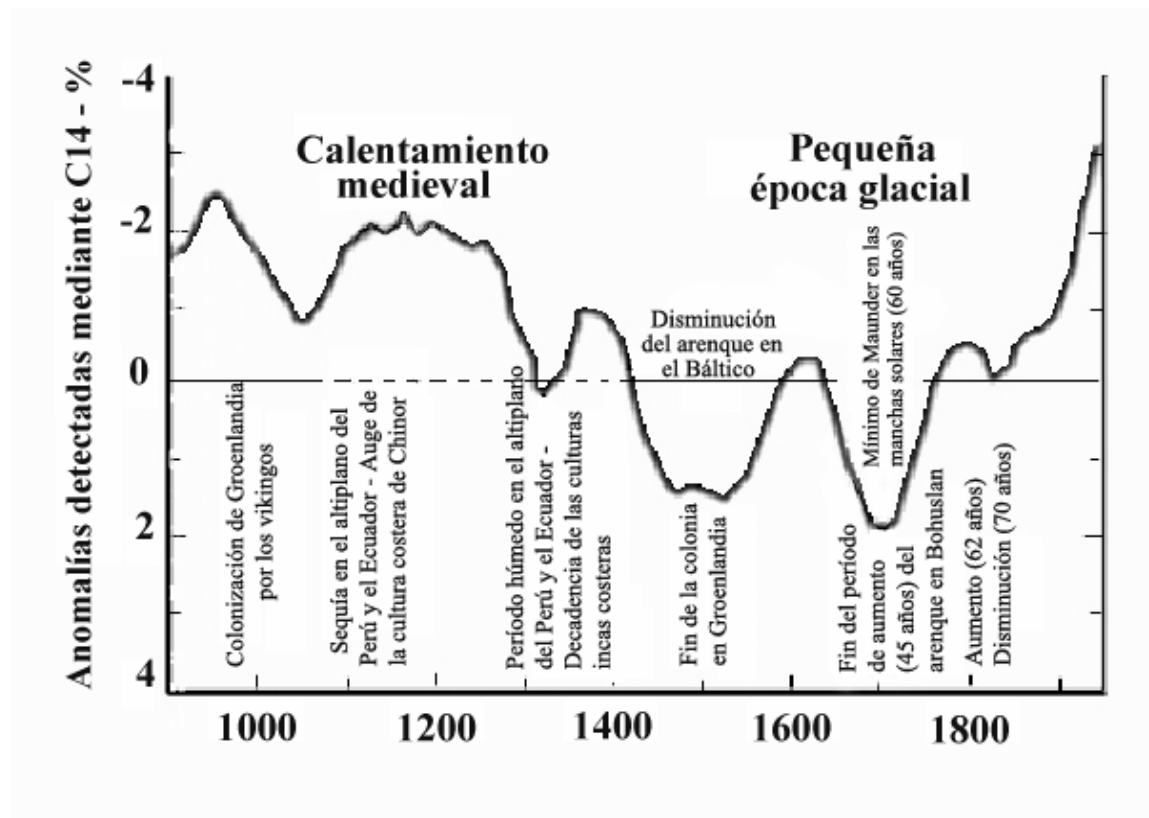


Figura 6 He aquí una serie cronológica de anomalías detectadas mediante C14, que se produjeron como resultado de las emisiones solares, con las correspondientes respuestas de la sociedad, e información comparable sobre el aumento y la disminución del arenque en el Báltico y la posterior creación de la Liga Hanseática para hacer frente a los impresionantes patrones de enfriamiento y calentamiento en la región durante la pequeña época glacial. Mientras tanto, las antiguas colonias noruegas en Islandia y las culturas de las tierras bajas y altas del Perú sufrían cambios espectaculares. Muchas otras consecuencias sociales han sido relacionadas con cambios continuos y bruscos, lo que confirma la idea de que las culturas humanas han respondido a esos cambios climáticos al igual que lo han hecho todas las especies en el curso de la historia.

Desde el comienzo del período de calentamiento medieval comprendido entre 1285 y 1400 aproximadamente, unas condiciones meteorológicas de tiempo crónicamente seco y frío, y localmente muy seco y extremo, unidas a una escasa seguridad alimentaria en la región, pusieron en marcha diversas fuerzas competitivas de la sociedad (véanse Thompson *et al.* 1995, Braudel 1985). Esta época de tensiones sociales relacionadas con el clima se vio agravada por un período más frío que ahora conocemos como pequeña época glacial, y fue la fuerza social que impulsó la era de las exploraciones.