

FLUJOS



WALLACE BROECKER
CATEDRÁTICO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS
EN EL LAMONT-DOHERTY EARTH OBSERVATORY DE NUEVA YORK

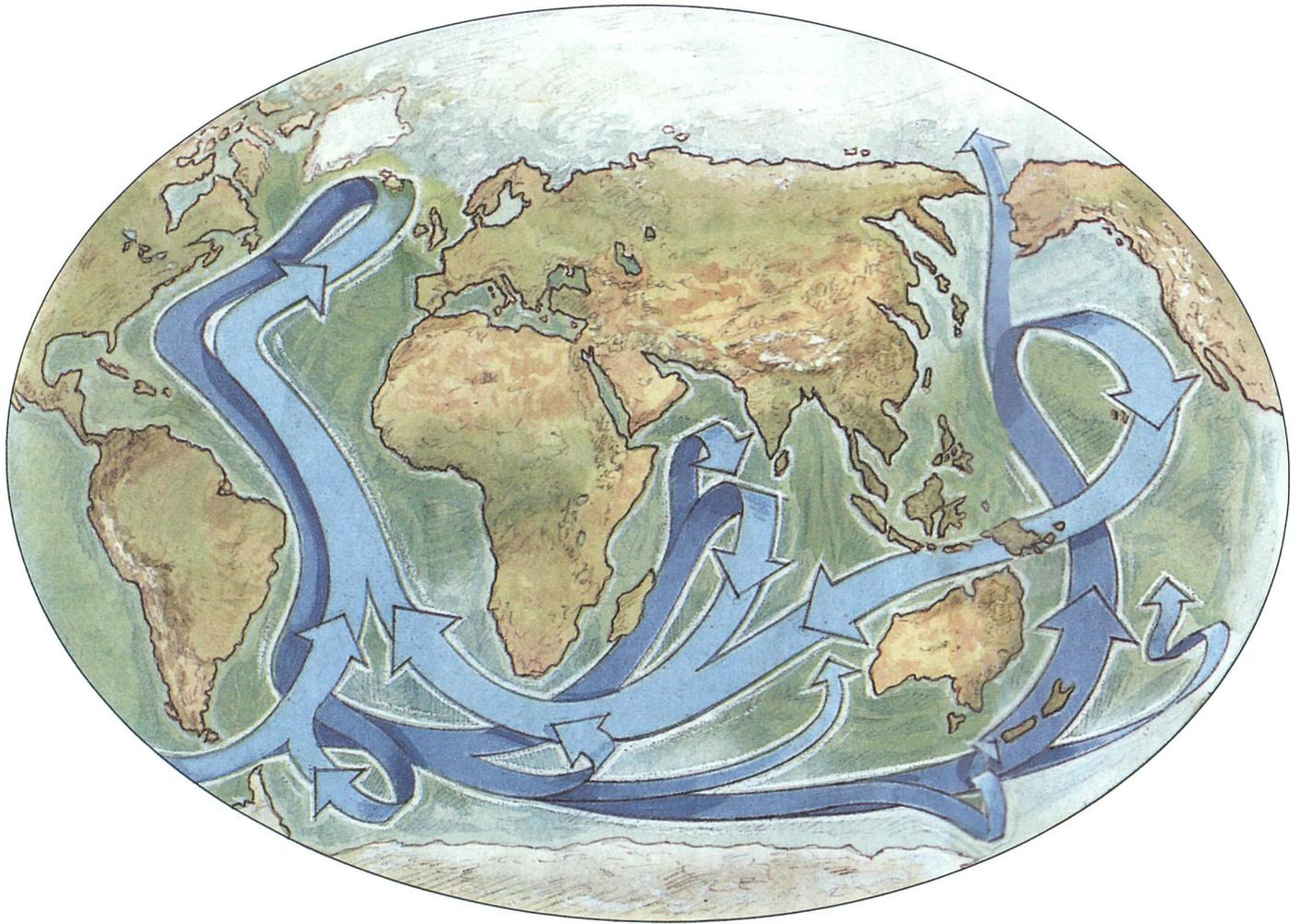
Un río que transportara una cantidad de agua cien veces superior a la del Amazonas es algo difícil de imaginar. Su caudal sería de 20 millones de metros cúbicos de agua por segundo. Sólo canalizando a través de una única conducción las lluvias que caen a diario sobre todo el planeta sería posible crear semejante río. Si bien es cierto que este mega-río no ha existido jamás, sí existe un caudal como éste: el océano. Los científicos nos referimos a él como el Gran Océano Transportador. En lugar de carbón, esta especie de cinta transportadora conduce el calor desde las regiones cálidas del Atlántico hasta las inmediaciones de Islandia y lo libera en las gélidas masas de aire ártico. En consecuencia, los inviernos en el norte de Europa son más suaves que en la ciudad de Nueva York y su entorno, donde yo vivo. Las ráfagas de viento ártico que a menudo soplan sobre esta zona llegan a través del continente, de tal modo que no tienen la oportunidad de absorber el calor del océano.

Este maravilloso sistema de calefacción forma parte del gigantesco sistema circulatorio del océano. Por las profundidades del mar discurren corrientes de agua fría que se originan en dos puntos del planeta: en el Atlántico norte (proximidades de Islandia) y en el Atlántico sur (en los márgenes de la Antártida). La corriente del norte atraviesa el centro del Atlántico y bordea la punta de África, donde se funde con las aguas procedentes de las masas de hielo fundidas de la Antártida. Empujada por un fuerte viento del oeste, la mezcla así creada gira sin parar alrededor de la Antártida y su parte más profunda se conoce como Corriente Circumpolar. Cada vez que pasa por el lí-

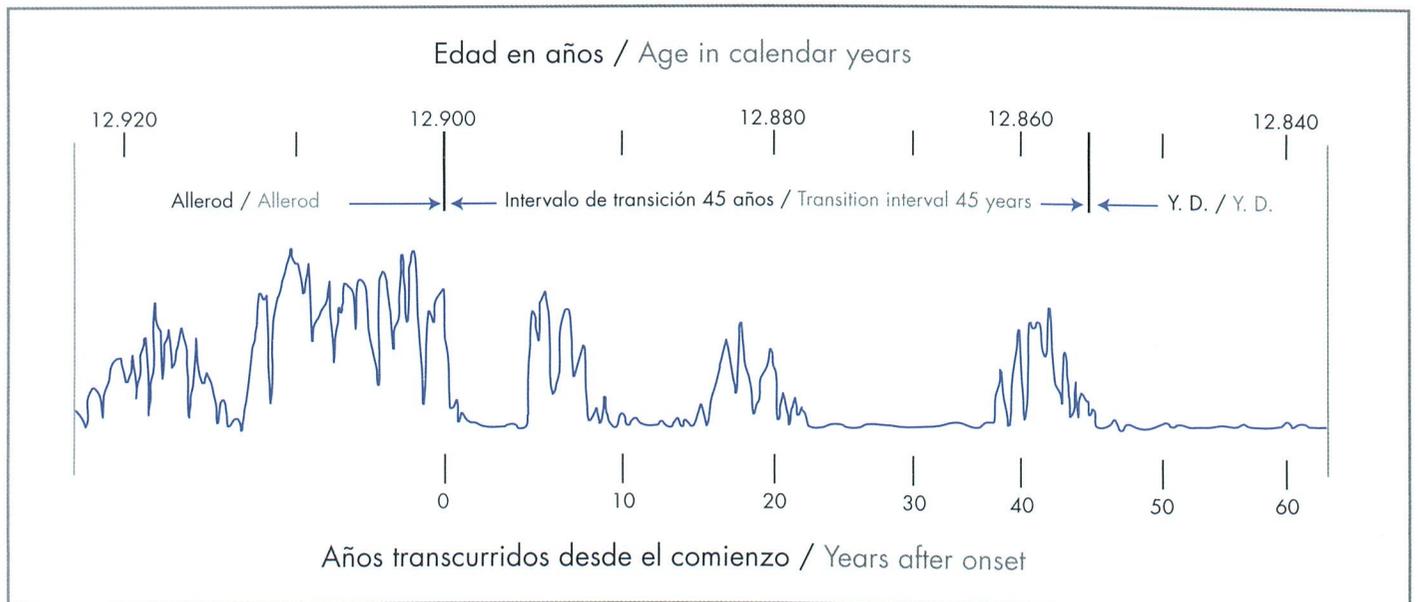
mite meridional del Índico o del Pacífico, parte de esta corriente fluye hacia el norte, «ventilando» las zonas más profundas de estas gigantescas masas de agua. Para completar el circuito, el agua emerge a la superficie y desciende de nuevo hacia las profundidades de las que surgió.

¿Qué es lo que impulsa a este río marino? En primer lugar, como el agua fría es más densa que el agua templada, las aguas de superficie de la región polar pueden sumergirse y asentarse bajo las capas de agua templada, menos densas, que cubren las regiones tropicales y templadas del océano. Pero una vez realizada esta estratificación basada en la densidad, el mar tampoco descansa, porque las aguas de la superficie son empujadas hacia los abismos marinos por los vientos y las mareas, densificando gradualmente las profundidades del mar. Ello hace que las aguas frías de la superficie en las regiones polares invadan y surquen continuamente la masa interior. Una vez establecida, esta pauta de circulación se prolonga eternamente. Tal como funciona ahora, este sistema circulatorio global beneficia especialmente a los países que reciben los vientos del Atlántico norte, donde se originan las aguas frías, pues es aquí donde el océano libera inmensas cantidades de calor tropical, templando así las gélidas masas de aire ártico.

Un malvado Dr. No o un Goldfinger enterado de estos datos podría acariciar la idea de bloquear el gigantesco sistema de calefacción de Europa. A cambio de no hacerlo exigiría a la Unión Europea la cantidad de 100.000 millones de dólares. «De lo contrario», amenazaría, «Islandia se convertirá en un



La CINTA TRANSPORTADORA GLOBAL (*flechas azules*) transporta el agua salada fría, originalmente formada en el Atlántico norte por todos los océanos del mundo. Cuando el agua templada fluye hacia el norte para sustituir al agua fría, la transferencia de calor resultante produce importantes efectos climáticos. El norte de Europa debe sus temperaturas más suaves al calor que la superficie del agua libera en las corrientes de aire ártico.



bloque de hielo, los bosques escandinavos se transformarán en tundra e Irlanda será igual que las Spitzbergen...». Ahora bien, ¿podría este villano ejecutar su amenaza en caso de que su chantaje no fuera aceptado? Para producir semejante bloqueo, tendría que derramar sobre el Atlántico norte una gigantesca masa de agua fría. Sólo si pudiera desviar de una vez la cantidad de agua total contenida en los Grandes Lagos o fundir a la velocidad del rayo la inmensa masa de hielo de Groenlandia podría llevar a cabo su amenaza. Si esto fuera posible, la sal (un importante densificador) se diluiría en las aguas de superficie del Atlántico norte, de tal modo que ni siquiera en pleno invierno las aguas alcanzarían la densidad suficiente para filtrarse en las zonas más profundas. Una vez detenido el mecanismo de la cinta transportadora, sería imposible ponerla de nuevo en funcionamiento. Y ello porque en lugar de ser rápidamente alejada por la cinta transportadora, el agua dulce procedente de las precipitaciones y de los ríos se estancaría, creando una tapadera permanente similar a la que hoy existe en el Ártico.

Por supuesto es imposible reunir la cantidad de agua dulce suficiente para llevar a cabo semejante fechoría. La propia naturaleza, sin embargo, ha sido capaz de realizar esta proeza. Hace aproximadamente 12.500 años, cuando el mundo disfrutaba de un período templado tras numerosos milenios de glaciación, el océano se bloqueó de repente, produciendo la congelación de Europa. Esta época, conocida entre los geólogos como «Younger Dryas», se prolongó por espacio de 1.200 años, hasta que la cinta transportadora volvió a ponerse en marcha.

El comienzo de esta ola de frío milenaria fue producto del catastrófico vertido de la masa de agua contenida en un lago que cubría la mayor parte de la superficie que hoy ocupa la provincia de Manitoba, en Canadá. Este fenómeno tuvo lugar cuando el manto de hielo laurentino que había cubierto la mayor parte de Canadá y el norte de Estados Unidos durante el momento álgido del período glacial comenzó a fundirse. El lago se hallaba situado en una depresión creada por el peso de una masa de hielo de dos kilómetros de grosor. Su costa septentrional quedó atrapada por esta masa en retroceso. En un principio, el agua del lago fue a parar al sur, transportada por el río Mississippi. Pero un día tuvo lugar un cambio fundamental en la esquina nororiental del lago, lo que permitió que el agua escapase hacia el este a través del valle del actual río St.

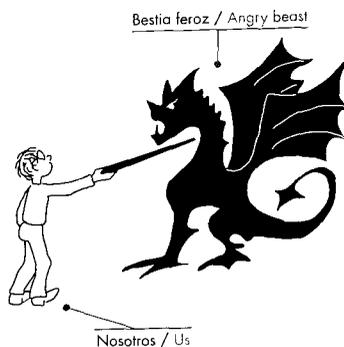
Lawrence y llegase hasta el Atlántico norte. Como esta nueva corriente discurría varias decenas de metros por debajo de la antigua, una inmensa cantidad de agua inundó el Atlántico. La naturaleza fue capaz de ejecutar lo que nuestro villano sólo podría soñar. Las aguas invernales perdieron la densidad necesaria para alcanzar el fondo y la cinta transportadora se detuvo bruscamente.

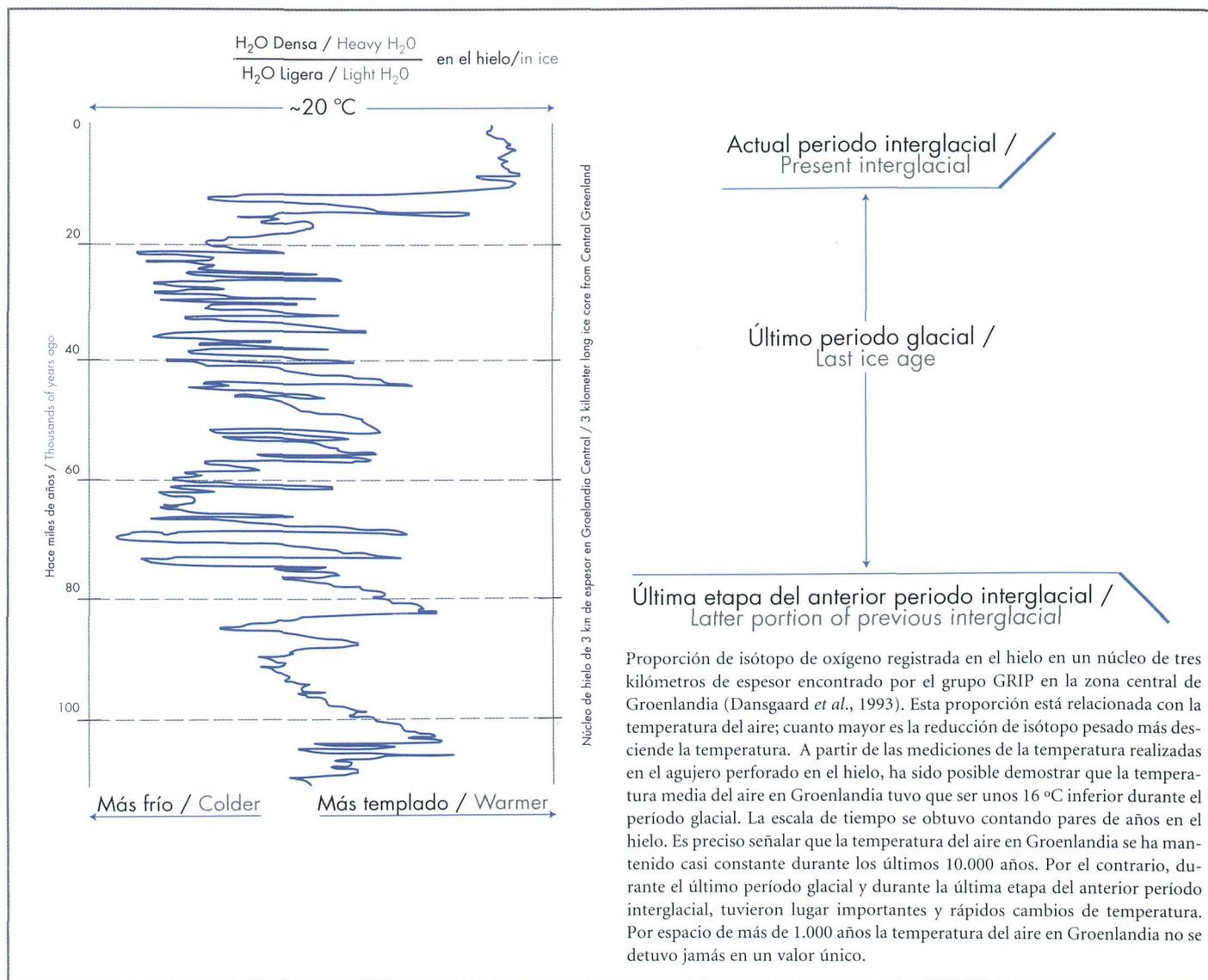
El «Younger Dryas» no fue el único cambio climático atribuible a la parada de la cinta. Tal como aparece registrado en el hielo de Groenlandia, durante el último período glacial ocurrieron unos 15 fenómenos similares. Mientras que algunos fueron probablemente producidos por las gigantes casquetes heladas vertidas al Atlántico desde un lóbulo del casquete polar laurentino centrado sobre la bahía de Hudson, los otros fueron acaso producto de un cambio en la salinidad de las aguas del Atlántico. En épocas de frío extremo, cuando la

cinta transportadora se encontraba detenida, los casquetes polares de Escandinavia y Canadá se extendieron, impidiendo la salida del agua dulce al Atlántico. En consecuencia, la salinidad del océano aumentó gradualmente hasta alcanzar el punto en que la cinta transportadora volvió a ponerse en funcionamiento. Una vez reactivada ésta, el calor liberado a la atmósfera sobre el Atlán-

tico norte fundió los hielos. En consecuencia, el contenido de sal de las aguas del Atlántico volvió a descender poco a poco. Este proceso continuaría hasta que la cinta transportadora dejase de funcionar. Luego se interrumpiría y daría comienzo un nuevo ciclo.

Si bien es imposible que un Goldfinger o un Dr. No pudieran detener la cinta del Atlántico, podríamos decir, sin embargo, que los habitantes del planeta Tierra estamos haciendo todo lo posible para que esto ocurra. ¿Cómo? La amenaza tiene su origen en nuestro aparentemente insaciable deseo de energía. Como la mayor parte de esta energía procede de la combustión de carbón, petróleo y gas natural, cada año liberamos a la atmósfera unos 23.000 millones de toneladas de CO₂. Aproximadamente la mitad de este CO₂ es transportado por el aire. El resto es absorbido por el océano y la biosfera terrestre. En consecuencia, la cantidad de CO₂ contenida en la atmósfera está aumentando a un ritmo de 0,5 % al año. Antes de la Revolución Industrial, la cantidad de CO₂ contenida en el aire equivalía a 280 partes por millón. Esta cantidad se eleva hoy a





Proporción de isótopo de oxígeno registrada en el hielo en un núcleo de tres kilómetros de espesor encontrado por el grupo GRIP en la zona central de Groenlandia (Dansgaard *et al.*, 1993). Esta proporción está relacionada con la temperatura del aire; cuanto mayor es la reducción de isótopo pesado más descendiendo la temperatura. A partir de las mediciones de la temperatura realizadas en el agujero perforado en el hielo, ha sido posible demostrar que la temperatura media del aire en Groenlandia tuvo que ser unos 16 °C inferior durante el período glacial. La escala de tiempo se obtuvo contando pares de años en el hielo. Es preciso señalar que la temperatura del aire en Groenlandia se ha mantenido casi constante durante los últimos 10.000 años. Por el contrario, durante el último periodo glacial y durante la última etapa del anterior periodo interglacial, tuvieron lugar importantes y rápidos cambios de temperatura. Por espacio de más de 1.000 años la temperatura del aire en Groenlandia no se detuvo jamás en un valor único.

365 partes por millón. Para el año 2025 es muy probable que alcance las 415 partes por millón. Si llegado ese momento no hemos sido capaces de frenar el creciente uso de la energía y de sustituir los actuales sistemas para la producción de energía por otros que no emitan CO₂, el nivel podría aumentar hasta alcanzar las 560 partes por millón hacia finales del siglo XXI. El problema es que el CO₂ es uno de los gases que producen el llamado efecto invernadero, que a su vez genera un calentamiento de la Tierra. La duplicación del CO₂ podría aumentar la temperatura del planeta en torno a los 2,5 grados centígrados. Si el impacto del óxido de metano y el óxido nitroso del efecto invernadero se sumase al producido por el CO₂, la temperatura podría aumentar hasta 4 °C.

Pero ¿qué tiene esto que ver con el océano? Dos cosas, que contribuirán a que disminuya la densidad de las aguas en las regiones polares (y por tanto en el Atlántico norte). En pri-

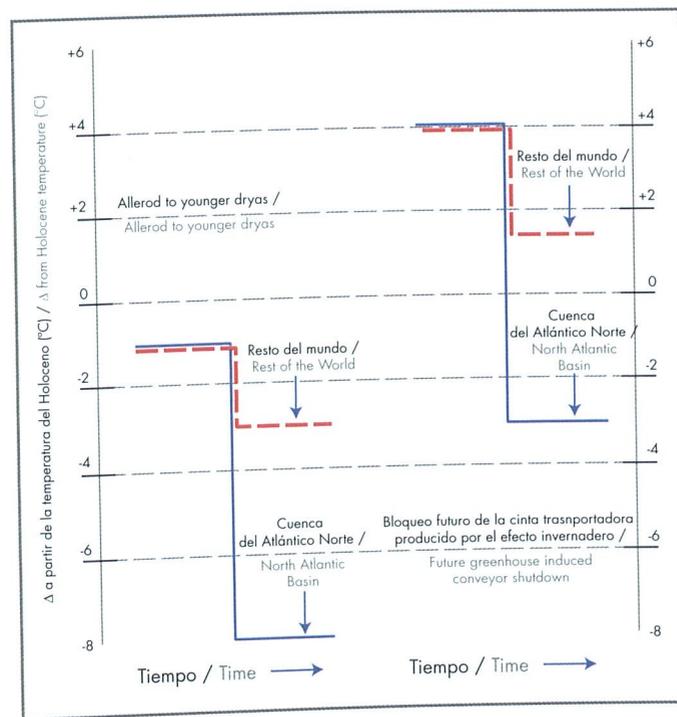
mer lugar, las regiones polares experimentarán un calentamiento progresivo. En segundo lugar, a medida que el planeta se caliente, la cantidad de agua evaporada por los océanos será mayor, lo que aumentará el índice de lluvias. En latitudes altas, donde las precipitaciones son superiores a la evaporación, este incremento diluirá el contenido en sal de las aguas de superficie. El efecto invernadero producirá así un doble revés. Los modelos climáticos que simulan la respuesta del océano, así como la respuesta de la atmósfera, sugieren que una vez que el calentamiento global alcanza los 4 °C las posibilidades de que la cinta transportadora deje de funcionar son muy elevadas.

Digamos que el efecto invernadero, creado por el hombre desde hace aproximadamente un siglo, está poniendo en grave peligro las condiciones en el Atlántico norte. ¿Cómo sería el mundo sin esta cinta transportadora? Si tomamos como modelo lo que ocurrió cuando la cinta transportadora dejó de

funcionar, a principios del «Younger Dryas», podemos pensar que la región del Atlántico norte experimentaría un enfriamiento drástico. El aumento de las precipitaciones podría ocasionar cambios decisivos, como ha sucedido este año con el fenómeno de El Niño. Las tormentas serían más frecuentes. Mas, por fortuna, las condiciones de vida en la Tierra no llegarían a deteriorarse tanto como ocurrió durante el «Younger Dryas». La razón estriba en que para cuando el efecto invernadero llegase a detener la cinta transportadora, la temperatura de la Tierra sería varios grados superior a la actual. Lo más probable es que aun cuando los vientos procedentes del Atlántico norte produjesen un descenso de las temperaturas, en el resto del mundo este enfriamiento serviría para compensar el calentamiento producido por el efecto invernadero.

De manera que podríamos afirmar que semejante fenómeno no tendría a fin de cuentas consecuencias devastadoras. Una vez completado el ciclo del cambio y tras un período de aclimatación a las nuevas condiciones, la vida continuaría su curso como siempre. Tal vez, pero el período de transición sería ciertamente muy desagradable. Basándonos en el modelo de cambios climáticos registrados en los hielos de Groenlandia, podemos suponer que durante el período de transición el clima experimentaría fluctuaciones importantes. Estas fluctuaciones podrían prolongarse por espacio de varias décadas antes de que el clima se asentase definitivamente en su nueva pauta de funcionamiento, y serían tan rápidas e imprevisibles que la planificación agrícola resultaría imposible. Teniendo en cuenta que la población de la Tierra podría situarse para entonces en torno a los nueve o diez mil millones de personas, y que estas personas tendrían que alimentarse de tierras que ahora sólo consiguen sustentar a un 60 por ciento de esta cantidad, dichas fluctuaciones serían desastrosas. Puesto que resultaría imposible predecir el clima, la pérdida de cosechas producida por los cambios en la tasa de lluvias podría producir una hambruna a gran escala.

Los gestores de la industria se niegan siquiera a creer que las emisiones de CO₂ pueden producir un aumento significativo de la temperatura terrestre. Se niegan a escuchar las voces que nos alertan de la posible parada de la cinta transportadora. Justifican su negativa citando al único especialista que desprecia el calentamiento producido por el efecto invernadero. Richard Lindzen, del Massachusetts Institute of Technology (MIT) sostiene firmemente que el aumento de vapor de agua en la atmósfera, que es el factor en el que se basan quienes predicen el calentamiento de la superficie terrestre, no ocurrirá ja-



Escenario simplista de los posibles impactos sobre la temperatura de la Tierra derivados del bloqueo de la cinta transportadora producido por el efecto invernadero, basado en una analogía de la transición del Allerod al «Younger Dryas», pero teniendo en cuenta que las temperaturas de la Tierra inmediatamente anteriores al bloqueo producido por el efecto invernadero serían superiores en varios grados a las temperaturas dominantes durante el período de Allerod. Lo importante es que si bien este cambio produciría probablemente un descenso de varios grados en la temperatura de la región del Atlántico norte, con respecto a sus valores actuales, en el resto del mundo se limitaría a mitigar el calentamiento producido por el efecto invernadero. Aunque en apariencia tranquilizadora, esta analogía no dice nada acerca de los demás cambios importantes en el ciclo hidrológico que muy probablemente acompañarían a este modelo climático.

más. Si está en lo cierto, no cabe duda de que no hay razón alguna para alarmarse. Pero la intuición científica de Lindzen es refutada por los resultados de todos los modelos climáticos. Los otros 100 especialistas se toman muy en serio estos resultados y están preocupados por la posibilidad de que el vapor de agua pueda multiplicar el impacto del CO₂. Por supuesto, hasta que la tierra responda (o no responda) al aumento de CO₂ con un mensaje claro que nos permita dilucidar si la intuición de Lindzen es correcta o si los modelos de simulación climática están en lo cierto, el debate continuará su curso. Por espacio de los aproximadamente 20 años que habrán de transcurrir antes de obtener resultados concluyentes, sería prudente que comenzásemos de inmediato a reducir de manera drástica las emisiones de CO₂. Los registros climáticos del pasado, contenidos en el hielo y en los sedimentos del océano, nos envían el mensaje inequívoco de que el sistema climático de la Tierra es una bestia feroz. Estamos instigando a esa bestia. ¡Cuidado!