



OBSERVATORIO AMBIENTAL ARGENTINO



INFORME I

Agua dulce sobre agua salada

Sobre como el derretimiento de la capa de hielo y glaciares puede cambiar el clima a nivel global



AZARA

DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR

www.fundacionazara.org.ar

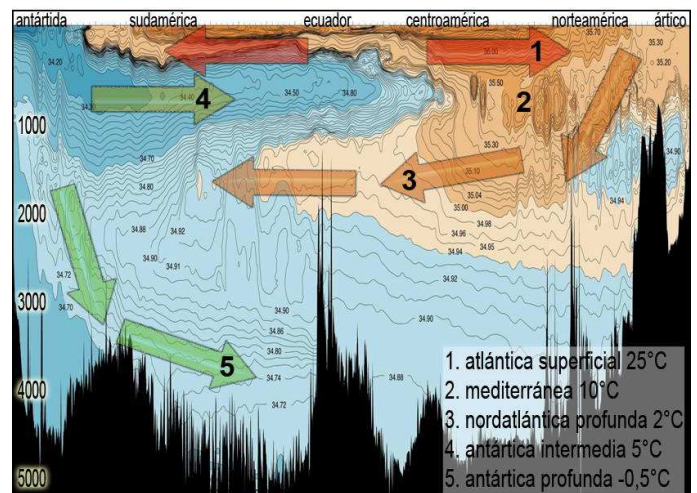
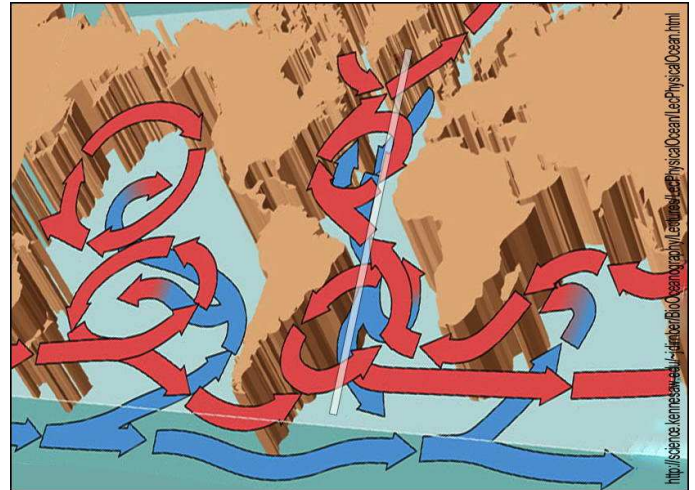


Agua dulce sobre agua salada

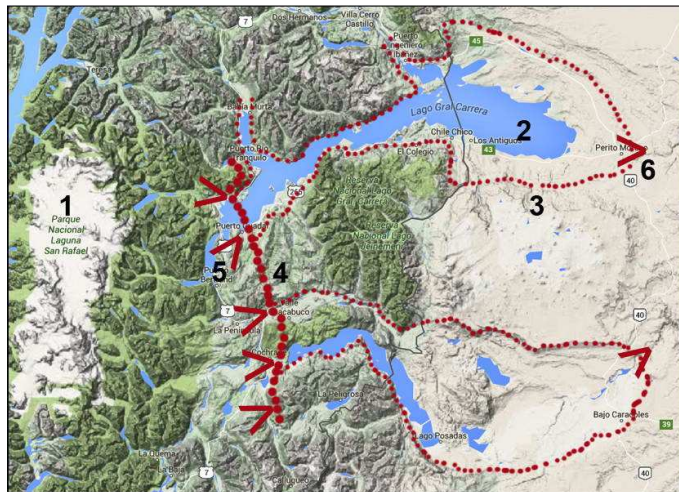
Sobre como el derretimiento de la capa de hielo y glaciares puede cambiar el clima a nivel global

Patagonia, 13.500 años atrás. En febrero de 2016, la revista Nature publicó un estudio realizado en la región del actual Lago Buenos Aires en Patagonia que abarca varios milenios (<http://www.nature.com/articles/srep21064>). Hace 13.500 años un enorme lago ocupaba una amplia zona de Patagonia. El lago se extendía sobre 7.400 km² y acumuló 1.500 km³ de agua dulce. En la actualidad este lago desagua hacia el Pacífico, pero en aquella época lo hacía en el Atlántico. Cuando el aumento de temperatura rompió el dique de contención glaciar en el límite oeste, el agua dulce derramada en forma violenta afectó la circulación del Océano Pacífico cercano. El agua fría y dulce desplazó al agua salada superficial del Pacífico, lo que provocó una temperatura más baja durante el invierno patagónico, afectando el clima hasta las Islas Malvinas. La formación de lagos andinos de similares características se pueden observar también en la región del Lago Lacar. Con los glaciares desarrollados, el Lago Lacar desaguaba hacia el Atlántico (al este de la ciudad de San Martín de los Andes y tal cual lo hace hoy día el Lago Lolog), en tanto hoy desagua hacia el oeste, en el Pacífico. El estudio del Lago Buenos Aires suma una evidencia histórica a las consecuencias que puede traer la pérdida de los hielos continentales y polares: aumento del nivel del mar, cambio en la salinidad de los océanos, reducción del pH (acidificación), cambios en la circulación de las corrientes oceánicas y modificación climática continental.

corriente oceánica (de oeste a este). La Antártida queda aislada por la corriente oceánica y de viento, lo que justifica que el hueco de ozono sea circular dentro de este aislamiento.



La corriente oceánica global es cerrada e involucra todos los océanos (arriba). Se mantiene en movimiento porque el agua superficial es cálida y muy salada (rojo), mientras que la corriente profunda es fría y menos salada (azul). La velocidad promedio de la corriente global es de 10 cm/seg. Un corte vertical del Océano Atlántico muestra una estructura compleja de capas (abajo) que se diferencian en salinidad y temperatura. La Corriente del Golfo se indica como (1).



El actual Campo de Glaciares Norte (1) se extendía hace 13.500 años hasta la línea de base (4). Los glaciares presionaban desde diferentes direcciones (5). Como resultado, los lagos actuales (2) ocupaban una zona mucho más extensa (3). El desagüe se producía hacia el Atlántico (6) por ríos que cruzaban la Patagonia. Hace 13.500 años la compuerta oeste de los lagos se rompió y se produjo un desagüe violento sobre el Pacífico que afectó la temperatura y circulación del océano, así como el clima de Patagonia hasta las Islas Malvinas.

La corriente oceánica global. La circulación de las corrientes oceánicas está determinada por: la estructura continental (tectónica de placas); la temperatura y salinidad (termohalina) y los vientos. Por ejemplo, hace 34 Ma (millones de años) se separó Sudamérica de la Península Antártica y desde ese momento una corriente cerrada circumpolar aisló a la Antártida del resto del planeta y da forma a una corriente global oceánica. A esto se suma la corriente de aire (*stream jet wind*) que ocurre a gran altura (más de 10 km), a muy alta velocidad (superior a 100 km/h) y en el mismo sentido que la

Otro ejemplo ocurrió hace 5 Ma cuando se generó el Istmo de Panamá, lo que aisló a los Océanos Pacífico y Atlántico. Antes, la corriente del Pacífico entraba en el Atlántico y la Corriente del Golfo (de sur a norte en el Atlántico Occidental) era más débil que la actual, pero lograba entrar en el Ártico manteniéndolo descongelado. En el Ártico la corriente circula desde el Pacífico al Atlántico a muy baja velocidad debido al congelamiento. El cierre del Istmo de Panamá afectó a la biodiversidad (migración cruzada de especies entre subcontinentes norte y sur de América) y las corrientes oceánicas. Así, la Corriente del Golfo aumentó en caudal, pero también en salinidad y se hunde antes de llegar al polo norte. Como resultado el Océano Ártico está congelado por el momento.

Los océanos absorben CO₂, calor y nutrientes. En 2016 se informó que el Atlántico Norte absorbe el 50% más de CO₂ en la última década comparado con la década anterior. El nivel de oxígeno se reduce y se generan zonas muertas de características similares a los océanos primitivos con vida unicelular anaeróbica (rica en algas). La causa es la mala gestión de la tierra (fertilizantes que se drenan al mar). Durante el Cretácico (145-65 Ma) gran parte de los antiguos océanos sufrieron de anoxia (falta de oxígeno), impidiendo la degradación total de la materia orgánica y formando depósitos de gas y petróleo. El grado de anoxia lo determinan las bacterias verdes que consumen azufre. En las profundidades del mar no llega la luz y no hay plantas fotosintéticas. Es un mundo hambriento de energía, donde las criaturas viven vidas solitarias en el vacío, la oscuridad y el misterio. El drama del Cretácico fue consecuencia de la estructura de continentes: donde se tenían cuencas pequeñas con el agua dulce de los ríos posicionada sobre el agua salada y densa.

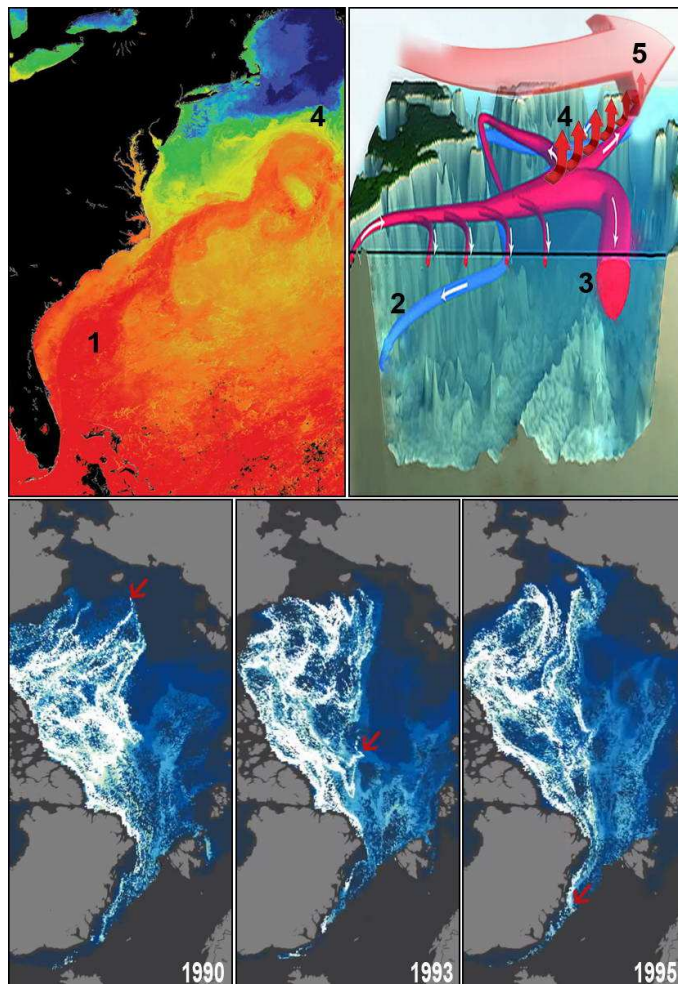
El Atlántico tiene corrientes complejas en su interior. En la superficie tiene un vórtice norte (horario) y otro sur (antihorario), siguiendo el efecto Coriolis. Si observamos un corte norte-sur tendremos capas a distinta profundidad y con temperatura y salinidad que disminuye con la profundidad. Las aguas cálidas superficiales llegan a 25 °C y las frías profundas a -0,5 °C, pero existen corrientes intermedias con distinta cotas de temperatura, profundidad y dirección.

El motor termohalino. La corriente oceánica tiene su principal motor en el Atlántico Norte y el combustible es la diferencia de temperatura y salinidad (corriente termohalina de la "cinta transportadora global"). El agua salada es más densa (más pesada) y el agua cálida ocupa más volumen (es menos densa). La corriente oceánica se calienta en su viaje desde el Pacífico, por el Índico hacia el Atlántico. La corriente superficial del Atlántico Norte es cálida y salada. Se la conoce como Corriente del Golfo (de México). Esta corriente se enfrenta al Ártico en el extremo norte, por lo que gira y se hunde. En esta región, el agua cálida se enfría mediante evaporación y el viento (de oeste a este) arrastra humedad y calor hacia Europa, ofreciéndole un clima templado frente a las mismas latitudes de América o Asia. Inglaterra tiene una temperatura entre 5-10 °C superior a la esperada por acción de estos vientos cálidos.

En tanto se extrae calor del océano, el agua se enfría (ocupa menor volumen y se vuelve más densa) y la extracción de humedad aumenta la salinidad (más densa aún). Más pesada (fría y salina) la corriente se hunde y retorna al ecuador. En el Ártico la formación de hielo proviene de lluvias originadas por evaporación que vuelve más salada el agua del océano.

Las masas de agua transportan energía (calor) y materia (sólidos, sustancias disueltas y gases). Además, las corrientes polares frías y profundas bombean oxígeno al fondo de los océanos y el choque de corrientes genera vórtices que favorecen el florecimiento de fitoplancton en los primeros metros cercanos a la superficie. En la Antártida se encuentra una importante corriente circumpolar fría y profunda. Una rama llamada corriente Antártica Intermedia, al chocar con la plataforma continental del Mar Argentino levanta nutrientes del fondo marino y los lleva a la superficie donde alimenta las explosiones de fitoplancton de diciembre. El incremento de CO₂ en la atmósfera, producto de la actividad antropogénica, es amortiguado por la absorción del océano en la capa superficial (hasta 1.000 m). El exceso de CO₂ se transforma en calor y descenso del pH (acidificación).

Aportes de sal y calor. El Atlántico tiene varios "afluentes": el deshielo de Groenlandia (agua dulce y fría); la corriente desde el Mar Mediterráneo (fría y salada), la corriente desde el Índico (cálida y salada); la corriente Antártica (fría y profunda) y las cuencas de ríos (p.e., Amazonas y Río de la Plata). Algunas de estos aportes son de especial interés.

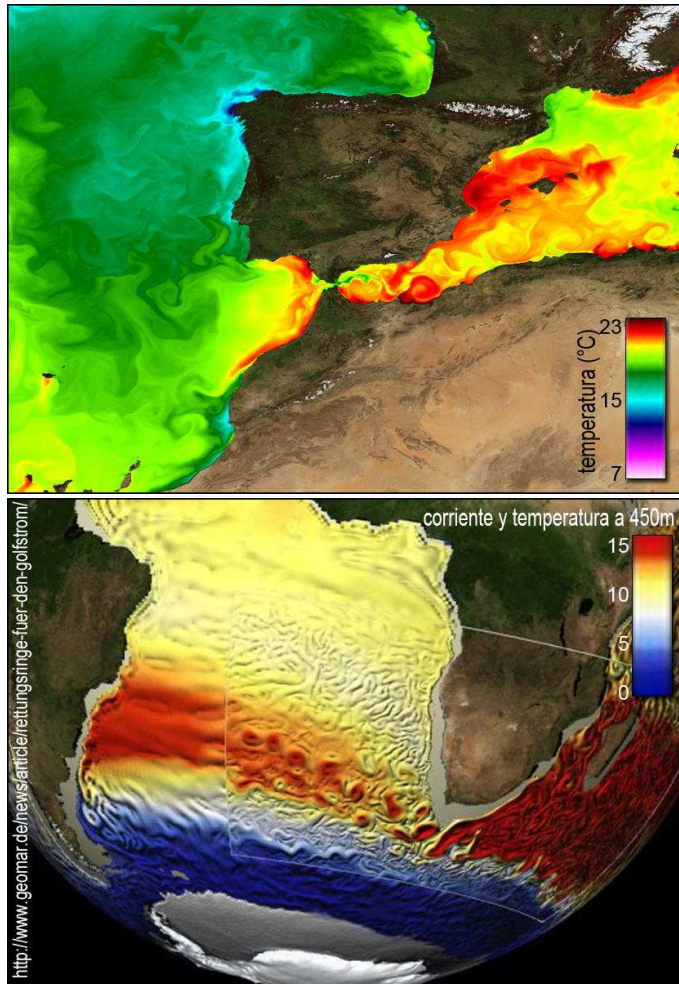


El motor de las corrientes oceánicas se encuentra en el Atlántico Norte (arriba). Se alimenta con el combustible termohalino. La Corriente del Golfo (1) es superficial (cálida y salada). Una parte retorna fría y profunda (2) y otra cálida y superficial (3). La corriente se enfría camino al Ártico por evaporación (4) y calienta los vientos que van a Europa (5). El agua más fría y salada se unda y regresa en la parte baja del Atlántico hacia el sur (2). En los últimos decenios, la acción antropogénica está modificando la temperatura y salinidad de los mares con lo que las corrientes globales pueden modificarse. En particular, el calentamiento global reduce la superficie helada del Ártico y acelera el movimiento (abajo).

(1) El Mar Mediterráneo. En el Estrecho de Gibraltar se intercambian corrientes el Mediterráneo y el Atlántico. En el Mediterráneo Oriental las condiciones cálidas y secas aumentan el contenido de sal en el agua superficial. En el invierno, las masas de agua fresca, se vuelven más densas y fluyen hacia el oeste en el fondo hasta que ingresan en el Atlántico y se suma al perfil de corrientes oceánicas (500-1000 m). La fuerza de la corriente depende de la intensidad del monzón africano que inyecta el agua en el Mediterráneo Oriental. Los modelos climáticos predicen condiciones más secas en el Mediterráneo Oriental con aumento del contenido de sal superficial e incremento de la corriente profunda. Como el agua del Atlántico es menos densa y salada, ingresa al Mediterráneo como una capa superficial (primeros 100 m y a 5 km/h). Así, el Mediterráneo importa calor del Atlántico y exporta sal. Las corrientes del Mediterráneo fluyen hacia el oeste por el Atlántico y alcanzan el continente americano, viajando hacia el sur para encontrarse con la corriente Antártica. El balance del Mediterráneo toma en cuenta la entrada neta de agua desde el Atlántico (1.900 km³/año; intercambio de 35.000); la evaporación (3.300); la precipitación (900) y el aporte de los ríos (500). Es una cuenca de concentración.

(2) La corriente de Agulhas arrastra agua cálida y salada desde el Índico al Atlántico girando por debajo de Sudáfrica. La Corriente de Agulhas y la Corriente del Golfo, son de las más fuertes en los océanos. Agulhas consiste en anillos de agua con cientos de kilómetros de diámetro, separados en

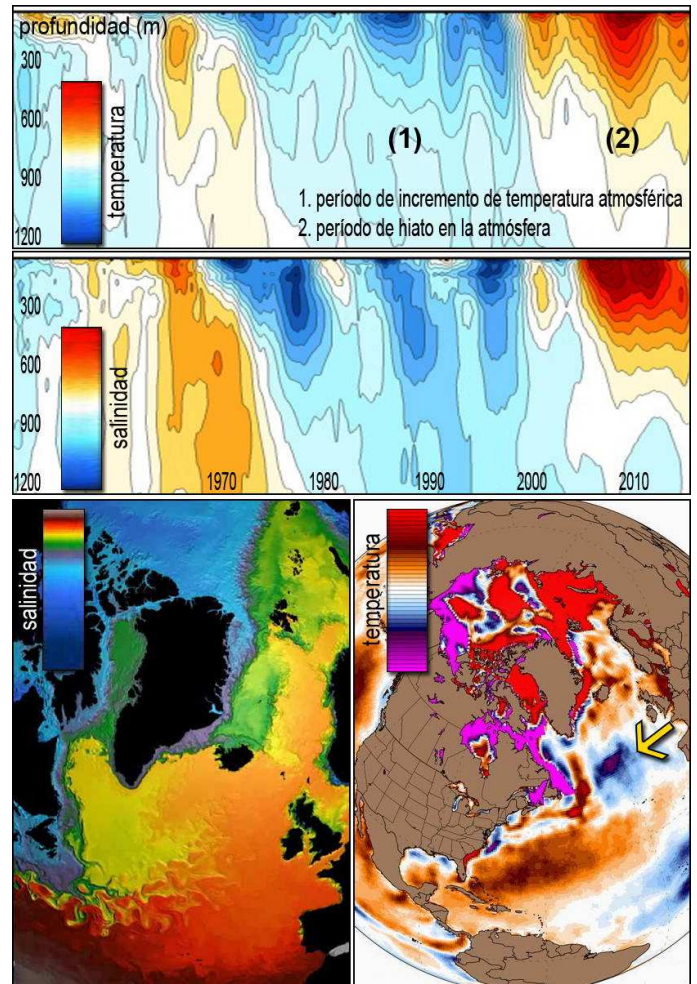
intervalos de 3-4 meses que se dirigen en dirección noroeste hacia América. El anillo de vientos que gira en torno a la Antártida (de oeste a este) limita el flujo de agua del Índico al Atlántico (desde este a oeste). Pero en las últimas décadas, estos vientos se desplazan hacia el sur por el calentamiento global, con lo que se amplía el pasillo de entrada de agua. Esta cantidad extra de agua salada es transportada hacia el norte y el oeste hacia Brasil y la Argentina. Por ejemplo, las lluvias extraordinarias de enero 2015 en el nordeste de la Argentina, se debieron a un aumento en la temperatura de la corriente cálida del Atlántico que produjeron un exceso de evaporación y nubosidad desde el norte.



Entre los aportes al Atlántico se encuentra la corriente fría, salada y profunda que proviene del Mediterráneo (arriba) y la cálida y salada desde el Índico (abajo).

(3) En la Antártida, la acumulación de agua dulce en la superficie del océano (por deshielo y lluvia) puede afectar al motor termohalino. El motor es una corriente fría profunda ("antártica de fondo") que se dirige al norte en el Atlántico y que empuja hacia arriba la corriente fría que proviene desde el Ártico ("atlántica profunda"). Esta corriente llega a la superficie y vuelve parcialmente al norte por la superficie. La corriente de fondo aporta oxígeno y nutrientes. Se denomina "polinias" a las zonas de agua líquida que está rodeada de hielo. Estas áreas perjudican a la generación de corrientes termohalinas en el borde de la Antártida. Una acumulación de agua superficial menos salada puede reducir la fuerza del motor termohalino.

El debilitamiento de la corriente. El cambio climático afecta de diferentes formas al motor del Atlántico Norte. La pérdida de hielos en Groenlandia y de la capa de hielo del Ártico produce un incremento de agua dulce en el extremo norte.



El Atlántico, desde el 2000, aumento la temperatura y salinidad en los primeros 500 m (arriba) con lo que ayudó a contener el aumento de la temperatura global de la atmósfera. El deshielo de Groenlandia incrementó el agua dulce y fría al sur del Ártico. De esta forma, la salinidad se reduce y la temperatura disminuye (abajo). La zona de subducción de la Corriente del Golfo en el subártico, tiene un aire más frío de lo esperado (flecha) y ayuda a debilitar el motor termohalino.

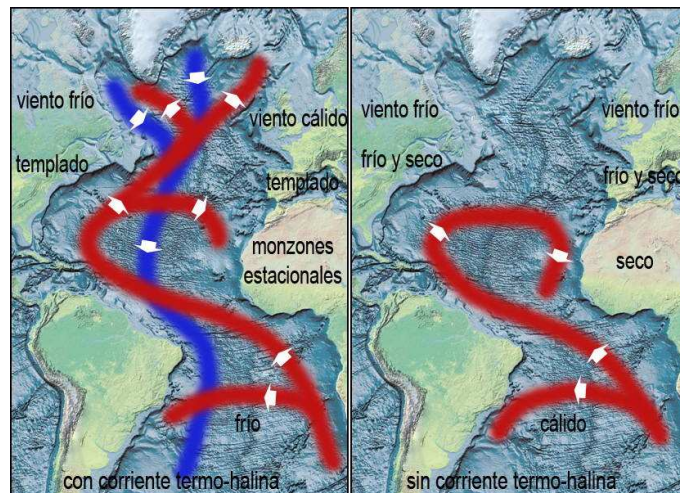
Con el propósito de estimar la fuerza del motor termohalino en la historia y su variación, se usaron los registros de temperatura superficial del mar en la zona de subducción con respecto a todo el hemisferio norte. La reconstrucción mediante un modelo partió desde el año 900 a la actualidad. Se observó una debilidad en aumento del flujo desde 1975, siendo la única observada, lo que no se atribuye a causas naturales sino al calentamiento global antropogénico. Una forma de visualizar este efecto es mediante los mapas de variación de temperatura global respecto de una base promedio. En forma recurrente, la zona de subducción (Atlántico Norte entre Groenlandia, Islandia y Noruega) es notablemente más fría. Por ejemplo, en el 2014 la temperatura global fue 1 °C más cálida que el promedio 1880-1920; pero en el Atlántico subpolar fue entre 1-2 °C más frío que la media. El registro del invierno boreal 2014-2015 fue el más cálido desde 1880, mientras Atlántico subpolar fue el más frío de todo el registro. La causa se atribuye al aporte de agua dulce (liviana y superficial) y fría proveniente del deshielo de Groenlandia y el Ártico. El debilitamiento del motor termohalino puede ser inestable y llegar a detenerse por completo una vez alcanzado un "punto de inflexión". El informe del IPCC estima una probabilidad baja (hasta 10%) de que esto suceda en este siglo, pero en nuevos reportes se estimó hasta el 40% con un calentamiento global de 4 °C y del 65% con 8 °C.

Crisis en el Atlántico. Con el conocimiento actual es casi imposible obtener un consenso científico sobre el futuro de la corriente termohalina, pero si la zona fría en el subártico se convierte en una característica permanente en los mapas de anomalías de temperatura, se trataría de una constatación de la hipótesis. Teniendo en cuenta el intercambio de calor entre el aire caliente y

la superficie anormalmente fría en esta zona del subártico, se espera un fortalecimiento de los vientos y disminución de la presión central de los sistemas ciclónicos. La perturbación se puede sentir no sólo en esa parte del mundo, sino que la alteración del flujo atmosférico y oceánico, puede tener consecuencias generales sobre el clima global. No está claro si la corriente se detendrá, pero el derretimiento de Groenlandia está llevando al sistema a su velocidad más lenta de los últimos 1000 años.

En este siglo, se espera una reducción significativa de la masa de hielo polar en el Ártico y quizás su pérdida total en verano. En Groenlandia la pérdida total de hielos puede demorar centenares de años. El incremento del flujo de agua dulce reducirá la salinidad y podría impedir que el agua fría se hunda. Afectará a la circulación oceánica, con un debilitamiento o quizás el colapso en la circulación termohalina. En el período 1992-2002 se midió una reducción en la velocidad de la corriente en el Atlántico Norte. De persistir tendría varias consecuencias: descenso de temperatura en Europa, con condiciones similares a la actual Rusia; en Norteamérica un clima más frío, seco y ventoso; en África el clima sería más seco y el Atlántico Sur más cálido. Eventos similares ya ocurrieron en otras oportunidades. Hace unos 8.000 años se produjo un caso de enfriamiento abrupto (entre 1 y 5 °C) con una duración de algunos siglos. Probablemente fue producto del drenaje de los glaciares del Ártico que afectó la corriente termohalina. En Groenlandia comenzó hace 8.200 años con una caída de temperatura de 3,3 °C en menos

de 20 años y el sistema se recuperó en 150 años. Durante 300 años el CO₂ se redujo en 25 ppm. En África Oriental siguieron 500 años de sequía general.



Si la Corriente del Golfo se debilita, el motor termohalino puede detenerse y producir efectos climáticos globales (derecha). Por ejemplo, Europa tendrá un clima más frío (similar a Siberia), África más seco y el Sudatlántico más cálido.