



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Trabajo Fin de Grado:

**La influencia de la circulación termohalina en el clima:
la Corriente del Golfo**

Autor:

José Antonio Pérez Fernández

Directores:

David Gallinar Cañedo

Mirella Ochoa Álvarez

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Curso académico 2023 / 2024

Convocatoria: Junio

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Área de estudio	3
1.2. Justificación y objetivos.....	4
2. ANTECEDENTES Y ESTADO DE CONOCIMIENTO	6
2.1. Origen y Características	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS DE TRABAJO	10
3.1. Búsqueda bibliográfica y recopilación y volcado de datos.....	10
3.2. Análisis, síntesis y redacción del informe	10
4. RESULTADOS	11
4.1. La importancia de la Corriente del Golfo	11
4.2. Patrones climáticos, economía y biodiversidad	13
5. DISCUSIÓN.....	30
6. CONCLUSIONES.....	31
7. REFERENCIAS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Circulación Termohalina del Atlántico Norte	3
Figura 2. Mapa de la Corriente del Golfo de 1769	7
Figura 3. Efecto Coriolis	8
Figura 4. Temperatura media en el mes de enero (1980-2021)	12
Figura 5. Áreas de hundimiento por aumento de densidad del agua al enfriarse	14
Figura 6. Temperatura del agua en el Atlántico Norte a 7 de abril de 2024	15
Figura 7. Temperatura del agua en el Pacífico Norte a 7 de abril de 2024	15
Figura 8. Fluctuaciones térmicas del hemisferio norte en los últimos 11.000 años	16
Figura 9. Estado de los continentes durante la última glaciación	17
Figura 10. Temperaturas Medias en Lisboa (Portugal) y Atlantic City (EE.UU.)	18
Figura 11. Temperaturas Medias en Nueva York (EE.UU.) y Vigo (España)	18
Figura 12. Temperaturas Medias en Edmonton (Canadá) y Londres (Reino Unido) ...	19
Figura 13. Temperaturas Medias en Kiruna (Suecia) y Norilsk (Rusia)	20
Figura 14. Temperatura de la superficie del Océano Atlántico (1981-2024)	22
Figura 15. Circulación del Océano Atlántico noroccidental y su diferencia de temperatura promedio (2009-2018)	24
Figura 16. Blue Bob sobre el Atlántico Norte en el período 2014-2018	28

Resumen

La circulación termohalina forma parte de un patrón esencial, que es la circulación oceánica global, causada por importantes diferencias de temperatura y salinidad en el agua. Primeramente, se forman grandes cantidades de agua fría en las regiones polares para más tarde hundirse en las profundidades del océano. Este proceso se conoce como convección profunda, y permite que el agua circule a gran profundidad sobre el océano. Las corrientes cálidas transportan agua desde el ecuador hacia los polos, donde se enfría y se hunde, completando el ciclo. Este sistema cíclico transporta calor desde el ecuador hacia los polos y frío desde los polos hacia el ecuador, teniendo un impacto significativo en el clima global, ya que controla el clima en numerosas partes del mundo. La Corriente del Golfo desempeña un papel crucial en la regulación del clima, la productividad biológica y la biodiversidad del Atlántico Norte, beneficiando tanto a los ecosistemas marinos como a las comunidades humanas que dependen de ellos. Sin embargo, el cambio climático podría alterar este proceso al provocar la fusión de los glaciares y aumentar el flujo de agua dulce hacia los océanos, lo que tendría efectos impredecibles sobre el clima a nivel global.

Palabras clave: Corriente del Golfo, cambio climático, regulación del clima, AMOC.

Abstract

Thermohaline circulation is part of an essential pattern, which is the global ocean circulation, caused by gigantic differences in temperature and salinity in the water. First, large amounts of cold-water form in the polar regions and later sink into the depths of the ocean. This process is known as deep convection, and it allows water to circulate deep over the ocean. Warm currents transport water from the equator to the poles, where it cools and sinks, completing the cycle. This cyclic system transports heat from the equator to the poles and cold from the poles to the equator, having a significant impact on global climate as it controls the climate in numerous parts of the world. In particular, one of them is the most important, which is the Gulf Stream, which plays a crucial role in regulating the climate, biological productivity and biodiversity of the North Atlantic, benefiting both marine ecosystems and the human communities that depend on it. However, climate change could alter this process by causing glaciers to melt and increasing the flow of freshwater into the oceans, which would have unpredictable effects on global climate.

Keywords: Gulf Stream, climate change, climate regulation, AMOC.

1. INTRODUCCIÓN

En oceanografía física, se denomina “thermohaline”, “circulación termohalina” o metafóricamente “cinta transportadora oceánica”, a una parte de la circulación oceánica que es determinada por los gradientes de densidad, producto del calor en la superficie y los flujos de agua dulce (Fernández, 2023). Así pues, es muy influyente por su significativa participación en el flujo neto de calor desde las regiones tropicales hacia las polares y su control sobre el clima terrestre. Por tanto, la circulación termohalina maneja, dirige y distribuye la potencia calórica entre las diferentes masas oceánicas y, en última instancia, también participa en la termorregulación climática de la Tierra (Fernández, 2023).

En la década de 1980, el oceanógrafo Wallace Broecker sugirió, por primera vez, el término “cinturón termohalino” (Fernández, 2023), a través del cual explica cómo la circulación en todo el océano funciona por diferencia de densidades, y cómo esto afecta al clima. El adjetivo “termohalino”, deriva de las palabras griegas *θερμος* [thermos] “caliente”, que hace referencia a la temperatura, y *άλος* [halos] “de la sal”, que se refiere al contenido de sal, factores que juntos determinan la densidad del agua marina.

El ciclo de la circulación termohalina en el Océano Atlántico, conocido como la Corriente del Golfo, consiste en un flujo de aguas cálidas y poco densas, que viajan hasta el Atlántico Norte desde el Caribe, perdiendo progresivamente calor en el trasiego, lo que atempera el clima de Europa occidental, para posteriormente enfriarse y hundirse en el Mar de Noruega y regresar al sur, formando la llamada Masa de Agua Profunda del Atlántico (Barreña, 2016; Fernández, 2023). De esta manera, desempeña un papel trascendental en el tiempo y en el clima de buena parte del Atlántico Norte, por lo que su debilitamiento podría tener implicaciones sustanciales (Barreña, 2016; Fernández, 2023), afectando a las condiciones meteorológicas, climáticas y costeras regionales, incluida la temperatura del aire en la superficie europea y las precipitaciones, el nivel del mar a lo largo del sureste de Estados Unidos y la actividad de huracanes en el Atlántico Norte (Barreña, 2016; Fernández, 2023).

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

La Corriente del Golfo (Figura 1) se origina en la superficie cálida del Golfo de México, donde las aguas someras son impulsadas hacia el noreste a lo largo del litoral levantino de América del Norte, pasando por las costas orientales de Estados Unidos, Terranova y el Atlántico Canadiense antes de dirigirse hacia el este.

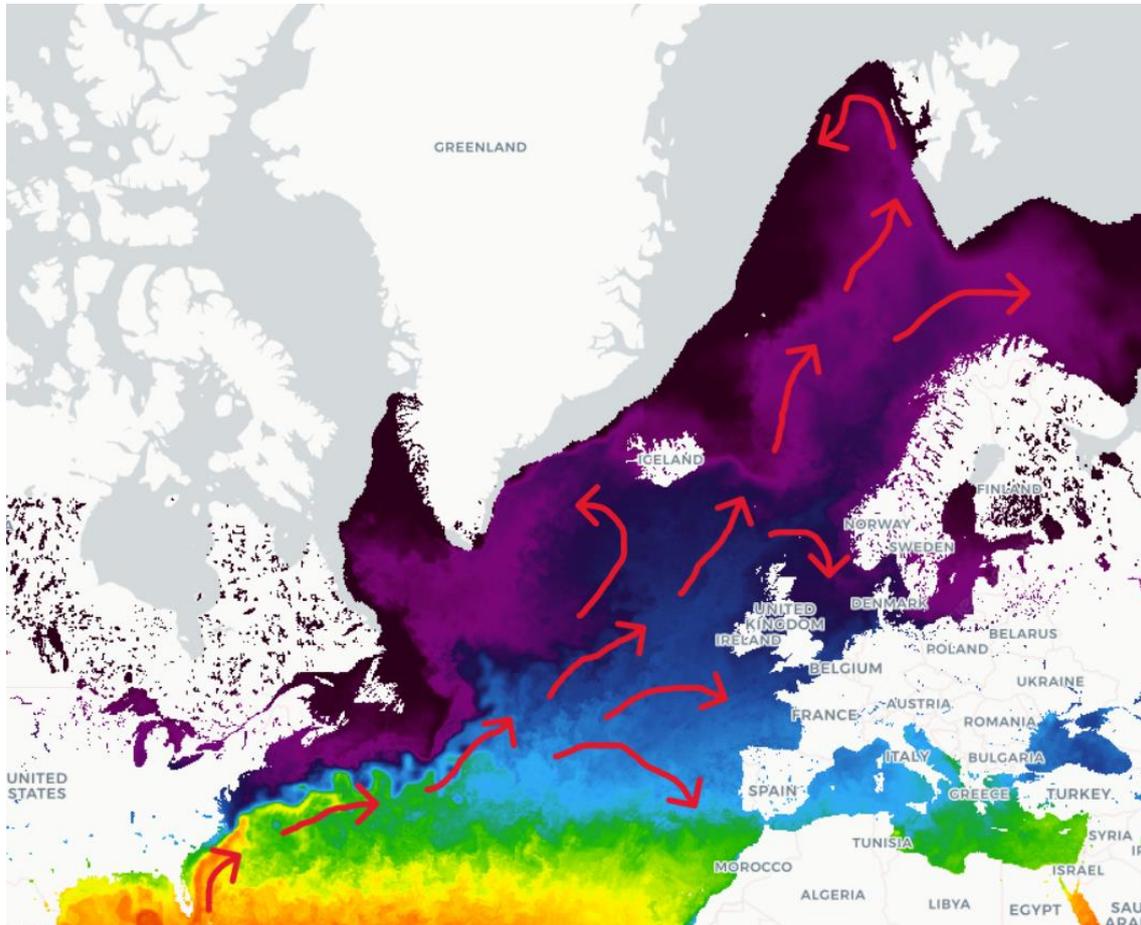


Figura 1. Circulación termohalina del Atlántico Norte. Fuente: tutiempo.net.

Nota. Muestra las aguas cálidas del Caribe desplazándose por el Atlántico Norte hacia el continente europeo, el color grisáceo representa la capa de hielo marino (11 de abril de 2024).

En el Atlántico Norte, la Corriente del Golfo se divide en varias ramificaciones o derivaciones, como la Corriente de las Islas Británicas, que transporta agua cálida hacia el noreste del Atlántico Norte (Thomson, 1871; Barreña, 2016). Otras ramificaciones son la Derivación de Noruega, que se separa de la Corriente del Golfo cerca de las Islas Feroe, fluyendo hacia el norte a lo largo de la costa atlántica de Noruega; y la Derivación del Atlántico Norte, que se mezcla con las corrientes oceánicas circumpolares, las cuales influyen en la circulación oceánica global y el transporte de calor hacia latitudes más elevadas. Por último, también existe la Derivación de Canarias, que arrastra una porción

de la Corriente del Golfo hacia el sur, en dirección a la costa noroeste de África (Thomson, 1871; Barreña, 2016).

1.2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La Corriente del Golfo es un componente crucial del sistema oceánico global y comprenderla es fundamental por cómo afecta al clima global, a los ecosistemas marinos, a la navegación, a las economías locales e incluso para evaluar y mitigar los efectos provocados por los riesgos naturales (Alcalá, 2023). Es, por tanto, vital abordar una amplia gama de desafíos ambientales, económicos y sociales que van desde el cambio climático hasta la propia gestión de los limitados recursos naturales.

En primer lugar, proporciona información valiosa sobre la dinámica oceánica y la interacción entre los océanos y la atmósfera. El conocimiento de la dinámica de esta corriente es intrínseco para comprender y prever variaciones en los patrones climáticos en un futuro cercano, en los que se incluyen fenómenos como el cambio climático y eventos meteorológicos extremos (Alcalá, 2023).

Por otro lado, comprender su ubicación y características para garantizar la eficiencia, tanto en la navegación recreativa/turística como en la comercial, y comprender los patrones de circulación para abordar desastres naturales, como derrames de petróleo, y así proteger a los ecosistemas marinos y mitigar en gran medida los impactos negativos que puedan sufrir las comunidades costeras.

Por último, comprender su comportamiento, dinámica y/o mecanismos, incluidos los factores físicos y climáticos que influyen en sus velocidad, flujo, dirección y temperatura a largo plazo con el establecimiento de sistemas de monitoreo continuo para rastrear posibles cambios, es crucial para evaluar una respuesta a dichas variaciones que garanticen la sostenibilidad de las industrias pesqueras y turísticas asociadas a ella, ya que los posibles impactos de una variabilidad climática provocarían una forzada adaptación de industrias, de las poblaciones y con ellos una adaptación inmediata de sus economías.

Así pues, el objetivo principal del presente trabajo consiste en realizar una revisión sistemática de toda la bibliografía y fuentes de datos existentes acerca de la circulación termohalina y específicamente de la Corriente del Golfo que permita poner en común los avances científicos registrados hasta la actualidad y contribuir al conocimiento existente,

proporcionando información útil para la toma de decisiones en materia de conservación y gestión ambiental.

Específicamente, en este Trabajo Fin de Grado (TFG) se plantean unos objetivos derivados del principal y que se enfocan en:

- 1) Transporte y distribución del calor y la salinidad.
- 2) Regulación del clima.
- 3) Interacción con la atmósfera.
- 4) Impacto en la biodiversidad marina.
- 5) Influencia en la formación de hielo marino.
- 6) Debilitamiento y/o colapso, y modificación en la distribución del calor.
- 7) Aumento del nivel del mar.
- 8) Riesgos para las comunidades costeras.
- 9) Impacto en la pesca y la seguridad alimentaria.
- 10) Impacto en la agricultura y la industria.
- 11) Migración y conflictos.

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DE CONOCIMIENTO

Desde las primeras expediciones oceanográficas del siglo XIX, y sobre todo a partir del siglo XX, con las mejoras tecnológicas, se sabe que la estructura de las corrientes marinas a escala global es tridimensional, con sucesivos movimientos horizontales en los que el viento juega un papel importante, unido a los movimientos verticales, en los cuáles la salinidad y las temperaturas son las fuerzas impulsoras ([Government U.S., 2024](#)).

Las corrientes superficiales, observadas y estudiadas desde hace siglos, están por lo tanto ligadas, por movimientos convectivos de agua, a corrientes profundas cuyas características son mucho menos conocidas pero cuyo estudio en los últimos años ha recibido un fuerte impulso debido a su importancia oceánica y climática ([Halliwell & Mooers, 1983](#)). De esta forma, las principales corrientes del Atlántico Norte forman circuitos de aguas cálidas y frías, cuyo principal giro (que bordea el anticiclón de las Azores), está compuesto por el trío de la Corriente del Golfo, la Corriente de Portugal y Canarias, y la deriva Norecuatorial, que lo cierra al llegar al Caribe ([Halliwell & Mooers, 1983](#)).

2.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS

La Corriente del Golfo fue descubierta en 1513 por Juan Ponce de León. Sin embargo, con anterioridad, los navegantes españoles habían experimentado, con asombro, la existencia de una fuerza superior a la de los vientos que era capaz de arrastrar las embarcaciones ([Sacristán, 2013](#)). Pedro Mártir de Anglería (1456 – 1526), en su monumental obra *De Orbe Novo Decades Octo*, más conocida como *Décadas del Nuevo Mundo*, recoge la experiencia de Bartolomé Colón en las costas de La Española, en 1497 ([García Bartual, 2024](#)):

El Adelantado (Bartolomé Colón) ordenó levar anclas, abrir velas y navegar a alta mar. Su asombro fue redoblado cuando ellos observaron que, sin remos ni el empleo de ninguna fuerza humana, el inmenso barco volaba sobre la superficie del agua. Fue un soplo de viento de tierra lo que favoreció esta maniobra, y lo que más asombró fue ver que el barco avanzaba moviéndose primero a la derecha y después a la izquierda, conforme a la voluntad del capitán.

Como es natural, un descubrimiento de este calibre fue guardado en absoluto secreto. Las primeras cartas marinas que describían el curso de la corriente y que memorizaban los navegantes españoles, fueron custodiadas con tanto celo que aún no se ha encontrado ninguna, aunque se sabe que existieron. Durante siglos, fue aspiración para holandeses, ingleses y franceses, pero nunca lo consiguieron. Hubo que esperar hasta 1665 para que se pudiera conocer, sin restricciones, el primer mapa en el que figuraba la Corriente del

Golfo perfectamente cartografiada (García Bartual, 2024), obra publicada por el jesuita Atanasio Kircher (1602 – 1680) en su obra *Mundus Subterraneus*. No obstante, como trató en mayor medida temas geológicos relacionados con la estructura interna de la Tierra, no llegó a despertar el interés de los navegantes (García Bartual, 2024).

Un siglo más tarde, Benjamin Franklin (1706 – 1790) elaboró, junto con el capitán ballenero Timothy Folger, un nuevo mapa (Figura 2) en el que se recopilaron los datos de los buques transatlánticos que llevaban el correo a Europa y en el que aparece representada la Corriente del Golfo. En ella, manifestaron la explicación de por qué las cartas y paquetes tardaban varias semanas más en llegar de Europa a América que en el sentido contrario (Sacristán, 2013). Con el paso del tiempo, este mapa fue olvidado y durante casi 200 años permaneció en paradero desconocido hasta que en 1980 el oceanógrafo Philip Richardson informó de que lo había localizado en la Biblioteca Nacional de París. Este hallazgo se publicó posteriormente en la revista *Science* (Richardson, 2013).



Figura 2. Mapa de la Corriente del Golfo de 1769. Fuente: Tiempo.com (Philip, 2013).

Nota. Elaborado por Benjamin Franklin y Tymothy Folger. este mapa fue proyectado como parte de las investigaciones científicas sobre los patrones de las corrientes oceánicas para comprender mejor los fenómenos meteorológicos y oceanográficos.

Sinc Richardson, catedrático emérito de la Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), una de las instituciones oceanográficas más prestigiosas del mundo, ha repasado en un artículo para su organización, los avances que han permitido conocer mejor la Corriente del Golfo a lo largo del siglo XX, así como a sus meandros y los anillos o remolinos (Figura 3) que se desenganchan del flujo principal (Wunsch, 2004; Richardson, 2013; Adrienne Silver, 2023).

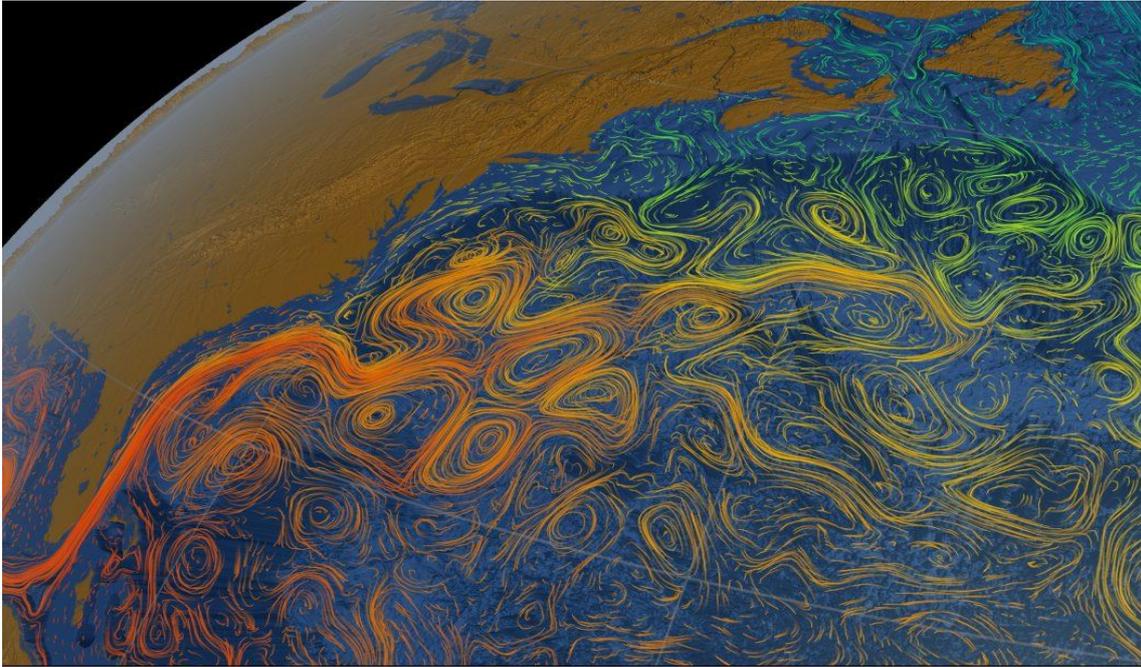


Figura 3. Efecto Coriolis. Fuente: eltiempo.com (NOAA, 2021).

Nota. El Efecto Coriolis sobre la Corriente del Golfo frente a la costa de Estados Unidos nos permite divisar cada uno de sus meandros y anillos presentes en la circulación oceánica.

Una figura clave fue Henry Stommel, que descubrió cómo la variación latitudinal del efecto de Coriolis permite que las corrientes oceánicas se intensifiquen hacia el oeste. Dicho investigador planteó también que dos fuerzas permitían el movimiento de la Corriente del Golfo; en primer lugar, el viento, que es el mismo que traslada las bajas y las altas presiones desde el oeste hasta la Península Ibérica y, por otra parte, la circulación termohalina, que opera como una gigantesca cinta transportadora bajo la superficie del océano. Las aguas cálidas y saladas del trópico circulan por la superficie hacia el norte, donde son más frías y dulces, y allí se hunden y vuelven por el fondo para así finalmente cerrar el ciclo (Wunsch, 2004; Richardson, 2013; Adrienne Silver, 2023). Por otra parte, matiza sus principales características, que son; temperatura, velocidad y caudal, ancho y profundidad, influencia climática, e interacción con otras corrientes (Richardson, 2013; Adrienne Silver, 2023).

En cuanto a la temperatura, al ser una corriente cálida que fluye hacia latitudes polares, influye de manera muy significativa en las regiones que atraviesa, afectando a sus patrones climáticos, navegación, economía y biodiversidad marina. Es una corriente rápida y de gran caudal que porta una gran cantidad de agua desde el Golfo de México hacia el noreste del Océano Atlántico (Halliwell & Mooers, 1983; León, 2013; Gonçalves Neto *et al.*, 2021). Su velocidad media es de ~2 metros por segundo (m/s) o 5 km/día, siendo mayor cuando llega a las costas de Europa, que es de ~8 km/día. En cuanto al

caudal, cabe mencionar que frente a las costas de Irlanda la corriente oceánica transporta ~150 millones de m³/s, dividiéndose en corrientes menores que tienen caudales de entre 10 y 20 millones de m³/s. Por lo tanto, el caudal de la Corriente del Golfo, en comparación con la suma de todos los ríos que desembocan en el Atlántico, equivaldría entre el 15,7 % y el 31,5 %, ya que el total de dichos ríos suma 0,6*10⁶ m³/s, es decir, 63,6 millones de m³/s (Mooers, 1983; Halliwell & Mooers, 1983; León, 2013; Gonçalves Neto *et al.*, 2021).

Su anchura supera los 1000 km en gran parte de su recorrido, sobre todo en su segundo tramo, es decir, el transecto que comprende desde las costas de Terranova hasta Europa. Durante su travesía hacia aguas más profundas, ese calor se va disipando, aumentando así su área de influencia, pero desde el Golfo de México hasta las proximidades de las costas del Estado de Nueva York, las anchuras medias varían entre los 80 y los 450 km (León, 2013; Muller-Karger, 2015; Gonçalves Neto *et al.*, 2021). La Corriente del Golfo ejerce una influencia significativa en las regiones que atraviesa, particularmente en Europa occidental, donde contribuye a moderar las temperaturas, afectando a los patrones climáticos locales. Finalmente, se entrelaza y se mezcla con otras corrientes oceánicas a lo largo de su trayecto, como la Corriente del Labrador, la Corriente de Canarias, la Corriente del Golfo Norte y la Corriente del Atlántico Norte, en el que ésta última, junto con la Corriente del Golfo, dan lugar al clima de Europa Occidental, afectando así la circulación oceánica global (León, 2013).

Por último, cabe destacar la importancia de los transectos de la Corriente del Golfo, que se definen como líneas de muestreo que se establecen a lo largo de esta corriente oceánica para la elaboración de diversos estudios en los que se incluyen su estructura, dinámica o los efectos en los ecosistemas marinos (Gonçalves Neto *et al.*, 2021). La mayoría de estos tramos involucrarían la colocación de boyas equipadas con sensores para medir parámetros como temperatura, salinidad y la velocidad del agua en diferentes profundidades a lo largo de dicho recorrido (Gonçalves Neto *et al.*, 2021). En cuanto a su estructura, ésta se refiere a su composición física y química, como la temperatura, salinidad y velocidad del agua en diferentes profundidades y ubicaciones a lo largo de su flujo (Gonçalves Neto *et al.*, 2021).

3. MATERIALES Y MÉTODOS DE TRABAJO

Para la elaboración del presente TFG se ha establecido una metodología en la que se combinan diversas fuentes de información, como bases de datos primarias y publicaciones científicas.

3.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA Y RECOPIACIÓN Y VOLCADO DE DATOS

La primera fase consistió en una revisión sistemática y exhaustiva de la información disponible sobre la Corriente del Golfo. Ello ha implicado la consulta en buscadores digitales de artículos científicos, libros e informes técnicos, como Google Académico, Dialnet y ResearchGate, los cuales permitieron la recopilación detallada del contexto histórico y de las investigaciones y teorías previas realizadas por personal académico especializado. Además, las instituciones gubernamentales fueron una fuente útil de información, ya que almacenan mapas antiguos, documentos de navegación y registros meteorológicos que brindan datos de alto impacto y un enfoque integral, permitiendo así obtener una visión completa y actualizada del estado de conocimiento sobre la Corriente del Golfo.

Al combinar datos de múltiples fuentes y períodos de tiempo, se pudo obtener una comprensión íntegra y holística de la Corriente del Golfo y de su impacto en los sistemas climáticos y ecológicos globales, lo que ha permitido identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo. Finalmente se han utilizado herramientas informáticas, como Microsoft Excel, en las que se han tratado los datos recopilados para la elaboración de gráficos y tablas. Los datos recopilados son climáticos y satelitales en su totalidad.

3.2. ANÁLISIS, SÍNTESIS Y REDACCIÓN DEL INFORME

Una vez compilados los trabajos científicos y los datos, y después de su comprobación, análisis y tratamiento, se procedió a la redacción del TFG utilizando el formato APA de 7ª edición, en el que se ha incluido los siguientes apartados: 1) título descriptivo del contenido del trabajo e índices; 2) resumen y abstract con palabras clave en el que se plasmaron los resultados más destacados; 3) introducción donde se trata el contexto y los objetivos; 4) antecedentes y estado de conocimiento en el que se estableció el marco histórico; 5) necesidades que justifican el estudio actual; 6) resultados y discusión basados en las susodichas fuentes de información; 7) conclusiones que se centran en los aspectos clave del TFG; y 8) referencias de todos los trabajos utilizados y citados a lo largo del texto.

4. RESULTADOS

Se han dividido los resultados del presente TFG en dos grandes bloques: 1) la importancia de la Corriente del Golfo en la circulación termohalina, y 2) patrones climáticos, biodiversidad e influencia en la economía de la Corriente del Golfo.

4.1. LA IMPORTANCIA DE LA CORRIENTE DEL GOLFO

La Corriente del Golfo determina el clima, afecta a los ecosistemas e influye en las actividades humanas de todo el Atlántico Norte, conformando uno de los sistemas circulatorios más importantes de la Tierra, sin el cual cambiarían sensiblemente las condiciones ambientales y de habitabilidad de numerosas regiones (Palter, 2015).

Este flujo oceánico se constituye como un componente esencial del sistema climático global, transportando calor desde las regiones tropicales hacia territorios septentrionales, influyendo significativamente en los espacios por los que fluye (Palter, 2015). Así pues, en la costa oriental de Estados Unidos, y en especial en el litoral noratlántico europeo, presenta un efecto moderador que ayuda templar las temperaturas, suavizando el clima más de lo que se esperaría para estas latitudes (Figura 4). No obstante, las corrientes marinas no son la razón principal por la cual el transporte de calor atempera el clima, ya que los vientos predominantes en ambas costas hacen que el Atlántico Norte sea mucho más cálido que el Pacífico Norte en latitudes idénticas. Esto tiene un impacto positivo en la agricultura y el bienestar general de los grupos poblacionales que viven en dichos territorios, a pesar de que también pueda provocar sucesos catastróficos en forma de riesgos naturales tales como huracanes, los cuales aumentan la vulnerabilidad de las comunidades costeras, sobre todo en el litoral norteamericano (Rahmstorf, 2003).

Para los ecosistemas marinos, la Corriente del Golfo actúa como una cinta transportadora de nutrientes, organismos marinos y calor a lo largo de su recorrido. Este flujo constante de sustento orgánico es esencial para la productividad biológica del Atlántico Norte, favoreciendo la floración del fitoplancton como base de la cadena alimentaria marina, que a su vez alimenta a una gran diversidad de especies, desde pequeños animales vertebrados, como los peces; invertebrados, como los cefalópodos, hasta mamíferos acuáticos de gran tamaño, como los cetáceos (Alcalá, 2023). Además, la dinámica de la corriente influye en la distribución y migración de muchas especies marinas, afectando directamente a las pesquerías y biodiversidad marina en general (Alcalá, 2023).

La influencia de la Corriente del Golfo en el clima y el ecosistema marino tiene notables repercusiones económicas en las regiones costeras euroamericanas, ya que el turismo, la pesca y la agricultura dependen, en gran medida, de un clima estable y unos recursos marinos saludables (Mills, 2013). Además, esta corriente oceánica constituye una ruta vital para el transporte marítimo internacional, facilitando el comercio entre Norteamérica, Europa y otras regiones del mundo. Cualquier cambio en la fuerza y/o la trayectoria del flujo podría tener efectos económicos importantes para dichas industrias y por ello, poner en riesgo sus sistemas socioeconómicos (Mills, 2013).

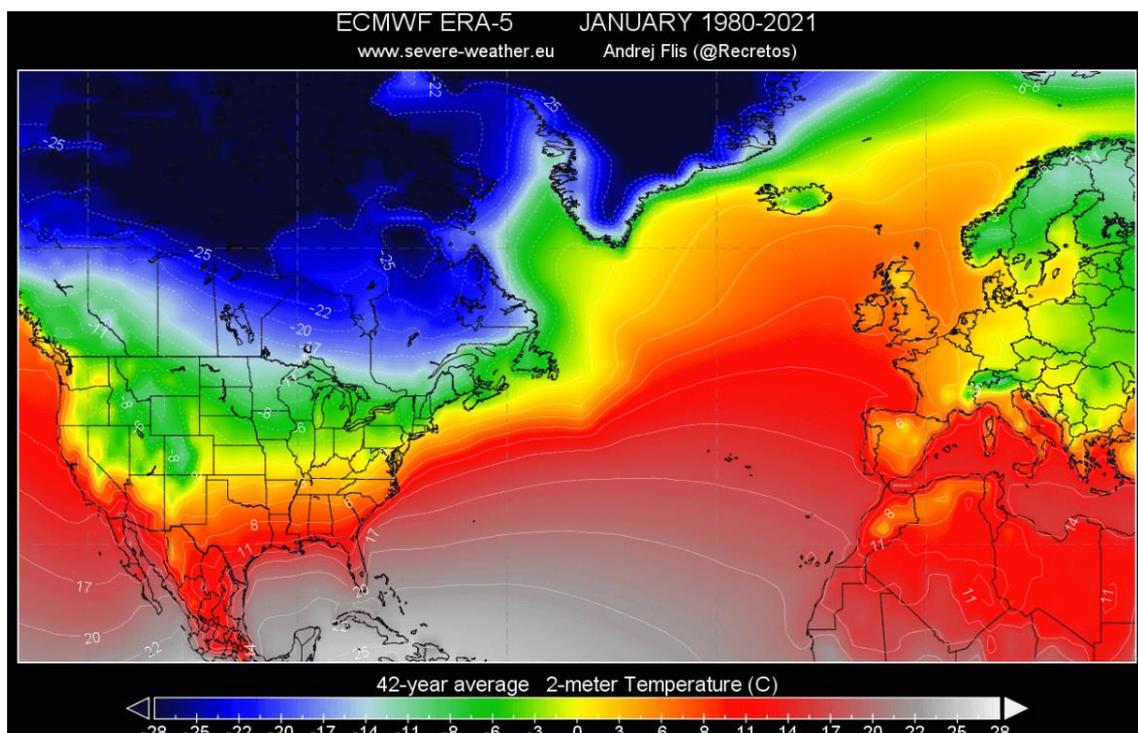


Figura 4. Temperatura media en el mes de enero (1980-2021). Fuente: Andrej (2022) SevereWeather.

Nota. Se perciben las diferencias térmicas entre ambas costas del Atlántico norte.

En lo que respecta al cambio climático, aún quedan muchas incógnitas por resolver, pero como ya se ha mencionado, la Corriente del Golfo y su comportamiento son trascendentales para comprender el clima y su posible deriva futura, de la cual dependen los ambientes marinos y las economías occidentales localmente y mundial en general. En este sentido, el cambio climático representa una amenaza potencial para la estabilidad de la Corriente del Golfo y sus efectos climáticos y ecológicos serían devastadores (Schmitz & McCartney, 1993; Miguel, 2023). Debido a la fusión de los glaciares y el deshielo del Ártico, el Atlántico Norte recibe millones de toneladas de agua dulce al año, lo que está afectando directamente a los niveles de salinidad oceánicos, que son fundamentales para mantener la fuerza y la dirección de las corrientes oceánicas. Como resultado, La

Corriente del Golfo podría debilitarse, y si el fenómeno se prolongase en el tiempo y el flujo se detuviese, sus consecuencias desestabilizarían los sistemas ambientales planetarios (Rahmstrof, 2003).

4.2. PATRONES CLIMÁTICOS, ECONOMÍA Y BIODIVERSIDAD

Al analizar la Corriente del Golfo, es conveniente observar más allá del Atlántico Norte, ya que, si se añade a su sistema el caudal aportado por la Corriente del Norte de Brasil, se percibe que el transporte neto superficial desde el Atlántico Sur al Norte, como circuito superficial cerrado, es insuficiente (Darwin, 1886). Por otro lado, la Corriente del Norte de Brasil, alimentada por la Corriente Surecuatorial, es un flujo cálido que afecta localmente al clima e influye en los patrones climáticos a escala mundial, en la que los anillos de giro anticiclónico que se forman en ella y que cruzan el Ecuador frente al nordeste brasileño, aportan un considerable caudal neto al Atlántico Norte, de ~15 sverdrup (Sv) (Cylch, 2006).¹ Estas mediciones varían dependiendo de la estación del año, ya que algunas descienden hasta 9 Sv, en marzo, o aumentan hasta 36 Sv, en julio. Este flujo, desde el hemisferio sur al norte, se junta con uno tropical difuso de otros 15 Sv que llega al Caribe proveniente del este y el nordeste, alimentado en parte por la Corriente de Canarias. Por lo tanto, el caudal total de la Corriente del Golfo, que se inicia al norte de Cuba, suma ~30 Sv (Cylch, 2006). Esta agua excedentaria, procedente del Atlántico Sur, es trasladada por la Corriente del Golfo hacia el nordeste, y al alcanzar el extremo más septentrional del Atlántico, aumenta su densidad por enfriamiento y se hunde (Cylch, 2006). Desde allí, de forma continua y por niveles profundos e intermedios, vuelve hacia el hemisferio sur, formándose de esta manera un flujo neto positivo hacia el norte en superficie y con un flujo neto positivo hacia el sur en las profundidades. Su propulsor, que se localiza en los mares nórdicos y subpolares europeos y el Mar de Labrador (Cylch, 2006; Huang, 2020; León, 2024), al norte del paralelo que atraviesa Noruega, Islandia y Groenlandia, es de igual modo una zona de hundimiento. Por eso, la salinidad y la temperatura del agua tienen un papel crucial en el funcionamiento de la Corriente del Golfo. Cuando este flujo llega a los mares nórdicos (Figura 5), su temperatura media es de ~10 °C a 50 °N, pasando a ~3 °C a 65 °N. Por enfriamiento y contracción térmica, adquieren alta densidad y acaban hundiéndose, dejando espacio para la llegada desde el sur de nuevas masas de agua (Cylch, 2006).

¹ Un sverdrup equivale a 1 000 000 hm³.

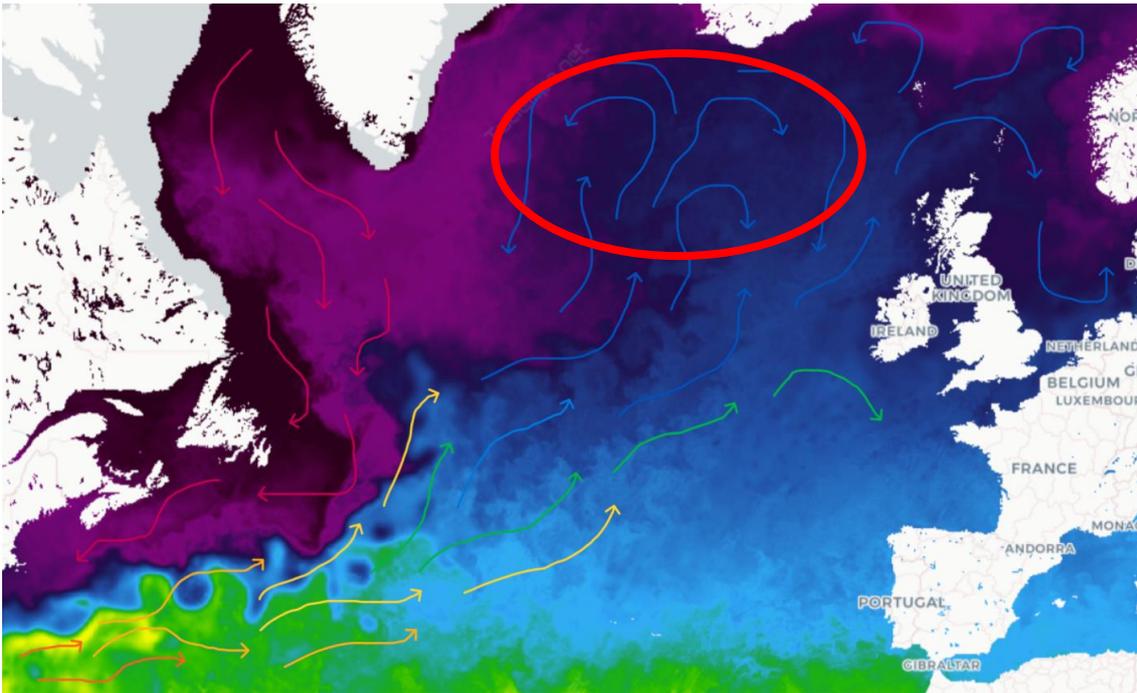


Figura 5. Áreas de hundimiento por aumento de densidad del agua al enfriarse. Fuente: tutiempo.net.

Nota. El hundimiento se produce en los mares más septentrionales como los mares nórdicos y también en el Mar de Labrador.

Este fenómeno de hundimiento por convección en los mares más septentrionales se intensifica al comienzo de cada otoño-invierno por el aumento de la salinidad durante la formación de la banquisa ártica, bajo la cual se forma una salmuera que se hunde, contribuyendo a la formación del agua profunda del Atlántico Norte (Cylch, 2006; León, 2024). Dicho acontecimiento es bastante más notable en el Atlántico Norte (Figura 6) que en el Pacífico Norte (Figura 7), debido a sus aguas más cálidas y con mayor porcentaje de sal. Así, en la franja latitudinal 45 °N – 60 °N, el Atlántico Norte tiene una temperatura media superficial de 10 °C y un porcentaje de salinidad en torno al 34,9 %, en cambio, en el Pacífico Norte la temperatura es de 6,7 °C y su salinidad del 32,8 % (Cylch, 2006; Grodsky, *et al.*, 2017; León, 2024). La alta salinidad del Atlántico se debe a que el volumen de agua evaporada supera ampliamente al del agua de las precipitaciones y los aportes fluviales. Por el contrario, en el Pacífico, los sistemas montañosos del oeste americano provocan precipitaciones abundantes al actuar como una barrera que evita que la humedad cruce al continente, es decir, que en este océano el vapor de agua transportado por los vientos del oeste da lugar a copiosas lluvias costeras en Norteamérica, retornando el agua al mar. En cambio, en Europa no existen barreras topográficas similares y gran parte de la humedad atlántica arrastrada por los vientos cruza el continente hacia Asia, sin poder ser recuperada por el Atlántico (Cylch, 2006; León, 2024). Otro motivo que ocasiona una mayor salinidad del Atlántico Norte es que el agua evaporada en la región

anticiclónica subtropical, que se extiende de las Bermudas a las Azores, es traspasada en gran medida al Pacífico y arrastrada por los vientos alisios tropicales que atraviesan el istmo de Panamá (Caba, 2024). Por ello, la evaporación en el Atlántico y el trasvase atmosférico del vapor hacia el Pacífico hace que se incremente la salinidad de las aguas tropicales atlánticas (Caba, 2024).

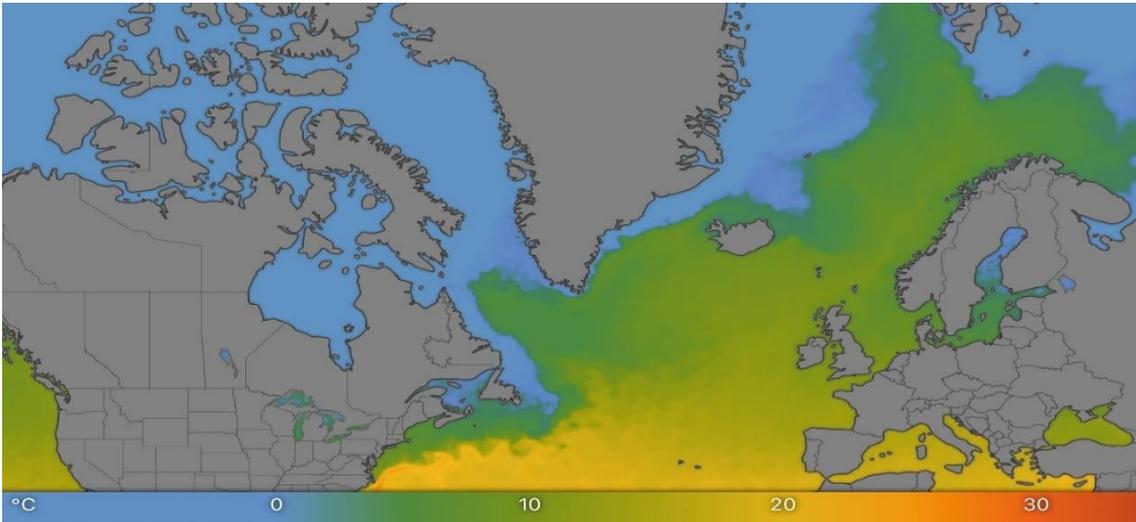


Figura 6. Temperatura del agua en el Atlántico Norte (7 de abril de 2024). Fuente: Windy.com.

Nota. Se percibe el transporte de calor de la Corriente del Golfo hacia los mares más septentrionales.

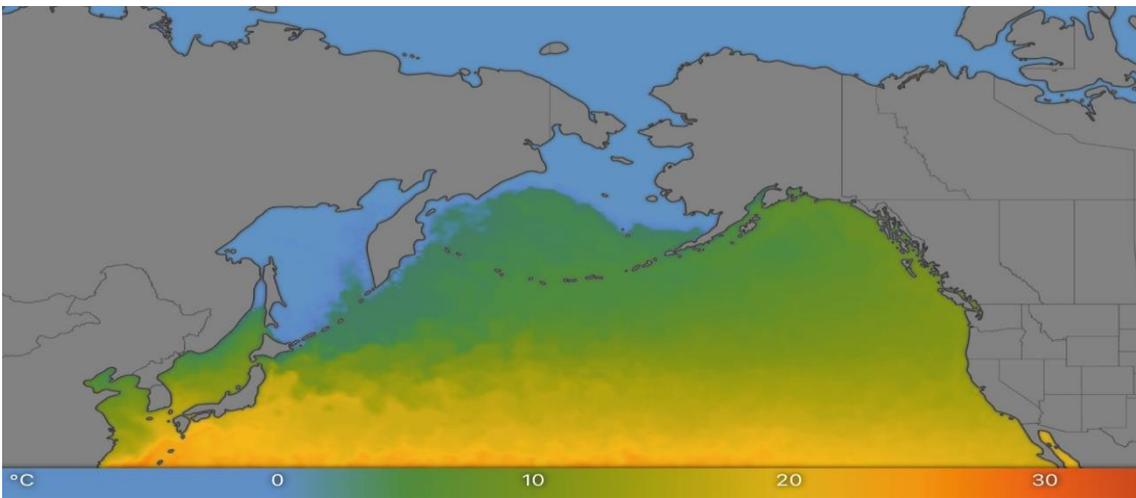


Figura 7. Temperatura del agua en el Pacífico Norte (7 de abril de 2024). Fuente: Windy.com.

Nota. Se percibe la marcada diferencia de temperatura con respecto al Atlántico Norte, teniendo este una temperatura inferior.

Las corrientes marinas juegan un papel fundamental en la distribución latitudinal del calor, y en especial la Corriente del Golfo. Gran parte del calor excedentario que reciben los trópicos (radiación solar entrante menos radiación infrarroja saliente) es transportado hacia otras latitudes deficitarias de luz solar (Mohn, 1872; Hay, 2023). Gracias a dicha corriente marina, el aire seco y frío que parte de Norteamérica impulsado por los vientos

del oeste se carga de humedad y calor en su travesía por el Atlántico Norte, llegando a Europa más templado y húmedo.

Actualmente, se piensa que la Corriente del Golfo ha debido tener gran impacto en muchos de los sucesos climáticos que ha experimentado el planeta durante los últimos milenios. En los eventos del Último Máximo Glaciar (UMG), la cinta transportadora de calor se ralentizó, o incluso pudo haberse detenido, como consecuencia de una intensidad inferior del hundimiento de aguas profundas (Mohn, 1872; Hay, 2023). Durante el UMG, la extensión máxima del hielo no fue la misma en Norteamérica que en Europa, siendo en esta última inferior. La mayor o menor extensión de las capas de hielo pudo deberse a diversos factores, como la topografía, en la que la presencia de grandes extensiones de tierra relativamente llanas, como las Grandes Llanuras, facilitó la expansión de los glaciares desde Quebec, mientras que en Europa la presencia de cadenas montañosas importantes, como los Alpes, supuso un epicentro meridional desde el que los glaciares fluyeron.

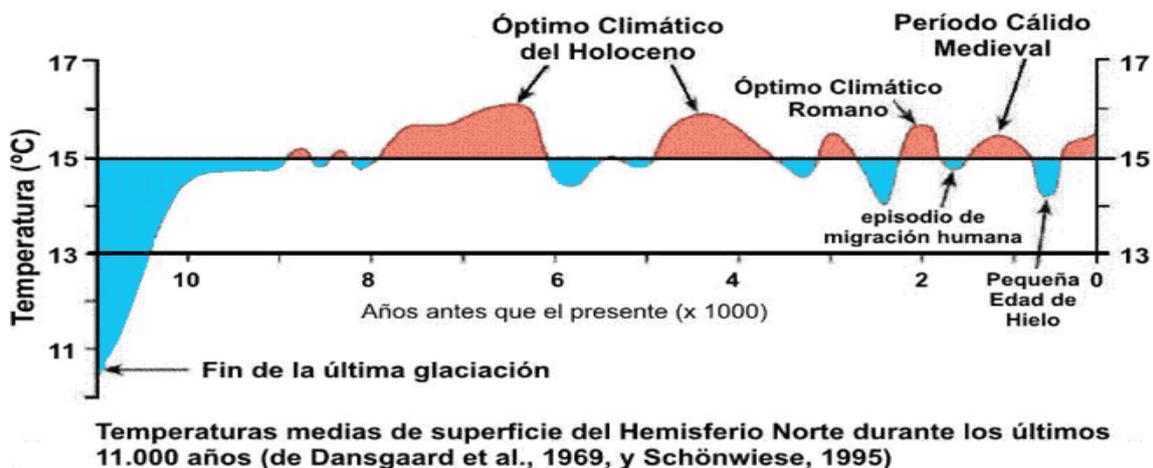


Figura 8. Fluctuaciones térmicas del hemisferio norte durante los últimos 11 000 años. Fuente: Sotillo (2018).

Nota Representación Gráfica del último período glacial y de las fluctuaciones de temperatura ocurridas durante el período interglaciar en el que nos encontramos.

Por otro lado, los patrones de circulación atmosférica y oceánica eran proporcionalmente distintos a los actuales, en la que la influencia constante de los vientos fríos y húmedos procedentes del Océano Ártico y la presencia de los Grandes Lagos, proporcionaron condiciones óptimas para la formación y expansión de los glaciares (Hobbs, 1942; Hay, 2023). En Europa, por el contrario, la Corriente del Golfo atemperó las condiciones climáticas en las regiones costeras del noroeste evitando una expansión glacial tan extensa como en Norteamérica (Figura 9) (Hobbs, 1942; Hay, 2023).

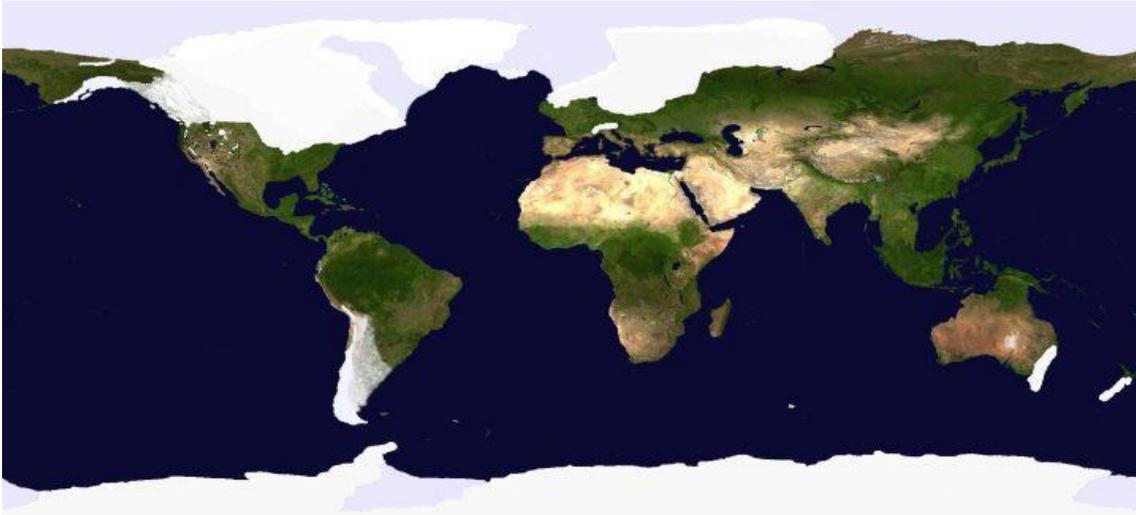


Figura 9. Estado de los continentes durante la última glaciación. Fuente: [publico.es](#).

Nota. Se observa como en el hemisferio norte las capas de hielo cubrían Norteamérica y Europa en menor medida, y al igual que en la actualidad la Corriente del Golfo favoreció un clima más templado en las costas orientales del Atlántico Norte.

La generación de aguas profundas es una de las grandes claves del sistema climático global, y en especial la producida en el Atlántico Norte, donde existen dos zonas: el Mar de Noruega y el Mar de Labrador. A partir del volumen de agua que se hunde en ambas zonas se genera una corriente marina profunda, la Corriente Noratlántica Profunda (NADW), que vuelve hacia el sur a una profundidad variable de 1000 – 4000 metros y una temperatura media de 2 – 4 °C ([Hay, 2023](#); [Hernández, 2023](#)). Esta corriente atraviesa el Océano Atlántico, se curva en dirección a África hacia el Océano Índico y prosigue hasta alcanzar el Pacífico en un trayecto que se estima que se completa en ~2000 años. Este recorrido, que enlaza los tres océanos, constituye lo que se conoce como la “cinta transportadora de calor”. No obstante, esta corriente no culmina en el Pacífico; debido a la pérdida de calor que experimenta el Atlántico, las corrientes superficiales del Índico y el Pacífico se desplazan hacia él, nutriendo la Corriente del Golfo y cerrando así el ciclo ([Hernández, 2023](#)). Y es que, si la diferencia de temperatura entre las áreas tropicales y las polares disminuye, o si la salinidad de las aguas que llegan al Atlántico Norte es menor, la intensidad con la que actúa la cinta transportadora será menor y en consecuencia el trasvase de calor también ([Hernández, 2023](#)).

Esta corriente permite comprender las diferencias climáticas a un lado y otro del Océano Atlántico a partir de la comparación de datos climáticos entre enclaves situados en latitudes similares, como:

1. Lisboa (38 °N, Portugal) y Atlantic City (39 °N, Estados Unidos) (Figura 10)

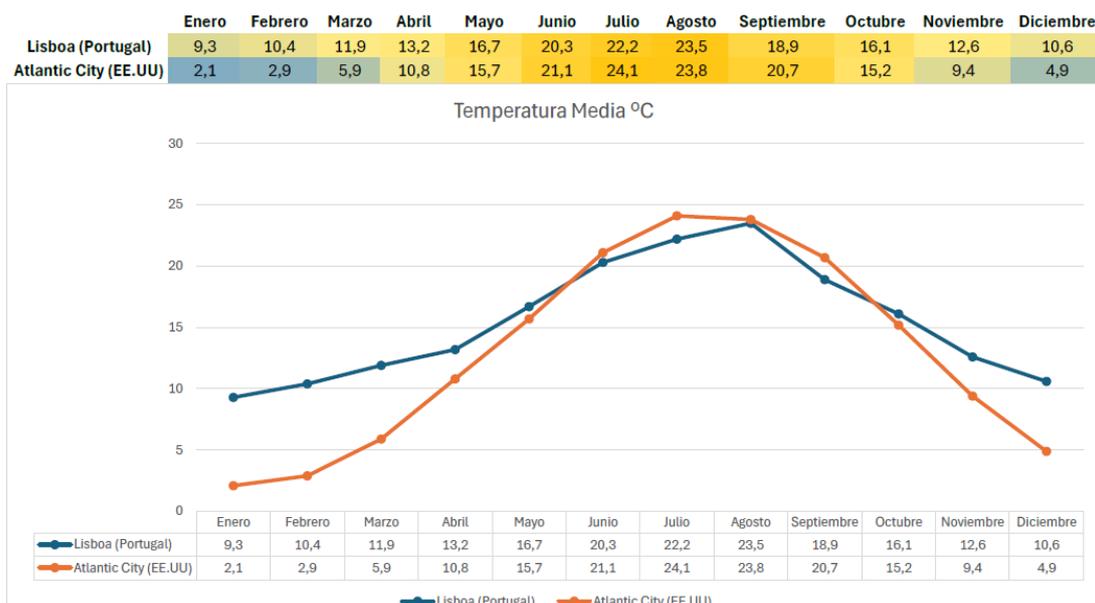


Figura 10. Temperaturas Medias en Lisboa (Portugal) y Atlantic City (EE.UU.). Elaboración propia.

Lisboa, emplazada en la costa oeste de Portugal, cuenta con un clima mediterráneo, con inviernos suaves y húmedos y veranos cálidos y secos. Sus temperaturas medias más frías se dan en enero, con 9,3 °C, y las máximas en julio, con 23,5 °C. Este clima atemperado tiene su raíz en la Corriente del Golfo, aunque durante el verano se alcanzan con cierta frecuencia temperaturas por encima de 30 °C. Por otro lado, Atlantic City tiene un clima continental húmedo, con inviernos fríos y secos y veranos calurosos y húmedos. Sus temperaturas medias en enero son de 2 °C, mientras que en agosto ascienden a 24,1 °C, por lo que se observa una amplitud térmica sensiblemente superior a la de Lisboa, especialmente si se atiende a las mínimas (-10 °C) y las máximas (35 °C) (ClimateData).

2. Nueva York (40 °N, Estados Unidos) y Vigo (42 °N, España) (Figura 11)

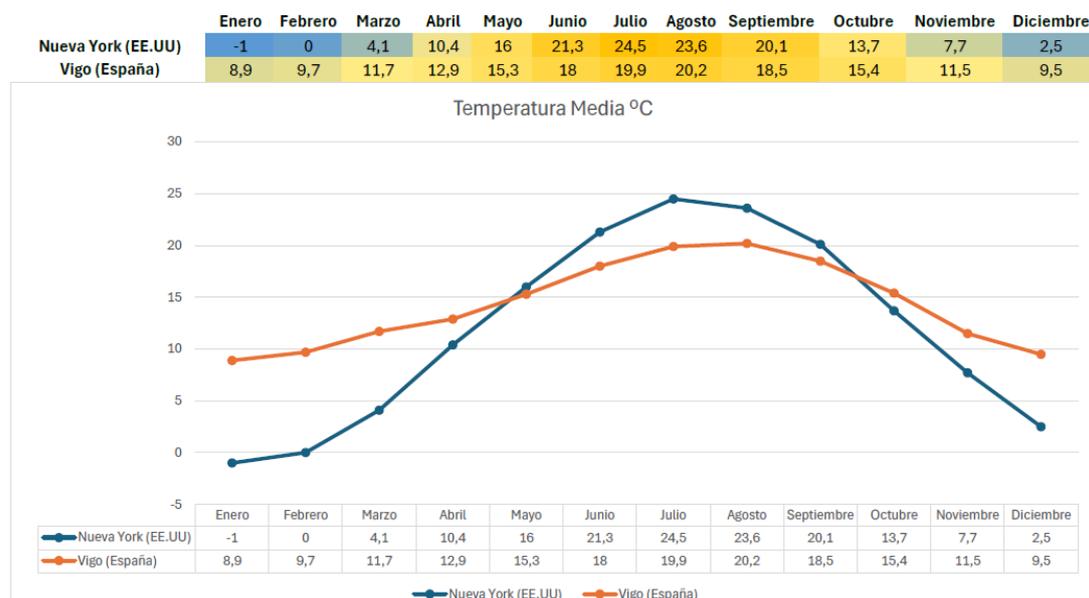


Figura 11. Temperaturas Medias en Nueva York (EE.UU.) y Vigo (España). Elaboración propia.

Nueva York se sitúa en la costa este de los Estados Unidos y presenta un clima de tipo continental húmedo, con veranos cálidos e inviernos fríos. Las temperaturas medias varían desde el mes de enero, como el más frío, en el cual las temperaturas se mantienen habitualmente bajo cero (en torno a $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de media y ocasionalmente por debajo), y el mes de julio como el más cálido (en torno a $24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de media y esporádicamente por encima). Por otro lado, Vigo se ubica en el noroeste de España, en la costa atlántica gallega. Tiene un clima oceánico templado, con inviernos y veranos suaves, siendo enero el mes más frío (en torno a los $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ de media) y agosto el más cálido (en torno a los $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ de media). Por tanto, Nueva York tiene una amplitud térmica mucho más acusada, con inviernos fríos y veranos calurosos. En cambio, Vigo disfruta de un clima atemperado en todas las estaciones debido a la influencia de la Corriente del Golfo ([ClimateData](#)).

3. Edmonton ($53\text{ }^{\circ}\text{N}$, Canadá) y Londres ($51\text{ }^{\circ}\text{N}$, Reino Unido) ([Figura 12](#))

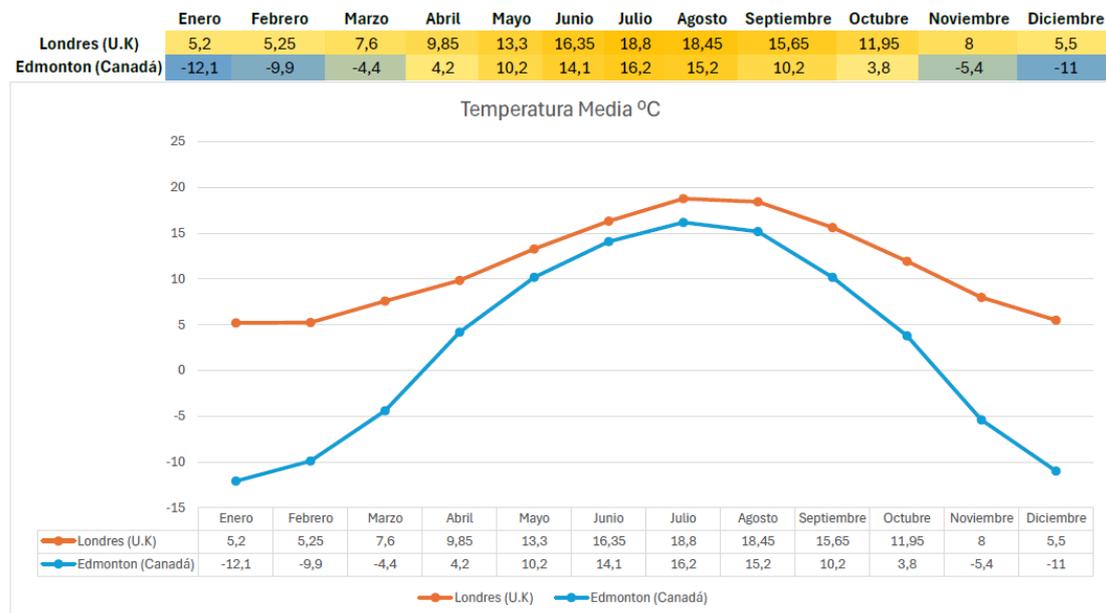


Figura 12. Temperaturas Medias en Edmonton (Canadá) y Londres (Reino Unido). Elaboración propia.

Londres se sitúa en el sureste de Inglaterra y experimenta un clima templado oceánico, con inviernos suaves y veranos frescos. Las temperaturas medias varían desde $5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en enero, hasta $18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en julio. Por otro lado, Edmonton, ubicado en la provincia de Alberta (Canadá), posee un clima continental húmedo, con inviernos largos y fríos, y veranos cortos y calurosos. Sus temperaturas medias oscilan bruscamente a lo largo del año, siendo enero el mes más frío, con $-12,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, y julio el más caluroso, con $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. No obstante, la amplitud térmica de Edmonton es muy pronunciada al superar los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que en invierno las mínimas absolutas pueden descender de los $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las máximas absolutas estivales superar los $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ([ClimateData](#)).

4. Kiruna (69 °N, Suecia) y Norilsk (69 °N, Rusia) (Figura 13)

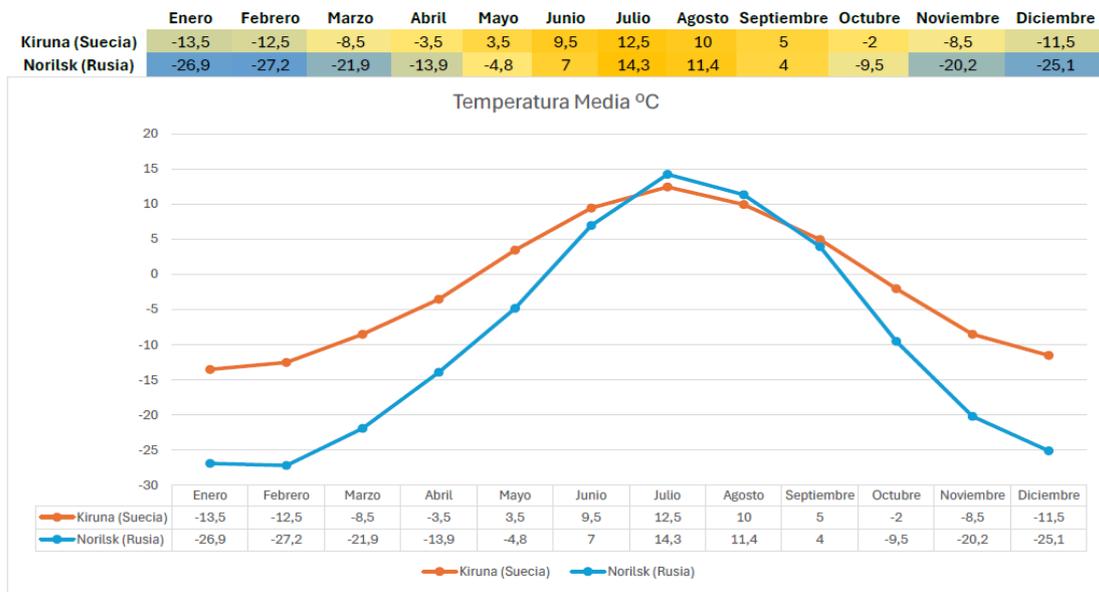


Figura 13. Temperaturas Medias en Kiruna (Suecia) y Norilsk (Rusia). Elaboración propia.

Kiruna y Norilsk se ubican en el círculo polar ártico, lo que provoca que durante el invierno se alcancen temperaturas de frío extremo. Sin embargo, Kiruna cuenta con temperaturas mucho más suaves respecto a Norilsk, ya que las medias mínimas, registradas en enero, descienden a $-13,5\text{ °C}$, siendo julio el mes más caluroso, con medias de $12,5\text{ °C}$ y una amplitud térmica de $\sim 55\text{ °C}$ (entre -30 y 25 °C), mientras que, en Norilsk, el mercurio se desploma hasta $-27,2\text{ °C}$ de media en enero, con julio como mes más caluroso, con $14,3\text{ °C}$, siendo su amplitud térmica superior a los 80 °C (entre -50 °C y 30 °C). Esto se explica por la influencia directa de la Corriente del Golfo en el caso de Kiruna, mientras que Norilsk tiene una mayor influencia continental (ClimateData).

En cuanto a la interacción entre la Corriente del Golfo y la atmósfera, es importante tener en cuenta que la cantidad de energía térmica transportada por un fluido en movimiento es proporcional a su densidad y si se tiene en cuenta que el agua es 1000 veces más densa que al aire, se notará que esta transporta 1000 veces más calor que el mismo volumen de aire (Barreña, 2016). La Corriente del Golfo transporta agua cálida que, a medida que se aproxima hacia latitudes más altas, se encontrará con aire más frío. Estas diferencias de temperatura entre el mar y la troposfera es una de las causas principales de las altas y bajas presiones que determinan el clima (Barreña, 2016).

En latitudes bajas, los huracanes, como profundas depresiones tropicales alimentadas por vapor, se producen en regiones con aguas cálidas, y en ese sentido la Corriente del Golfo facilita su formación y rumbo como fuente significativa de energía térmica al sistema

climático. A medida que el agua cálida se moviliza hacia el norte, su elevada temperatura calienta la atmósfera, lo que aumenta la humedad presente en el aire. Este proceso de evaporación alimenta la formación de nubes y tormentas (Mcallister, 2023). Cuando una perturbación atmosférica, como una onda tropical, interactúa con las condiciones favorables proporcionadas por la cinta transportadora, puede originar la formación de tormentas tropicales (precursores de huracanes). A medida que este sistema de bajas presiones se retroalimenta, se intensifica, provocando la formación de un huracán (Mcallister, 2023).

La interacción entre la Corriente del Golfo y otros factores climáticos, como los patrones atmosféricos de gran escala, y la temperatura superficial del mar, también influyen en la intensidad y trayectoria de los huracanes. Por ejemplo, la interacción con un frente frío puede ocasionar una rápida intensificación de un huracán, mientras que las variaciones en la temperatura superficial del mar pueden afectar a la duración y fuerza de dichos sistemas. Por ello, es una realidad que un aumento de la temperatura superficial del Atlántico, como la que se está produciendo actualmente, favorece la formación de huracanes y sobre todo su virulencia, es decir, cuanto más se eleva la temperatura, más potencial de crecimiento tendrá este fenómeno meteorológico (Mcallister, 2023).

La mayor temperatura del Atlántico está propiciando el desarrollo de sistemas tropicales y subtropicales en latitudes cada vez más altas. Por ejemplo, la elevada temperatura que alcanzó el Atlántico en junio de 2023 fue 4 °C superior a la media entre 1980 y 2020 y, además, dicha anomalía se extendió por todo el Atlántico Norte, complicando así la predicción de los huracanes (Saba, 2015; Alcalá, 2023). Por el momento, en 2024 las regiones del Atlántico tropical, donde habitualmente se forman estos ciclones tropicales en verano, las temperaturas actuales de la superficie del mar en el mes de febrero fueron muy similares a las temperaturas observadas en junio y julio. Cabe mencionar que, de las últimas ocho temporadas de huracanes, en siete se ha superado la media y la intensidad (Figura 14), lo cual tiene relación directa con el calentamiento global, el cual se puede ver agravado por el fenómeno de La Niña, que reemplazará a El Niño desde finales del verano de 2024 hasta principios del otoño en el hemisferio norte (Dong, 2019; Alcalá, 2023). Este fenómeno suele aparejarse con una activa temporada de huracanes en el Atlántico debido a la inhibición de la cizalladura del viento, lo que permitirá que las tormentas se organicen y fortalezcan (Dong, 2019; Alcalá, 2023).

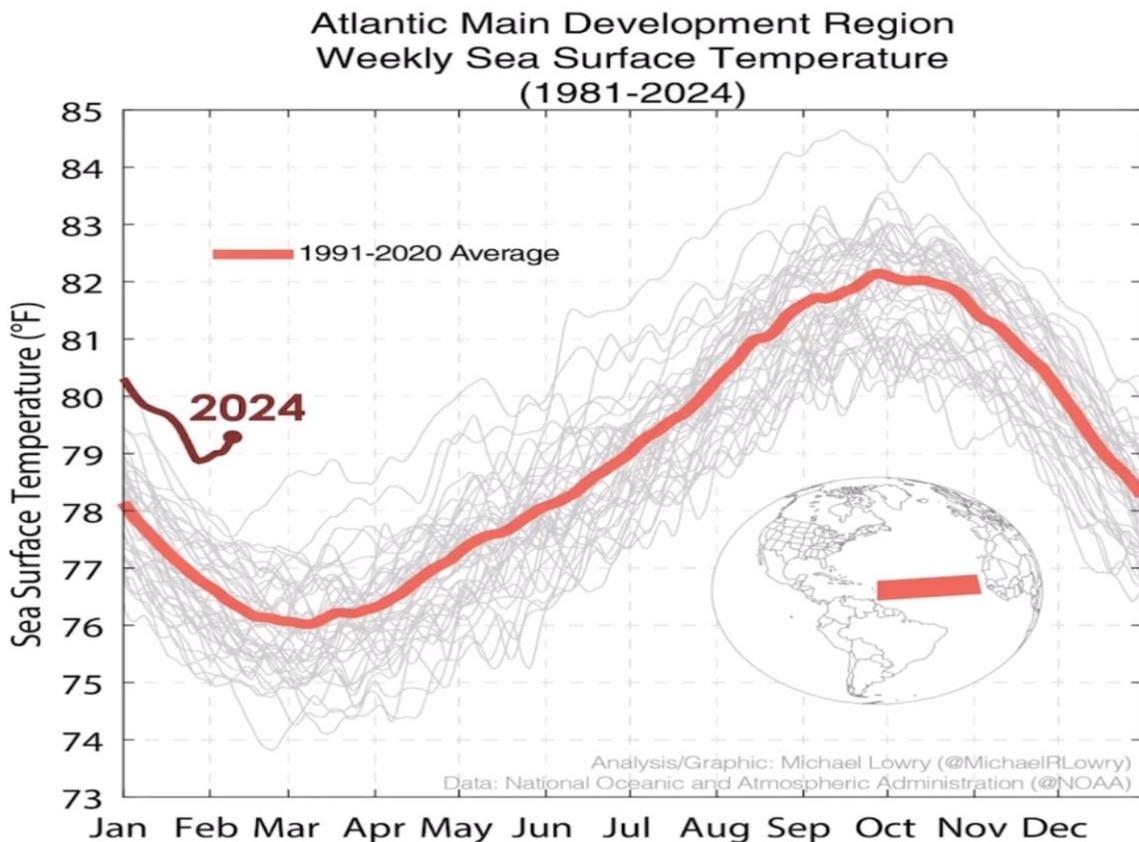


Figura 14. Temperatura de la superficie del Océano Atlántico (1981-2024). Fuente: Andrew (2024).

Nota. Actualmente los océanos están absorbiendo en torno al 90 % del calor procedente de la atmósfera, provocando un aumento significativo en se temperatura.

Los modelos a largo plazo muestran que las temperaturas de la superficie del mar se mantendrían elevadas, e incluso si las temperaturas del océano tendiesen a acercarse a los valores normales, todavía habría mucho más calor en las aguas que podría estar disponible para la formación de tormentas durante el verano y el otoño (Alcalá, 2023; Lowry, 2024). Respecto a la formación de huracanes potencialmente más destructivos por una mayor temperatura superficial del Océano Atlántico, la Corriente del Golfo los irá acercando cada vez más a las costas europeas, mientras que la formación de hielo marino continuará reduciéndose tanto en verano como en invierno (Lowry, 2024). Así pues, la Corriente del Golfo permite al continente europeo y a sus respectivos mares estar casi totalmente libres de hielo durante los inviernos, a excepción del sector septentrional del Mar Báltico. Comparando, el Mar de Barents, en una latitud similar, suele experimentar un leve crecimiento anual del hielo marino que depende esencialmente de las condiciones climáticas de cada invierno en su fluctuación, ya que sobre todo es la Corriente del Golfo la que influye en que esa congelación sea menos extensa y duradera, y no como otros mares menos influenciados por las corrientes marinas, como el Mar de Bering, cuya superficie marina se congela por completo cada invierno (Lowry, 2024).

Respecto a la biodiversidad marina atlántica, la Corriente del Golfo propicia el transporte de nutrientes, la formación de hábitats costeros y los patrones migratorios. Los nutrientes son trasladados principalmente desde el Golfo de México hacia latitudes más altas, enriqueciendo las aguas del Océano Atlántico septentrional con elementos vitales para el crecimiento del fitoplancton y otras formas de vida marina. Este flujo de nutrientes es fundamental para mantener la productividad biológica en áreas próximas a la corriente, conformando diversos hábitats costeros como arrecifes de coral, marismas o manglares, siendo ecosistemas vitales para cuantiosas especies marinas, proporcionándoles refugio, alimento y áreas de reproducción (Hay, 2011; NOAA, 2018).

Todo ello, da lugar a patrones migratorios de especies oceánicas, como peces, tortugas marinas, aves y mamíferos marinos. Es decir, la Corriente del Golfo sirve como un importante corredor migratorio para una amplia variedad de especies marinas, proporcionándoles condiciones favorables para viajar largas distancias y cumplir con sus necesidades biológicas por sus rutas migratorias (Mills, 2013; NOAA, 2018).

Por otro lado, de la biodiversidad marina, su abundancia y salud depende la pesca. La Corriente del Golfo propicia con su flujo de agua y nutrientes que proliferen los bancos de arenque, el bacalao y el atún, entre algunas de las especies más destacadas, dando lugar a una potente industria pesquera por todo el Atlántico Norte, tanto de particulares y pequeñas flotas como de grandes empresas comerciales (Hay, 2011; Mills, 2013; Payne *et al.*, 2021). Esta intensa industria pesquera no proporciona únicamente alimentos y sustento a las comunidades costeras, sino que contribuye, de manera muy significativa, a la economía de las naciones, siendo esta una gran fuente de ingresos y empleo para muchas personas. Sin embargo, cambios repentinos en la circulación oceánica acarrearían importantes consecuencias tanto para la pesca como para la seguridad alimentaria. Por ejemplo, variaciones en la temperatura superficial del agua pueden desencadenar repercusiones en la distribución y migración de especies marinas, como ocurrió en 2009-2010, cuando un calentamiento abrupto ocasionó un cambio en el ecosistema con resultados negativos para la pesca, aunque la causa del evento no llegó a esclarecerse (Fratantoni & McCartney, 2010; Mills 2013; Gonçalves Neto *et al.*, 2021; Langan, 2021; Palter, 2021).

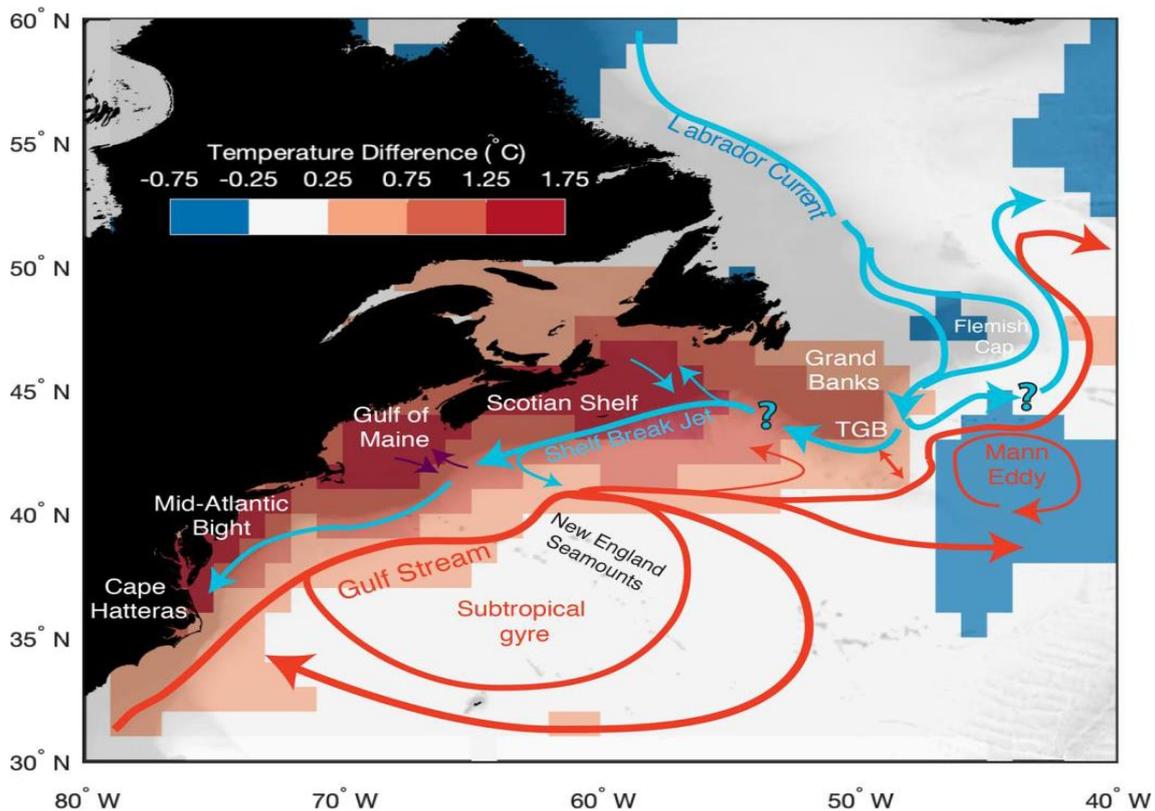


Figura 15. Circulación del Océano Atlántico noroccidental y su diferencia de temperatura promedio (2009-2018).
Fuente: Alfonso et al. (2021).

Nota. El gráfico destaca el choque de la Corriente del Golfo con aguas cálidas y saladas con la Corriente del Labrador procedente del Ártico, más fría y dulce introduciéndose por la costa este de Norteamérica ocasionando anomalías térmicas de intensa consideración. Tomado de Alfonso et al. (2021).

Mediante altimetría satelital y mediciones in situ, se pudo demostrar que, en 2008, la Corriente del Golfo migró más cerca de la Cola de los Grandes Bancos (isla de Terranova) cuyo cambio ha persistido desde entonces. Esta modificación redujo la conectividad hacia el oeste de la Corriente del Labrador, que de otra manera suministra agua más fría y rica en oxígeno a la plataforma (Jahn & Backus, 1976; Fratantoni & McCartney, 2010; Gonçalves Neto et al., 2021; Langan, 2021; Palter, 2021). Un año después de la aparición de agua anormalmente más cálida y salina en la Cola de los Grandes Bancos o Tail of Grand Banks, el calentamiento del subsuelo avanzó hacia el suroeste. Múltiples observaciones históricas sugieren que una secuencia similar de acontecimientos pudo haber ocurrido en la década de 1970, por ello, es muy importante monitorear las propiedades del agua en la Cola de los Grandes Bancos, ya que ofrece una visibilidad mejor de las propiedades presentes en la plataforma y de las alteraciones del ecosistema que puedan llegar a producirse a largo plazo (Jahn & Backus, 1976; Gawarkiewicz et al., 2014; Gonçalves Neto et al., 2021; Langan, 2021; Palter, 2021). El Atlántico Noroeste es también el lugar donde la rápida y profunda Corriente del Golfo y la Corriente del

Labrador están relativamente próximas, dando lugar a una combinación entre el agua cálida y salada, procedente del sur, y la más fría y dulce, procedente del Mar de Labrador (Jahn & Backus, 1976).

La Corriente del Golfo también influye en la agricultura, ya que el aporte de humedad y la moderación en las temperaturas ayudan a producir cosechas superiores, más abundantes y diversas, permitiendo el cultivo en sectores que, de otra manera, verían mermada su producción. Es especialmente sensible en algunos productos, como el maíz y el tomate, que no toleran la falta de humedad y requieren de temperaturas cálidas, pero no extremas. A ello, hay que sumarle una mayor influencia en los patrones de precipitaciones debido a que la Corriente del Golfo transporta gran cantidad de humedad, aportando un volumen de precipitaciones mayor en determinadas áreas, lo que favorece el regadío y la acumulación de agua, perfeccionando así sus rendimientos y diversidad (Sumaila, 2019).

Por otro lado, la Corriente del Golfo favorece las industrias, en especial, la pesquera y otras como el transporte marítimo, así como el turismo (Erauskin, 2019; Sumaila, 2019). En cuanto al transporte marítimo, la Corriente del Golfo es utilizada para movilizar mercancías, especialmente entre Norteamérica y Europa, acelerando los viajes en barco en ciertas direcciones al proporcionar flujos favorables y condiciones de navegación más suaves. Asimismo, si sumamos su ubicación estratégica, se convierte en una arteria clave para el comercio internacional. Respecto al turismo, las aguas cálidas favorecen condiciones climáticas favorables que atraen a visitantes a las regiones costeras donde esta corriente influye. Dichas áreas se convierten en destinos turísticos muy populares, contribuyendo significativamente a mejorar las economías locales a través de hostelería y diversos operadores turísticos (Erauskin, 2019; Sumaila, 2019).

No obstante, la Corriente del Golfo podría colapsar. Según varios estudios científicos, se estima que, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, la Corriente del Golfo podría cesar, lo que preocupa a la comunidad científica (Palter, 2015; Kilbourne, 2023). Recientemente, en un estudio publicado en *Nature Communications* por parte de un grupo de científicos de la Universidad de Copenhague, se predijo que, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, para algún momento, a partir de 2025 en adelante, la circulación de la Corriente del Golfo podría sufrir un colapso total, provocando alteraciones muy significativas en el clima de la Tierra (Palter, 2015; Yamagami, 2022; Kilbourne, 2023).

La Circulación del Vuelco Meridional del Atlántico (AMOC), es decir, el sistema de corrientes oceánicas vitales que transportan aguas cálidas desde los trópicos a latitudes más altas en el Atlántico Norte, están en su punto más débil de los últimos 1600 años debido al calentamiento global, como apuntan los investigadores. En el año 2021 se detectó un punto de inflexión que se ha tomado como una señal de advertencia desde entonces (Schmitz & McCartney, 1993; Yamagami, 2022; Kilbourne, 2023; Simon *et al.*, 2023).

Un reciente estudio publicado en *Geophysical Research Letters* (Chi & Wolfe, 2021) ha concluido que el transporte de agua de la Corriente del Golfo por el Estrecho de Florida se ha ralentizado un 4 % en las últimas cuatro décadas. Esto se cree que está causado por el deshielo constante que está sufriendo Groenlandia y en su conjunto todo el Ártico, los cuales, están vertiendo millones de hm³ de agua dulce sobre el Atlántico Norte, reduciendo de esta manera la salinidad presente en dicha superficie oceánica y obligando de este modo al agua más profunda y fría a emerger hacia la superficie (Köhl, 2021; Sathyanarayanan, 2021; Stammer, 2021). Dicho de otro modo, cuando el hielo se funde, el agua fluye hacia el océano, la cual es menos salada y densa que la del mar y tiende a permanecer en la superficie. Mencionado fenómeno puede alterar las corrientes de dos maneras diferentes, por un lado, el cambio en la densidad del agua en el que el aumento de agua dulce puede impedir que fluya el agua fría y salada, rompiendo el ciclo normal de corrientes, como la circulación termohalina, y por otro lado, el aumento de la temperatura en los océanos, que además del derretimiento del hielo, el calentamiento global está elevando la temperatura de los océanos, lo que afecta de manera más contundente a las corrientes (Köhl, 2021; Sathyanarayanan, 2021; Stammer, 2021).

Las consecuencias climáticas de este colapso serían catastróficas, pero aún se podría evitar si se reducen lo suficiente las emisiones globales de carbono (Andrés, 2016; Ditlevsen, 2023). El colapso de la AMOC tendría consecuencias muy graves para el clima de la Tierra, por ejemplo, al cambiar la forma en que el calor y la precipitación se distribuyen globalmente. No hay que olvidar que la AMOC es la responsable de transportar aguas superficiales cálidas desde los trópicos hasta el Atlántico Norte, por lo tanto, depende de estas corrientes que dicha agua cálida libere calor hacia la atmósfera, influyendo así en un clima regional y en unos patrones meteorológicos determinados (Andrés, 2016; Ditlevsen & Ditlevsen, 2023).

En primer lugar, el colapso de la Corriente del Golfo, desencadenaría cambios drásticos sobre todo en el clima del norte y centro de Europa, afectando a la circulación en niveles medios y altos de la troposfera, por lo que impactaría sobre la disposición de la corriente en chorro y proyectaría sus efectos más allá de este continente, en el que países como Francia, Reino Unido e Irlanda, que actualmente disfrutan de un clima templado gracias a esta corriente, podrían experimentar inviernos más severos, similares a los de regiones situadas a la misma latitud, como Canadá. Por el contrario, los veranos se volverían más húmedos y frescos (Dong *et al.*, 2019; Campetella, 2024). Según un último estudio publicado el 9 de febrero de 2024, esto provocaría un descenso de las temperaturas en el noroeste de Europa de entre 5 a 15 °C a lo largo de varias décadas, dando lugar a una expansión del hielo marino mucho más hacia el sur, al tiempo que se incrementaría todavía más el calor en el hemisferio sur (Dong *et al.*, 2019; Campetella, 2024).

Este cambio climático brusco tendría repercusiones en la agricultura, ecosistemas y biodiversidad, obligando a la flora y a la fauna a adaptarse y migrar o, en el peor de los casos, desaparecer. Si bien, un enfriamiento en las temperaturas medias en Europa puede parecer menos severo a medida que el mundo en su conjunto se vuelve más cálido y las olas de calor ocurren con mayor frecuencia, este cese del flujo contribuirá a un mayor calentamiento de los trópicos donde el aumento de las temperaturas ya ha dado lugar a condiciones de vida más duras (Andrés, 2016; Ditlevsen & Ditlevsen, 2023).

No obstante, parte de la comunidad científica pone en duda este estudio, ya que, aunque se tiene constancia que desde mediados del siglo XX la AMOC se ha ido desacelerando, no todos los científicos aceptan las conclusiones del estudio mencionado (Andrés, 2016; Ditlevsen & Ditlevsen, 2023). Por ejemplo, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha afirmado que es poco probable que se produzca un colapso total de AMOC en el siglo actual, según los modelos climáticos. Por otra parte, Niklas Boers, catedrático de Modelización del Sistema Terrestre en la Universidad Técnica de Múnich (Alemania), argumentaba para *Science Media Centre* lo siguiente:

“No estoy de acuerdo con los resultados del estudio, aunque la afirmación cualitativa de que la AMOC ha ido perdiendo estabilidad en el transcurso del último siglo es cierta y está respaldada por los datos, las incertidumbres son demasiado elevadas para estimar con fiabilidad el momento de inflexión.”

Es posible también que la AMOC pudiera haberse debilitado durante la Pequeña Edad de Hielo, desde el año 1200 hasta el 1850, cuando las temperaturas medias en el hemisferio norte descendieron ~ 1 °C. Asimismo, según algunos oceanógrafos (Forbes, 1879;

Hopkin, 2006; Ditvelsen & Ditvelsen, 2023), la fuerza de la Corriente del Golfo también disminuyó hasta un 10 %. El flujo reducido que se produjo durante la época medieval habría transportado menos calor, contribuyendo a las condiciones frías que persistieron hasta la época victoriana (Ciencia, 2023).

Aunque desde la comunidad científica se advierte de los peligros que conllevaría el debilitamiento de la Corriente del Golfo, es difícil predecir con exactitud cómo y cuándo se producirán estos cambios. Sin embargo, está claro que el deshielo, al alterar las corrientes oceánicas, representa un riesgo muy importante. Es esencial sopesar el deshielo no solo como una amenaza para las regiones costeras, debido al aumento del nivel del mar, sino también como un factor que alteraría el equilibrio de las corrientes oceánicas y, en consecuencia, el clima a nivel mundial (Ditvelsen & Ditvelsen, 2023; Hay, 2023).

Un ejemplo actual de que la AMOC está desacelerándose podría ser la aparición, desde hace dos décadas, de una burbuja fría (Blue Bob) en mitad del Atlántico Norte (Celdrán, 2022) (Figura 11). En el invierno de 2014-2015 llegó a alcanzar una anomalía térmica inferior a la actual, de 1,4 °C. El incremento de boyas marinas en esa región durante la década pasada permitió tener un control más exhaustivo de su evolución, aunque como se ha mencionado, su cénit se produjo en dicho invierno, el cual se intuía que existía en la zona desde antes y que actualmente continúa estática entre Groenlandia e Islandia, influyendo en ciertos patrones bioclimáticos de la zona (Celdrán, 2022).

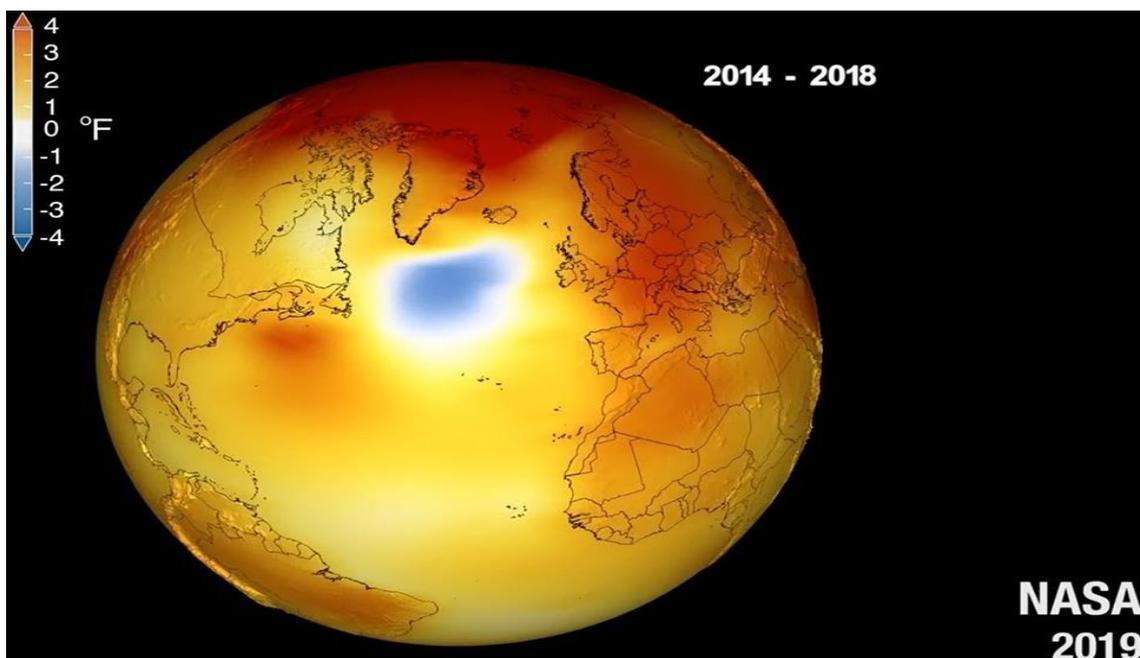


Figura 16. Blue Bob sobre el Atlántico Norte en el período 2014-2018. Fuente: NASA (2019).

Nota. La imagen muestra la burbuja azul que se desprende sobre el Atlántico Norte, afectando a regiones como Groenlandia e Islandia.

Un ejemplo de ello es que los glaciares de Islandia han frenado, en cierta medida, su retroceso desde el 2011 (cierta tendencia no se observó en los glaciares de mayor tamaño y cercanos de Groenlandia y Svalbard) ya que un enfriamiento de las aguas oceánicas circundantes ralentizaría el derretimiento glaciar y contribuye a la acumulación de hielo y puede continuar obstaculizando la pérdida de hielo hasta ~2050 (Hanna, 2011; Moon, Joughin, *et al.*, 2012; Anday, 2016). Aun así, si la temperatura del aire continúa aumentando, entre el 2050 y el 2100 el proceso de fusión volvería a acelerarse, produciendo la pérdida de un tercio de su volumen total, lo que provocaría su desaparición por completo en el año 2300. Si los 3400 km³ de hielo de Islandia se derritiesen, elevaría el nivel del mar al menos 9 milímetros (Hanna, 2011; Moon, Joughin, *et al.*, 2012; Anday, 2016).

5. DISCUSIÓN

El conjunto de la comunidad científica consensua que la Corriente del Golfo es un componente crucial del sistema oceánico global, la cuál es impulsada por una combinación de fuerzas, incluyendo vientos en superficie, el efecto Coriolis y diferencias de densidad debido a la temperatura y salinidad del agua, vitales en la regulación del clima y la biodiversidad. Esto atempera las condiciones climáticas en latitudes altas, como Europa Occidental, afectando a los patrones de precipitaciones y a los ecosistemas terrestres y marinos (Andrés, 2016; Ditvelsen & Ditvelsen, 2023; Hay, 2023). Sin embargo, las investigaciones han revelado cambios importantes que podrían interferir en su circulación, en la que sugieren que el aumento en la fusión de los glaciares de Groenlandia y la liberación de agua dulce desestabilizaría la corriente, dando lugar a consecuencias significativas para el clima, aunque existen múltiples discrepancias sobre su estabilidad a largo plazo por una parte de la comunidad científica, los cuáles argumentan que es más resiliente de lo que se piensa (Hanna, 2011; Anday, 2016).

Al igual que existen diferencias sobre su estabilidad, también hay debates sobre su velocidad en tiempos recientes, ya que algunos estudios sugieren una desaceleración de un 4% en los últimos 40 años (Andrés, 2016; García, 2024) y otros no encuentran una evidencia significativa de este cambio (Hopkin, 2006; Ditvelsen & Ditvelsen, 2023). Las razones principales que pueden llevar a la comunidad científica a las discrepancias son principalmente las fluctuaciones naturales, que muestran una variabilidad natural a escalas temporales que pueden ser décadas o incluso siglos, complicando la identificación de los cambios que el cambio climático induce y, por otro lado, los datos limitados, ya que la escasez de datos históricos detallados y a largo plazo dificulta establecer tendencias claras. Otra de las discrepancias es en el uso de los modelos climáticos que se deben a diferentes enfoques metodológicos, suposiciones y datos de entrada (Kilbourne, 2023; García, 2024).

Por otro lado, la modernización de las herramientas científicas puede producir resultados que desafían estudios previos, llevando a un proceso continuo de revisión y ajuste del conocimiento científico. Además, todas ellas han demostrado la importancia de combinar datos y modelos climáticos con estudios de biodiversidad para comprender de mejor manera los mecanismos que rigen la Corriente del Golfo. Las investigaciones futuras, apoyadas por avances tecnológicos, seguirán refinando nuestra comprensión de este fenómeno crucial.

6. CONCLUSIONES

La Corriente del Golfo es un fenómeno oceanográfico y climático de gran relevancia que desempeña un papel crucial en la regulación del clima global, influyendo en los patrones meteorológicos y climáticos en el que las temperaturas se moderan desde las costas de América del Norte y Europa hasta las regiones polares, siendo objeto de numerosos estudios y análisis debido a su influencia en el clima global y los ecosistemas marinos. En particular, se ha observado un aumento en la variabilidad de la Corriente del Golfo en las últimas décadas, planteando preocupaciones sobre posibles impactos en los patrones climáticos regionales. Estas variaciones, de difícil predicción, pueden tener consecuencias significativas para las comunidades costeras, incluyendo eventos climáticos extremos, cambios en la productividad pesquera y la amenaza para especies vulnerables.

Aunque se han logrado avances significativos en el entendimiento de esta corriente y su papel en la redistribución de calor a escala planetaria, persisten numerosos desafíos en la predicción de variaciones futuras, en especial, en el contexto del cambio climático, ya que el aumento de las temperaturas globales que se está produciendo en la actualidad y la fusión del hielo Ártico podrían alterar los patrones de la circulación oceánica, llevando a Europa occidental a un enfriamiento relativo, en el que se verían afectadas, no solo las temperaturas, sino también los patrones de precipitación de cada región y por ello los ecosistemas, sectores energéticos, turísticos y transportes e infraestructuras provocando una recesión económica a gran escala.

7. REFERENCIAS

- Adrienne Silver, A.G. (2023). Increased gulf stream warm core ring formations contributes to an observed increase in salinity maximum intrusions on the Northeast Shelf. *Scientific Reports*, 9, 7538. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34494-0>
- Alcalá, R.G. (2023). Aumento drástico de la temperatura en mares y océanos. Obtenido de: <https://www.gaceta.unam.mx/aumento-drastico-de-la-temperatura-en-mares-y-oceanos>
- Alfonso, A.L. Joseph & B.P. Jaime (2021). Circulación del Océano Atlántico noroccidental y su diferencia de temperatura promedio (2009-2018). Obtenido de: <https://theconversation.com/el-colapso-de-la-circulacion-del-atlantico-supondria-un-caos-climatico-aun-mayor-en-toda-europa-210819>
- Andres, M. (2016). On the recent destabilization of the Gulf Stream path downstream of Cape Hatteras: Gulf Stream path destabilization. *Geophys. Res. Lett.* 43, 9836-9842. <https://doi.org/10.1002/2016GL069966>
- Aschwanden, A., Fahnestock, M. & Truffer, M. (2016). Complex Greenland outlet glacier flow captured. *Nature Communications*, 8, 10524. <https://doi.org/10.1038/ncomms10524>
- Barreña, D.H. (2016). La corriente del Golfo y la circulación termohalina. Obtenido de: <https://geologicalmanblog.wordpress.com/2016/11/23/corriente-golfo-y-circulacion-termohalina>
- Cazatormentas (2022). La burbuja fría del Atlántico salva los glaciares de Islandia. *Cazatormentas*, 4. Obtenido de: <https://cazatormentas.com/burbuja-fria-salva-glaciares-islandia>
- Chen, K., Gawarkiewicz, G.G., Lentz, S.J. & Bane, J.M. (2014) Diagnosing the warming of the Northeastern U.S. Coastal Ocean in 2012: a linkage between the atmospheric jet stream variability and ocean response. *J. Geophys. Res. Oceans* 119, 218-227. <https://doi.org/10.1002/2013JC009393>
- Ciencia, E.P. (2023). Se confirma definitivamente el debilitamiento de la Corriente del Golfo. *Europapress / Cienciaplus / Cambio Climático*, 5. Obtenido de:

<https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-confirma-definitivamente-debilitamiento-corriente-golfo-20230926133241.html>

- Darwin, P. (1886). The Climate of Northern Europe and the Gulf Stream. *Nature*, 2, 91-92. <https://doi.org/10.1038/035091a0>
- Ditvelsen, P. & Ditvelsen, S. (2023). Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications* 14, 4254. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39810-w>
- Dong, S., Baringer, M.O. & Goni, G.J. (2019). Slowdown of the Gulf Stream during 1993–2016. *Sci. Rep.* 9, 6672. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42820-8>
- Erauskin-Extramiana, M. (2019). Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Global Change Biology*, 25, 2043–2060. <https://doi.org/10.1111/gcb.14630>
- Fernández, I. (2023). La Circulación Termohalina y el Cambio Climático. Obtenido de: <https://www.greentech.es/la-circulacion-termohalina-y-el-cambioclimatico>
- Forbes, W. (1879). The Glacial Period and Geographical Distribution. *Nature*, 1, 363-364. <https://doi.org/10.1038/019363c0>
- Fratantoni, P.S. & McCartney, M.S. (2010). Freshwater export from the Labrador Current to the North Atlantic Current at the Tail of the Grand Banks of Newfoundland. *Deep Sea Res. I*, 57, 258–283. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.11.006>
- García Bartual, M. (2024). El enigma de la Corriente del Golfo. Obtenido de: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/edad-moderna/20190316/47311998952/enigma-corriente-golfo.html>
- Gonçalves Neto, A., Joseph, J.A. & Palter, J.B. (2021). Changes in the Gulf Stream preceded rapid warming of the Northwest Atlantic Shelf. *Communication Earth & Environment*, 74(2). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00143-5>
- Grodsky, S.A., Reul, N., Chapron, B., Carton, J.A. & Bryan, F.O. (2017). Interannual surface salinity on Northwest Atlantic shelf. *J. Geophys. Res. Oceans*, 122(5), 3638-3659. <https://doi.org/10.1002/2016JC012580>
- H. Mohn, P. (1872). Temperature of the Sea Between Greenland, Northern Europe, and Spitzbergen. *Nature*, 6, 374-375. <https://doi.org/10.1038/006374b0>

- Halliwel Jr, G.R. & Mooers, C.N.K. (1983). Meanders of the Gulf Stream downstream from Cape Hatteras 1975–1978. *J. Phys. Oceanogr.*, *13*, 1275–1292. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1983\)013<1275:MOTGSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1983)013<1275:MOTGSD>2.0.CO;2).
- Hanna E, (2011). Greenland ice sheet surface mass balance 1870 to 2010 based on twentieth century reanalysis, and links with global climate forcing. *J. Geophys Res*, *116*. <https://doi.org/10.1029/2011JD016387>.
- Hobbs, W.H. (1942). Wind - The dominant transportation agent within extramarginal zones to continental glaciers. *Journal of Geology*, *50*(5), 556. <https://doi.org/10.1086/625072>
- Hopkin, M. (2006). Gulf Stream weakened in 'Little Ice Age'. *Nature*, *2*. <https://doi.org/10.1038/news061127-8>
- Institution, W.H. (2020). Gulf Stream Transport. Obtenido de: <https://www.whoi.edu/gulf-stream-transport>
- Jahn, A.E. & Backus, R.H. (1976). On the mesopelagic fish faunas of slope water, Gulf Stream, and northern Sargasso Sea. *Deep Sea Res.*, *23*, 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.05.006>.
- Jie Huang, R.S. (2020). Sources and upstream pathways of the densest overflow water in the Nordic Seas. *Nature Communications*, *9*. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19050-y>
- Kilbourne, H. (2023). “Es muy plausible que ya nos hayamos caído por un precipicio y no lo sepamos”. Obtenido de: <https://www.primeraedicion.com.ar/nota/100729268/es-muy-plausible-que-ya-nos-hayamos-caido-por-un-precipicio-y-no-lo-sepamos>
- León, F.M. (2013). Los científicos confirman el debilitamiento de la Corriente del Golfo. *Meteored*, *3*. <https://doi.org/10.1029/2023GL105170>
- León, F.M. (2024). Inminente colapso de la Circulación de Retorno Meridional del Atlántico: impactos sobre Europa. Obtenido de: <https://www.tiempo.com/ram/inminente-colapso-de-la-circulacion-de-retorno-meridional-del-atlantico-un-punto-de-inflexion-del-sistema-climatico.html>

- Lequan Chi, Christopher L. P. Wolfe (2021). Has the Gulf Stream Slowed or Shifted in the Altimetry Era?. *Geophysical Research Letters*, 1-9. <https://doi.org/10.1029/2021GL093113>
- Miguel, H.D. (2023). Confirman el debilitamiento de la Corriente del Golfo: ¿Qué consecuencias tiene para el clima? *LaRazón*, 3. Obtenido de: https://www.larazon.es/el-tiempo/confirman-debilitamiento-corriente-golfo-que-consecuencias-tiene-clima_202309276513eee21fb4a6000134644f.html
- Mills, K. (2013). Fisheries management in a changing climate: lessons from the 2012 ocean heat wave in the Northwest Atlantic. *Oceanography*, 26, 191-195. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2013.27>.
- Moon T., Joughin I., Smith B.E. & Howat I.M. (2012). 21st-century evolution of Greenland outlet glacier velocities. *Science*, 693, 576-578. <https://doi.org/10.1126/science.1219985>
- Muller-Karger F.E. (2015). Natural variability of surface oceanographic conditions in the offshore Gulf of Mexico. *Progress in Oceanography*, 23, 54-76. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.12.007>
- National Marine Fisheries Service. Fisheries Economics of the United States 2016 (NOAA, 2018). Obtenido de: <https://www.fisheries.noaa.gov/s3//dam-migration/feus2016-report-webready4.pdf>
- Palter, J.B. (2015). The role of the Gulf Stream in European climate. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 7, 113-137. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015656>
- Payne, M.R., Kudahl, M., Engelhard, G.H., Peck, M.A. & Pinnegar, J.K. (2021). Climate risk to European fisheries and coastal communities. *Proc Natl Acad Sci USA*, 118, e2018086118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018086118>
- Rahmstorf, S. (2003). Thermohaline circulation: The current climate. *Nature*, 421. 669. <https://doi.org/10.1038/421699a>
- Saba, V.S. (2015). Enhanced warming of the Northwest Atlantic Ocean under climate change. *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 118-132. <https://doi.org/10.1002/2015JC011346>

- Sacristán, E. (2013). 500 años empujados por la Corriente del Golfo. Obtenido de: <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/500-anos-empujados-por-la-corriente-del-Golfo>
- Schenfu Dong, M.O. (2019). Slow Down of the Gulf Stream during 1993-2016. *Scientific Reports*, 10, 6672. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42820-8>
- Schmitz, W.J. & McCartney, M.S. (1993). On the North Atlantic Circulation. *Rev. Geophys*, 31, 29-49. <https://doi.org/10.1029/92RG02583>
- Simon, M.H., Rutledal, S., Menviel, L., Zolles, T., Haflidason, H., Born, A., Berben, S.M.P. & Dokken, T.M. (2023). Atlantic inflow and low sea-ice cover in the Nordic Seas promoted Fennoscandian Ice Sheet growth during the Last Glacial Maximum. *Commun Earth Environ* 4, 385. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01032-9>
- Sumaila, U.R. (2019). Benefits of the Paris Agreement to ocean life, economies, and people. *Science Advances*, 5, eaau3855. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3855>
- Thomson, W. (1871). On the Distribution of Temperature in the North Atlantic. *Nature*, 3, 251-253. <https://doi.org/10.1038/004251a0>
- Wu, L. (2012). Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. *Nat. Clim. Change*, 2, 161-166. <https://doi.org/10.1038/nclimate1353>
- Wunsch, C. (2004). Gulf Stream safe if wind blows and Earth turns. *Nature*, 428, 601. <https://doi.org/10.1038/428601c>
- Yang, H. (2016). Intensification and poleward shift of subtropical western boundary currents in a warming climate. *J. Geophys. Res.*, 121, 4928-4945. <https://doi.org/10.1002/2015JC011513>
- Yoko Yamagami, M.W. (2022). Barents-Kara sea-ice decline attributed to surface warming in the Gulf Stream. *Nature Communications*, 13, 3767. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31117-6>

Bases de Datos:

AccuWeather. (s. f.). Previsión meteorológica diaria local, nacional e internacional |
AccuWeather. <https://www.accuweather.com/es>

Climate data for cities worldwide. (s. f.). <https://en.climate-data.org>

Government, U.S. (2024). Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory.
Obtenido de: <https://www.aoml.noaa.gov/es/gdp-new-interactive-map>

Mapa de temperaturas en mares y océanos. (s. f.). www.tutiempo.net.
<https://www.tutiempo.net/temperatura-mar>

Meteored - Pronóstico del tiempo. (s. f.). <https://www.meteored.com/es>