

¿UN NUEVO ESTADO CLIMÁTICO EN EL ÁRTICO?

Peio Oria Iriarte

Delegación Territorial de AEMET en Navarra

(publicado en el blog de AEMET
el 29 de diciembre de 2018)

El Ártico es una de las regiones del planeta con mayor importancia dentro del sistema climático ya que actúa como mecanismo regulador del clima debido a su capacidad para generar y almacenar el frío. Sin embargo, los últimos años el clima y el medio ambiente de esta región del planeta están viéndose alterados muy rápidamente como consecuencia del calentamiento global y el cambio climático asociado. El Ártico actúa de indicador climático esencial ya que sus hielos marinos y continentales, el permafrost y el manto nivoso estacional son especialmente sensibles al calentamiento que se está registrando. Por otro lado, los cambios acontecidos en las últimas décadas en esta región están resultando mucho más acentuados que en el resto del planeta y además se espera que esta tendencia se mantenga o acelere en el futuro.

¿Qué cambios se han observado ya en el Ártico? Evidencias y registros

La comunidad científica está observando que durante el invierno de los últimos años el aumento de temperatura promedio en las regiones árticas ha alcanzado valores que se han disparado más allá de cualquier registro en el pasado. Por ejemplo entre enero y marzo de 2016 y entre enero y febrero de 2018 las anomalías de temperatura rondaron los 6 °C en el Ártico central siendo aproximadamente el doble que los años inmediatamente anteriores. En cuanto a las temperaturas medias del aire en el conjunto del Ártico se puede afirmar que los últimos cinco años han sido más cálidos que cualquier otro año previo del que se tenga registros. En términos numéricos el Ártico se ha calentado 2,6 veces más rápido que el resto del hemisferio norte si se considera la temperatura media anual y 2 veces si solo se tiene en cuenta la temperatura media estival. Esto traducido a valores absolutos significa que la temperatura media del Ártico ha aumentado 2,2 °C desde comienzos del siglo pasado si se contabiliza el conjunto de todos los meses del año pero 1,8 °C si se analizan solo los meses de verano (julio, agosto y septiembre) y 3,2 °C si son los de invierno (enero, febrero y marzo).

La pérdida de volumen de hielo marino durante el mínimo estival de septiembre ha alcanzado ya un 75 % si se toma como referencia de partida los últimos años de la década de 1970. No solo se ha reducido su extensión, sino especialmente el espesor de manera que ha aumentado significativamente el hielo de grosor inferior a un metro que flota en el océano y que tiene altas probabilidades de seguir fundiéndose cada verano. Por el contrario

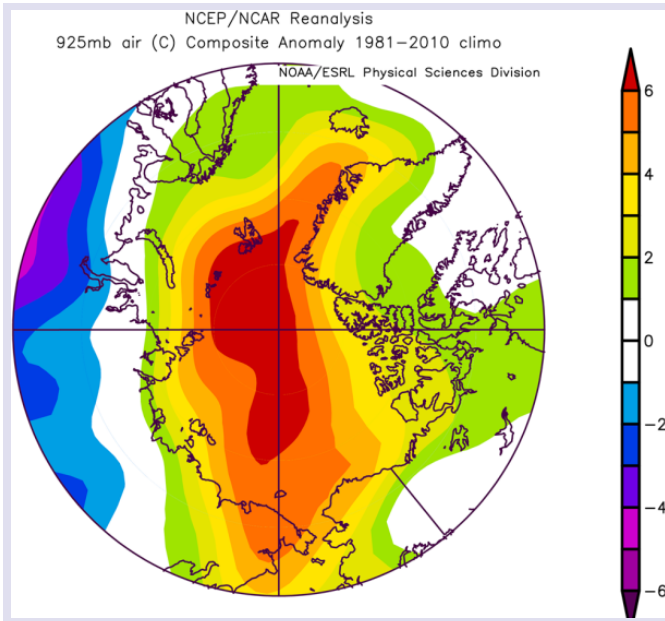


Figura 1. Anomalías de temperatura para otoño de 2016 (octubre-diciembre) respecto a la referencia del periodo 1981-2010 en el nivel de 925 mb (se ha empleado este nivel para eliminar efectos locales en superficie y tener un patrón espacial de gran escala). Los datos de esta figura han sido obtenidos de NOAA/ESRL, Boulder, CO, <https://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

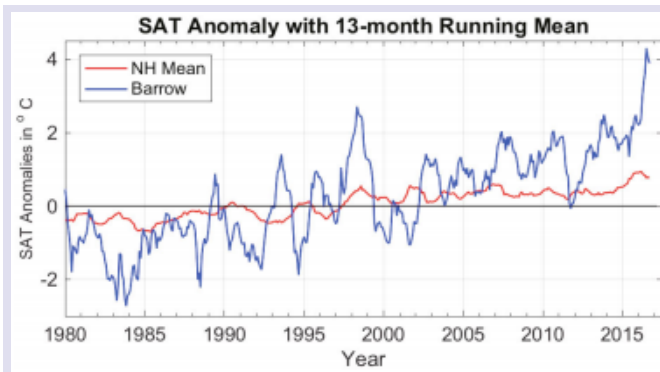


Figura 2. Media móvil anual para la anomalía de temperatura en superficie respecto al periodo de referencia 1981-2010 en el conjunto del hemisferio norte (rojo) y en Barrow, Alaska (azul). Obtenido de la base de datos de temperaturas globales en superficie CRUTEM4 (www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/).

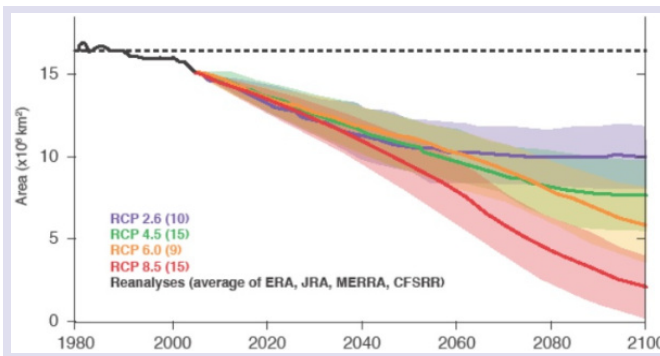


Figura 3. Proyección de la superficie ocupada por suelos de permafrost en el conjunto del hemisferio norte. La disminución puede alcanzar un 20% para 2040. Figura tomada de Slater y Lawrence (2013).

el hielo de varios metros de espesor no suele derretirse en la misma temporada ya que tiene más posibilidades de aguantar las mayores temperaturas y el incremento radiativo durante los meses de verano.

El manto nivoso estacional ha decrecido varios millones de kilómetros cuadrados durante la primavera de las últimas décadas y se espera que continúe haciéndolo en virtud del aumento de las temperaturas y de mayores precipitaciones en forma líquida. No solo disminuye la cobertura nivosa sino también la duración de su permanencia estacional. El manto nivoso podría llegar a reducirse entre un 10 % y un 20 % para mediados de siglo e incluso el 30 % en el sector euroasiático.

Retroalimentaciones, ¿qué procesos no se entienden suficientemente bien pero podrían ser la clave del futuro?

Recientemente algunos científicos expertos en el estudio del clima han apuntado que los procesos de retroalimentación positiva específicos del Ártico pueden obstaculizar la estabilidad del sistema climático global incluso si se alcanza el objetivo de la Cumbre de París acordado en 2015 para limitar el calentamiento medio global a 2 °C. A continuación se mencionan cuatro procesos fundamentales de retroalimentación.

Por un lado aquel relacionado con el equilibrio radiativo entre la superficie y la humedad de la troposfera: una atmósfera más caliente y húmeda puede contener una mayor concentración de vapor de agua, potente gas de efecto invernadero que incrementa la reemisión de radiación de onda larga sobre la Tierra, reteniendo más calor y aumentando la evapotranspiración de manera que se añade todavía más vapor de agua a la atmósfera.

En segundo lugar, la retroalimentación sobre el albedo y el almacenamiento de calor tiene su origen en que la constante pérdida de hielo marino y superficie innivada debido a las mayores temperaturas en la atmósfera, criosfera y océanos se retroalimenta con la disminución en la capacidad de reflejar la radiación solar entrante por la propia criosfera. El consenso sobre el funcionamiento de estos dos ciclos de retroalimentación es bastante alto.

Hay más incertidumbre sobre cómo los cambios de las corrientes oceánicas y el intercambio hidrosfera-atmósfera afectarán al clima global y sobre todo hasta qué punto el derretimiento del permafrost (fracción permanente de suelo congelado en las regiones periglaciares) puede servir de fuente de nuevas emisiones de gases de efecto invernadero. Recientes estimaciones señalan que aproximadamente la mitad del carbono orgánico presente en los suelos a nivel global está ubicado en regiones árticas por lo que, a corto, medio y largo plazo podría pasar a la atmósfera aumentando el efecto invernadero. Las incertidumbres radican esencialmente en la velocidad a la que tendrá lugar este proceso de fusión del permafrost. En cualquier caso las proyecciones de los modelos muestran una reducción aproximada de 15 a 12 millones de kilómetros cuadrados de superficie total de permafrost ártico entre 2020 y 2040, siendo prácticamente independiente del escenario RCP escogido. Sin embargo, bajo la trayectoria RCP 4.5 se podría alcanzar incluso un 80 % de superficie reducida para 2080. El derretimiento del permafrost puede ocasionar serios impactos: en primer lugar es una pérdida irreversible de metano, CO₂ y hielo por parte de un suelo que durante miles de años ha formado parte de un sistema en equilibrio. Además, en regiones costeras se incrementa la erosión por la acción del mar debido a la pérdida de hielo.

Como último ciclo de realimentación están las alteraciones en el transporte de calor a gran escala entre océanos y atmósfera lo que incluye no solamente flujos en sentido vertical sino posibles modificaciones de las corrientes marinas superficiales y en profundidad y de los grandes cinturones de viento que rodean el planeta, hecho que posee grandes repercusiones en nuestras latitudes, tanto a nivel climático como meteorológico.

En cualquier caso no está suficientemente claro cómo los ciclos anteriores pueden afectar al clima del planeta aunque hay una gran probabilidad de que supongan una aceleración del proceso de cambio climático a nivel global y de que la superación de ciertos umbrales (quizá ya alcanzados) conduzca a una irrefrenable trayectoria del sistema climático global hacia un nuevo estado. Es muy posible que este nuevo estado ya se haya instaurado en el Ártico.

Las proyecciones en el futuro, ¿cuánto puede llegar a dispararse la temperatura?

El Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (WCRP), copatrocinado por la Organización Meteorológica Mundial, la Unión Científica Internacional y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, dispone de un grupo de trabajo focalizado en el proyecto de intercomparación de modelos climáticos (CMIP). Actualmente se encuentra en la quinta fase y es una fuente de información crucial para la redacción y emisión de los informes del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

En la figura 4 se observan las proyecciones de temperatura media anual del aire en superficie para el conjunto del planeta, la región ártica (latitudes entre 60° y 90°) y la región ártica en invierno. Los diferentes colores hacen referencia a los escenarios proyectados expresados como desviaciones respecto a los promedios entre 1900 y 1950. El gran rango de incertidumbre procede de las diferencias entre modelos y la distinta respuesta de la variabilidad interna que haya sido modelizada para el conjunto del sistema climático.

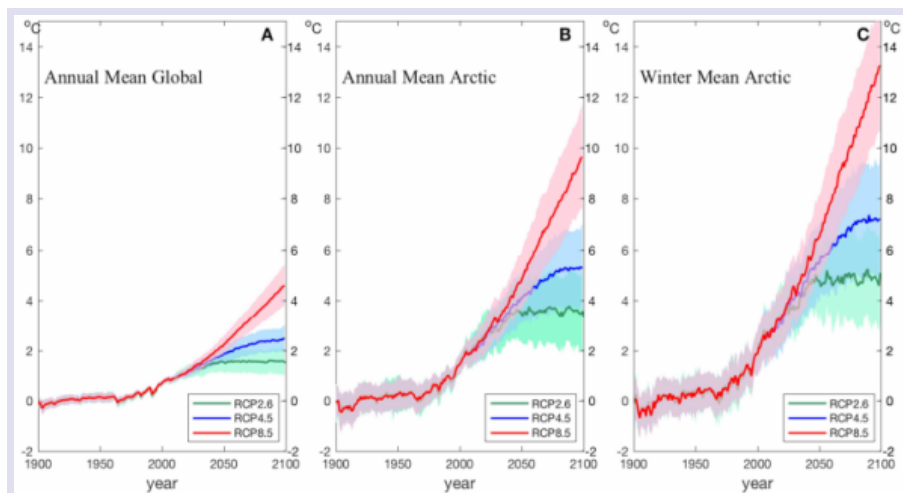


Figura 4. proyecciones de temperatura media anual del aire en superficie para el conjunto del planeta, la región ártica (latitudes entre 60° y 90°) y la región ártica en invierno.

El escenario 2.6 es extremadamente ambicioso puesto que supondría la interrupción actual de las emisiones totales de gases de efecto invernadero así como emisiones negativas o secuestro de CO₂ atmosférico durante la segunda mitad del siglo XXI. Gran parte de los científicos del IPCC han reconocido que es totalmente inalcanzable un escenario de estas características. En el otro extremo estaría el escenario 8.5, conocido como “*business as usual*”, según el cual las temperaturas medias globales (y especialmente en el Ártico) se dispararían a valores de bastantes grados por encima respecto a la era preindustrial. El escenario 4.5 es un escenario base representativo y acorde con el objetivo del acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 2 °C para finales de siglo.

En cuanto a la reducción del hielo marino ya se ha hecho mención de que el gran cambio cualitativo que está aconteciendo es la modificación en el régimen de espesor en el hielo estacional. Hay un claro y creciente aumento del hielo que se forma y derrite con periodicidad estacional frente a aquel de duración y características multianuales.

Los promedios de los modelos globales para un escenario 4.5 son congruentes con un Ártico libre de hielo durante el mínimo estival del mes de septiembre para finales de siglo. Sin embargo, teniendo en cuenta la tendencia en los últimos años y llevando a cabo una extrapolación hacia el futuro, es probable que este evento pueda adelantarse a las próximas tres décadas. La falta de concordancia a la hora de modelizar la cobertura de hielo marino sugiere que hay claras deficiencias en las representaciones de los modelos así como probablemente en otros procesos relacionados con la atmósfera, océanos y criosfera que tienen lugar en el Ártico y que afectan al hielo marino.

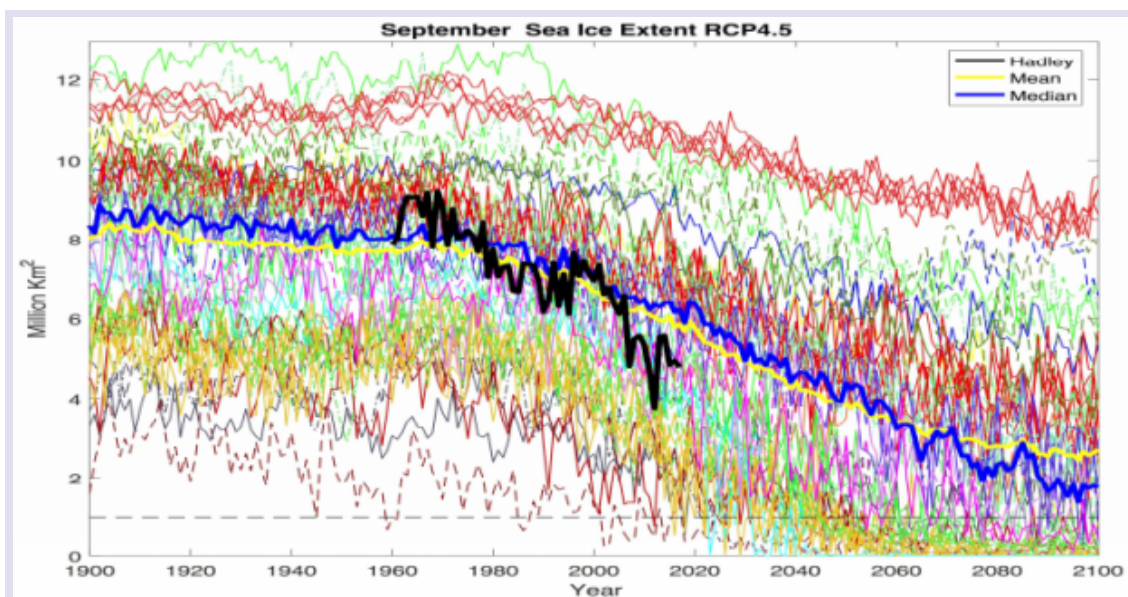


Figura 5. Extensión del hielo marino ártico en durante el mínimo estival basado en los miembros del *ensemble* de los 36 modelos empleados en la quinta fase de CMIP. Hay hasta 5 miembros por modelo. La línea amarilla es la media aritmética de todos los miembros de los modelos y la línea azul la mediana. La línea negra de trazo grueso representa las observaciones basadas en el análisis de hielo y hielo marino HadISST (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html>).

La línea horizontal marca el valor de un millón de kilómetros cuadrados y que simboliza de manera aproximada un Ártico libre de hielo.

Un nuevo estado climático, ¿el Ártico ha experimentado un salto más allá de la variabilidad natural y del patrón de tendencias observadas?

En el sistema climático hablamos de la existencia de un cambio cuando la variación en alguno de sus componentes es lo suficientemente importante como para alterar su equilibrio dando lugar a un nuevo estado de equilibrio tras un periodo de transición entre ambos. Por definición y por su propia categorización y caracterización, los climas son estables dinámicamente, y su comportamiento se describe en términos de parámetros estadísticos observados como la tendencia central o la dispersión de las fluctuaciones. Se viene hablando con mucha frecuencia del cambio climático que está sufriendo la Tierra en las últimas décadas y de su proyección en las venideras. Hasta ahora las observaciones en un

año concreto han encajado en un escenario compatible con la combinación obtenida de la variabilidad natural y los patrones de calentamiento detectados. Sin embargo parece que el Ártico ha quedado fuera de la variabilidad natural en los últimos cinco o diez años y que ha alcanzado un estado persistente y multianual, suficientemente alejado del estado o tendencia media previos. En ese sentido en el caso del Ártico ya no se habla tanto de un cambio progresivo sino de un probable salto a un nuevo estado climático del que no se tiene conocimiento previo. Según la tipología de cambios y variaciones climáticas mostrada en la figura 6, es probable que el Ártico pudiera estar sufriendo una alteración mixta entre el tipo B y C (con tendencia en aumento en el caso de la temperatura).

Si el establecimiento de un nuevo estado se mantiene en los próximos años o décadas es probable que el aumento de la temperatura media en el Ártico alcance los 4 °C antes de mediados de siglo resultando en un entorno completamente diferente al conocido hasta ahora.

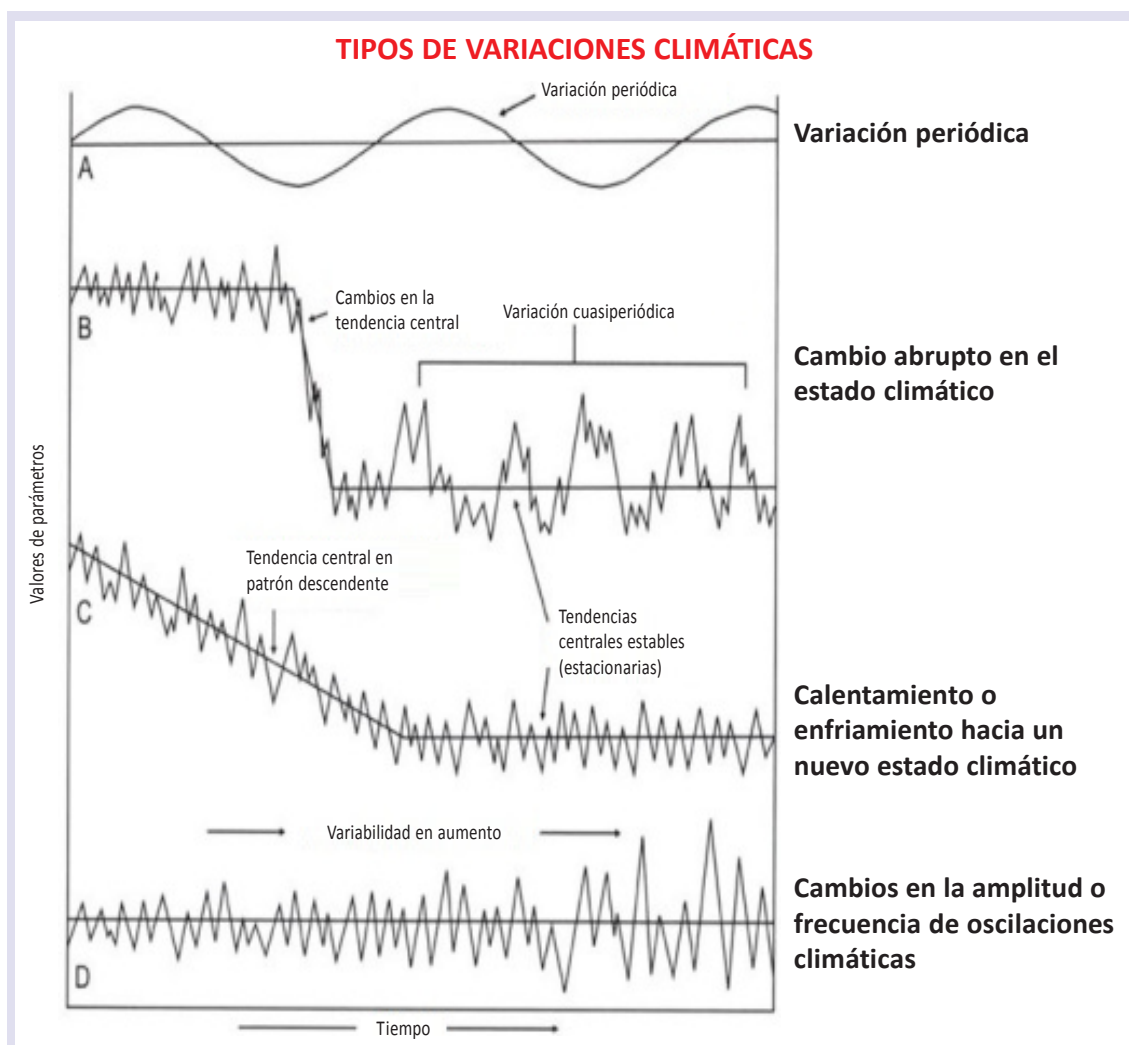


Figura 6. Tipos de variaciones climáticas. Pueden ser saltos bruscos, tendencias suaves o comportamientos periódicos o cuasiperiódicos.

Fuente: OMM (1979): Proceedings of the World Climate Conference, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial.

¿Cómo contribuirán los cambios en el Ártico a lo que pueda suceder en el resto del planeta?

Además de la subida del nivel del mar pronosticada en todo el planeta (de la que aproximadamente el Ártico contribuirá en un 50 %), se estima una doble interacción entre el Ártico y el resto del sistema climático global aunque las incertidumbres relacionadas son muy grandes.

En primer lugar estarían los impactos ocasionados en la circulación oceánica del Atlántico Norte debido a una mayor entrada de agua dulce en el sistema. El origen de este aporte proviene por un lado de un mayor derretimiento del hielo pero también del hecho de que las proyecciones muestran incrementos en la cantidad de precipitación en el Ártico, sumado al hecho de que una parte creciente caería en forma de lluvia en detrimento de la precipitación sólida. Hay una gran controversia acerca de esta alteración ya que algunos datos paleoclimáticos muestran profundas afecciones del aumento de agua dulce sobre el transporte oceánico de calor hacia la fachada noroccidental del continente europeo. Un cambio en la salinidad (aparte del aumento de la temperatura del agua) incidiría sobre la estabilidad de la columna de agua posibilitando cambios en las corrientes a gran escala. Algunos trabajos apuntan a un debilitamiento de la Circulación Meridional Atlántica de Retorno (AMOC) durante los últimos años. Entre los posibles escenarios, no necesariamente en contradicción con un calentamiento a escala global, está el de un marcado enfriamiento de todo el sector occidental europeo bañado actualmente por la circulación oceánica proveniente de latitudes tropicales y subtropicales.

En segundo lugar, las diferencias de densidad del aire y el gradiente horizontal de presión entre las latitudes medias y altas se están viendo afectados por un mayor calentamiento en la troposfera ártica e influyendo sobre los sistemas de viento a escala planetaria como por ejemplo el chorro polar y la posible amplificación de la trayectoria ondulatoria que sigue alrededor del planeta. Ya se han documentado evidencias de las conexiones meteorológicas entre la excepcional pérdida de hielo marino durante las últimas temporadas en los mares árticos de Barents y Kara y las irrupciones de aire frío en el este de Asia. No obstante, es un asunto de gran complejidad y no hay un consenso en la comunidad científica acerca de estas interacciones ya que existen otros forzamientos climáticos asociados a la variabilidad interna del sistema climático que sin duda juegan un importante rol en este tipo de conexiones.

Algunas conclusiones y la importancia de los esfuerzos en mitigación y adaptación

Debido a la celeridad y gravedad de los cambios que están siendo observados en latitudes altas del hemisferio norte, los países miembros del Consejo Ártico (aquellos que poseen territorios que están más al norte de los 66° de latitud, es decir, Estados Unidos, Rusia, Canadá, Islandia, Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia) ven clara la necesidad urgente de un mayor conocimiento basado en los programas de observación, en una mejor monitorización satelital y en más investigaciones de cómo interaccionan y se retroalimentan los sistemas físicos y biológicos en el Ártico así como de avances en modelización para reducir las incertidumbres en el futuro.

De crucial importancia resultan las estrategias de actuación a medio y largo plazo así como la adaptación a las nuevas condiciones observadas y proyectadas.

Es muy probable que los cambios pronosticados tengan lugar en las siguientes décadas independientemente de si los esfuerzos de adaptación y la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera son más o menos ambiciosos. En cualquier caso son muy necesarios ya que pueden incidir sobre la velocidad a la que vayan a producirse esos cambios. Una de las claves de lo anterior radica en el hielo continental de Groenlandia. La pérdida proyectada de hielo no se podría estabilizar hasta el siglo XXII debido al lento tiempo de respuesta del hielo continental. Otro ejemplo que ilustra esta circunstancia es que para que los glaciares árticos se encontrasen en equilibrio con las temperaturas actuales deberían perder todavía un 35 % de su volumen, lo que contribuirá de manera crítica al aumento del nivel del mar.

El Ártico a mediados de siglo XXI estará compuesto por componentes del sistema climático muy distintas a las del siglo XX, especialmente en lo que se refiere a la criosfera y los ecosistemas pero también a la atmósfera y los océanos. Es posible que a finales del siglo XXI el aspecto de las latitudes altas del hemisferio norte sea totalmente irreconocible.

Sea cual sea el escenario futuro estamos sin duda ante un cambio con enormes implicaciones potenciales a nivel global y con graves y profundas consecuencias para los sistemas sociales y ecosistemas en el Ártico y en el resto del mundo.

Bibliografía

CUADRAT, J. F. y M. F. PITA, 2000. Climatología. Ediciones Cátedra, 2.^a edición. Grupo Anaya.

MASSONNET, F. *ET AL.*, 2012. Constraining projections of summer Arctic sea ice. *The Cryosphere*, 6, 1383-1394.

OVERLAND, E., E. DUNLEA, J. E. BOX, R. CORELL, M. FORSIUS, V. KATTSOV, M. S. OLSEN, J. PAWLAK, L. REIERSEN y M. WANG, 2018. The urgency of Arctic change. *Polar Science*.

OVERLAND, E., E. HANNA, I. HANSSSEN-BAUER, S.-J. KIM, J. E. WALSH, M. WANG, U. S. BHATT y R. L. THOMAN, 2017. Surface Air Temperature. Arctic Essays, Arctic Report Card: Update for 2017.

OVERLAND, E., M. WANG y T. J. BALLINGER, 2018. Recent increased warming of the Alaskan marine Arctic due to midlatitude linkages. *Advances in Atmospheric Sciences*, 35, January 2018, 75-84.

OVERLAND, E. y M. WANG, 2013. When will the summer Arctic be nearly sea ice free? *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2097-2101.

ROGERS, T. S., J. E. WALSH, M. LEONAWICZ y M. LINDGREN, 2015. Arctic sea ice: Use of observational data and model hindcasts to refine future projections of ice extent. *Polar Geogr.*, 38, 22-41.

SLATER, A. G. y D. M. LAWRENCE, 2013. Diagnosing present and future permafrost from climate models. *Journal of Climate*, 26, 5608-5623.

STROEVE, J. C. *ET AL.*, 2012. Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L16502.