

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/379831613>

Tendencia de la Banquisa Antártica

Article · April 2024

CITATIONS

0

READS

34

1 author:



Laura Fernandez

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

TENDENCIA DE LA BANQUISA ANTARTICA



El hielo marino o la banquisa en la Antártica es otro tema que regularmente aparece en los titulares periodísticos como un elemento comprobatorio de que ciertas situaciones climáticas estarían en su punto más álgido. Tanto el hielo marino como la lengua de un glaciar son objetos concretos y oculares, que están a la vista todos y por tanto pueden ser sometidos a un análisis exhaustivo. Si bien un trabajo de campo puede dar luces sobre lo que sucede con el avance o retroceso glaciar e incluso lo puede lograr una breve excursión de fin

de semana, no sucede lo mismo con el hielo marino y específicamente el de la Antártica. Determinar cómo se ha comportado durante un invierno no está tan al alcance, porque la travesía para ver *in situ* el estado de este es arriesgada y restringida. Por esta razón, entre otras, los investigadores han acudido a herramientas de tipo remoto para “mirar” lo que sucede con el hielo marino, si está ahí, si creció lo suficiente en la estación de invierno y cuánto dejará el verano de ese crecimiento. Para este contexto, los satélites artificiales son la tecnología que ha permitido indagar sobre estas cuestiones y, en base a un corto registro que no va más allá de la década de 1970, generar una historia de estas extensiones y contracciones del hielo marino.



Otros métodos más indirectos, en el sentido de que se necesita un análisis o proceso previo para extraer la información de interés, lo constituyen los datos de estaciones meteorológicas, las concentraciones de ácido metilsulfónico, que proviene del fitoplacton y los testigos de hielo, conocidos mejor como “ice cores”. Seguramente habrá otros métodos que no están en esta breve lista, pero, por lo visto, son unos de los más utilizados para realizar estudios sobre la extensión del hielo marino. Y aunque, como se dijo, debe haber más métodos tan buenos como los mencionados, llama la atención que la aplicación de cada uno de ellos arroje resultados tan distintos. Incluso, el uso de una sola herramienta ha dado lugar a conclusiones contrapuestas.

Figura 1: Extensión del hielo marino en la Antártica el 22 de septiembre de 2013, cuando el hielo cubría más del Océano Austral que en cualquier otro momento de los registros por satélite. El color gris oscuro corresponde a tierra firme, las barreras de hielo a gris claro y el contorno amarillo muestra la distribución del hielo marino promedio en septiembre de 1981 a 2000.

Fuente: <https://www.tiempo.com/ram/36769/el-hielo-marino-antartico-alcanza-un-nuevo-maximo-de-extension/>.

bacterias; Negro, factores abióticos. CCN, núcleos de condensación de nubes; DOM, materia orgánica disuelta; DMSO, dimetilsulfóxido; DeCS, metanotiol; MPA, mercaptopropionato; MMPA, mercaptopropionato de metilo; MSA, ácido metanosulfónico.

Fuente: Stefels, J., Steinke, M., Turner, S. *et al.* Environmental constraints on the production and removal of the climatically active gas dimethylsulphide (DMS) and implications for ecosystem modelling. *Biogeochemistry* **83**, 245–275 (2007).

El recuadro rojo de la Figura 2 está indicando la parte del ciclo del azufre que sería el origen del MSA. La precipitación de este compuesto desde la nube, formada por núcleos de condensación que también son parte del ciclo del azufre, se acumularía en la superficie junto con la nieve, pasando a formar parte del casquete antártico. Gracias a este proceso, los científicos extraerían posteriormente el núcleo de hielo que contendría las concentraciones de MSA suficientes para datar el momento de la depositación, abarcando una escala temporal mucho más amplia.

Hasta aquí el paréntesis sobre el MSA.

Mirando por encima algunos trabajos sobre lo que le ha tocado vivir al hielo marino durante el siglo XX, uno puede encontrarse con situaciones como las presentadas por Curran et al. (2003), cuyo artículo en Science nos dice que utilizando las concentraciones del ácido metanosulfónico mencionado más arriba, pudieron establecer que hubo una disminución en un 20% en la extensión del hielo marino, que a su vez se conoce como SIE (Sea Ice Extent, utilizando la jerga científica de publicación) desde la década de 1950, específicamente en el sector de Law Dome, lado oriental de la Antártica. Este hallazgo implicaba para los autores que una tasa importante del hielo marino austral estaba en declive y, aunque reconocían que la tendencia es al aumento del SIE con los datos satelitales, tales estimaciones estaban basadas en información de pocos años (unos 22 años) por lo que no eran concluyentes, ya que las concentraciones de MSA reflejarían la verdadera pauta, es decir, al declive sí o sí y que esa pequeña inclinación observada con una perspectiva temporal más panorámica en satélites sería sólo una ciclicidad dentro del registro. En otras palabras, estábamos observando sólo un pequeño intervalo y no la pintura completa.

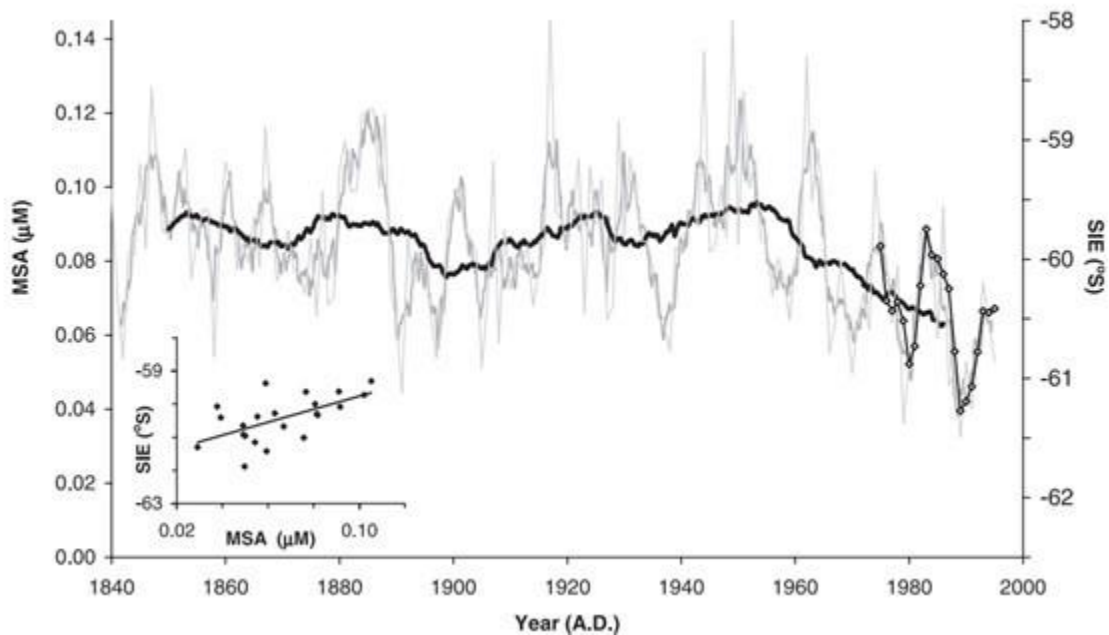


Figura 3: Law Dome MSA record (1841 to 1995) and SIEmax in the 80°E to 140°E sector (1974 to 1995). Faint gray line, MSA annual; thick gray line, MSA 3-year running mean; thick black line, MSA 20-year running mean; black line with open circles, SIEmax 3-year running mean. (Inset) Correlation of annual MSA with annual SIE max for the overlap period 1974 to 1995 (P , 0.002, n 5 22).

Fuente: Mark A. J. Curran, van Ommen, T. D., Morgan, V. I., Phillips, K. L., & Palmer, A. S. (2003).

Continuando con la exposición de otros trabajos, Abram et al. (2010) publicaron un estudio donde encontraron evidencia de disminución del SIE de distinta magnitud en el Mar de Bellingshausen durante el siglo XX, a través de concentraciones de MSA, datos de reanálisis meteorológico e información satelital. Ellos concluyeron que el hielo marino se retiró unos 0, 7º de latitud al sur, lo que no habría sido uniforme en la serie temporal, sino que habría existido un aumento pequeño, según información satelital posterior a 1979. Además, analizaron y compararon reconstrucciones de hielo marino usando distintos métodos y fuentes, para ver la coherencia de sus propios resultados. De acuerdo con esto, la disminución de la extensión del hielo marino de la Antártica habría sido la tendencia preponderante durante el pasado siglo, asociándose al calentamiento que habría estado presente en ese intervalo temporal.

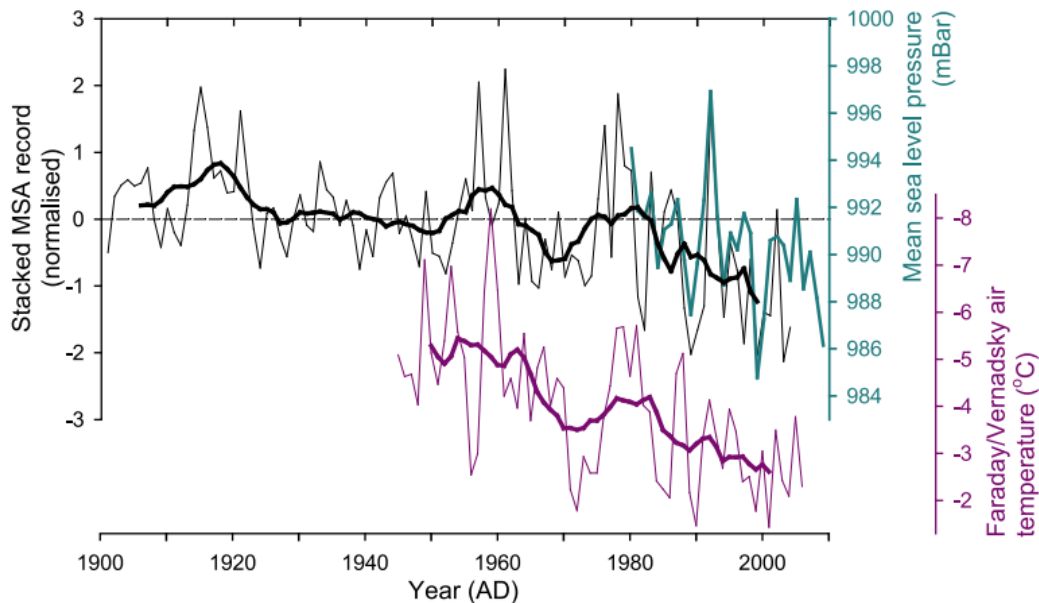


Figura 4: El registro MSA (curva negra delgada) derivado de los tres núcleos de hielo de la Península Antártica se correlaciona significativamente con la disminución de la presión media del nivel del mar sobre el Mar de Amundsen (curva verde; datos de reanálisis del NCEP para la región 100°W–140°W, 55°S–70 °S, promedios de julio a junio) [Kalnay et al., 1996] y con el récord histórico de aumento de la temperatura del aire medido en la estación Faraday/Vernadsky (curva delgada de color púrpura; invertida; promedios de julio a junio). Las curvas gruesas en negro y morado son medias consecutivas de 11 años, y la línea negra discontinua muestra la media del registro MSA apilado durante el intervalo de normalización 1901-1990. Fuente: Abram, N. J., E. R. Thomas, J. R. McConnell, R. Mulvaney, T. J. Bracegirdle, L. C. Sime, and A. J. Aristarain (2010),

Tomando en cuenta regiones más amplias del Globo, Parkinson et al. (2021) hicieron una recopilación del hielo marino en el Ártico, en la Antártica y a nivel mundial, concluyendo particularmente para Antártica que hubo máximos de hielo marino hasta el año 2016, seguido de mínimos que se recuperaron recién a partir del año 2020, basado en información satelital multicanal especializada para este tipo de investigaciones.

Por estas mismas fechas y apuntando más alto en la escala temporal, se publicó un estudio que consideraba una serie de 200 años y que utilizó nuevamente las concentraciones de MSA para datar la presencia o ausencia de hielo marino antártico. Haciendo extensivo su estudio a los mares que rodean el continente antártico, Yang et al. (2021) analizaron núcleos de hielo provenientes de seis sitios que incluyeron el Mar de Weddell, el Mar de Bellingshausen, el Mar de Amundsen, el Mar de Ross, parte del Océano Índico y el sector occidental del Océano Pacífico, para reconstruir la latitud más septentrional (palabra que alude a cualquier sitio al norte del punto que se considera) que habría alcanzado el hielo marino durante el periodo considerado, que ellos llamaron NLSIE (Northernmost Latitude of Sea Ice Edge).

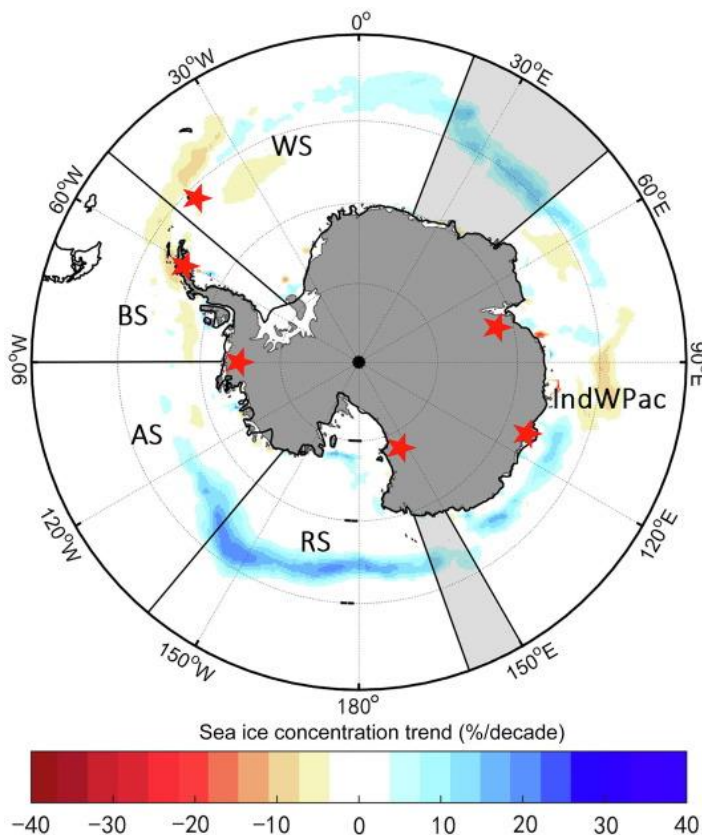


Figura 5: Observed Antarctic sea ice concentration (colored area) trends for the extended winter season (August, September, and October) from 1979 to 2016. The red stars denote the proxy sites for sea ice reconstruction. The sectors are indicated as the Weddell Sea (WS), Bellingshausen Sea (BS), Amundsen Sea (AS), Ross Sea (RS), and Indian and western Pacific Ocean (IndWPac).

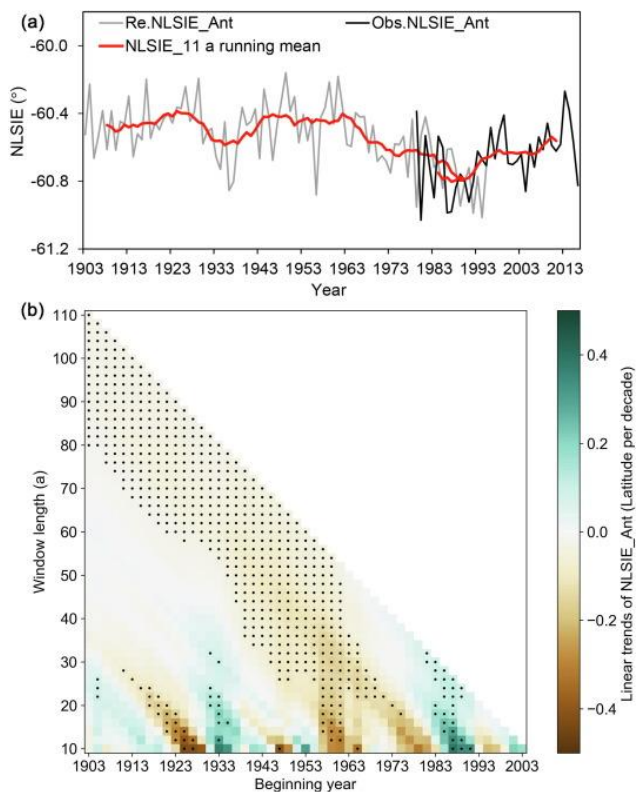
Fuente: Claire L. Parkinson, Nicolo E. DiGirolamo. 2021,

Ambos índices estarían dando cuenta de los resultados por sectores que se habrían obtenido y que no coinciden en los patrones, puesto que simultáneamente se tienen ambos escenarios. De acuerdo con lo que evalúa cada índice, se tendrán tendencias diferentes, por lo que es difícil señalar un solo camino en el comportamiento del hielo marino durante el siglo XX. Si las cosas son miradas desde el punto de vista del índice SAM, tendríamos en su fase positiva retiradas de hielo en mares de Bellingshausen, Weddell y avances en los mares de Amundsen y Ross. Al observar un mapa de estos mares, se entiende donde predominan estas oscilaciones y porqué solo afectan a ciertos sectores de la Antártica. Si, por otro lado, vemos sólo a la Oscilación Interdecadal del Pacífico, se tiene mayor influencia en los mares de Amundsen, Bellingshausen y Weddell mientras el índice SAM es más notable en los océanos Pacífico occidental e Indico y en el Mar de Ross.

La estimación de las muestras en conjunto arrojó una tendencia a la disminución de $-0,03^\circ$ de latitud por década, con un 99% nivel de confianza. De acuerdo con estos resultados, durante el siglo XX habría existido una tendencia marcada a la disminución, que fue más o menos homogénea hasta los años 80, donde esta tendencia se habría revertido exhibiendo un aumento en todos los sitios muestreados, asociándolo a la presencia de oscilaciones atmosféricas como el índice SAM (Southern Annular Mode), que es el modo de variabilidad más predominante en el hemisferio sur, como también al IPO (Interdecadal Pacific Oscillation).

Figura 6: (a) Reconstructed (gray) and satellite-derived (black) total NLSIE for the Antarctic (NLSIE_Ant) as annual (thin lines) and running decadal averages (red thick lines). (b) Trends for NLSIE_Ant with differing start years and interval lengths. All trends significant at the 95% level are stippled.

Fuente: Yang J, Xiao C, Liu J, Li S, Qin D. (2021).



El año recién pasado, en un blog, se dice que el hielo marino no volvió a los niveles esperados en comparación con el periodo 1981-2010, de acuerdo con la información que posee el Centro nacional de Datos de Hielo y Nieve (NSIDC por sus siglas en inglés), que está a 2,6 millones de km² por debajo del promedio de este periodo y que está creciendo ahora último más lentamente que cualquier otro invierno desde 1978. En esta publicación, señalan que los científicos no tienen claro las razones de por qué estaría sucediendo esto. Se especula lo que pasará este verano 2024 en la Antártica con el hielo marino, cuya retirada debió haber comenzado en septiembre del año 2023, coincidiendo con las condiciones primaverales.

Hasta aquí, todas las referencias presentadas están de acuerdo en que la extensión del hielo marino ha ido disminuyendo no sólo durante estos últimos años de era satelital, sino que lo lleva haciendo hace centurias, según el proxy del MSA.

Si la totalidad de publicaciones estuviesen de acuerdo con estos resultados, la exposición terminaría aquí y sería un mero relato informativo de la cronología de estudios sobre el tema. Pero resulta que las opiniones y los estudios no coinciden con este punto de vista. Dentro del mismo periodo considerado de estudios, existen también publicaciones que hablan del aumento de la extensión del hielo marino antártico y la propensión a que esta situación no cambie dentro del corto plazo. Cavalieri y colegas, allá por 1997, dijeron que la extensión del hielo marino disminuyó en algunas áreas mientras aumentó en otras, pero que ésta última superó a la disminución en un 20% aproximadamente, todo en base a información satelital. Señalan que la variabilidad interanual y decadal es significativa, por lo que acusan la presencia de oscilaciones atmosféricas y oceanográficas que estarían influyendo en su comportamiento, tal como reconocen los autores que trabajaron en los mares antárticos de Ross, Bellingshausen, Amundsen y Weddell.

Desde otra fuente, el año 2002 la NASA publica un artículo diciendo que los satélites muestran aumentos

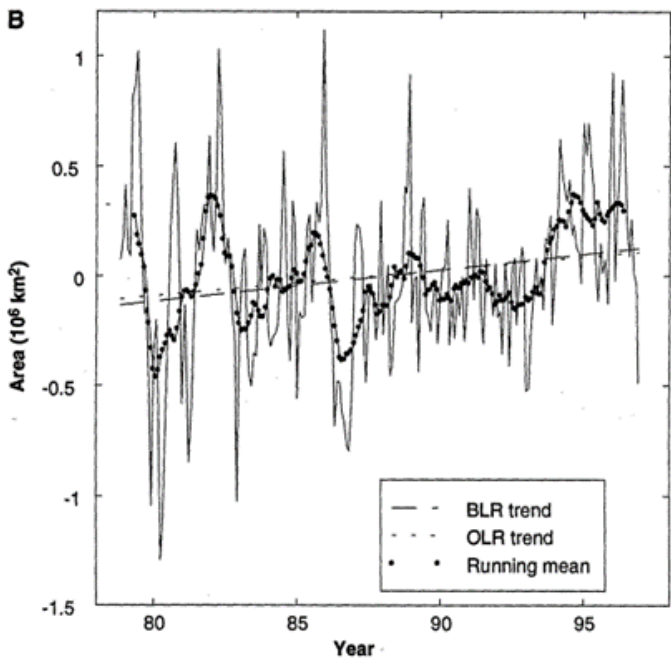
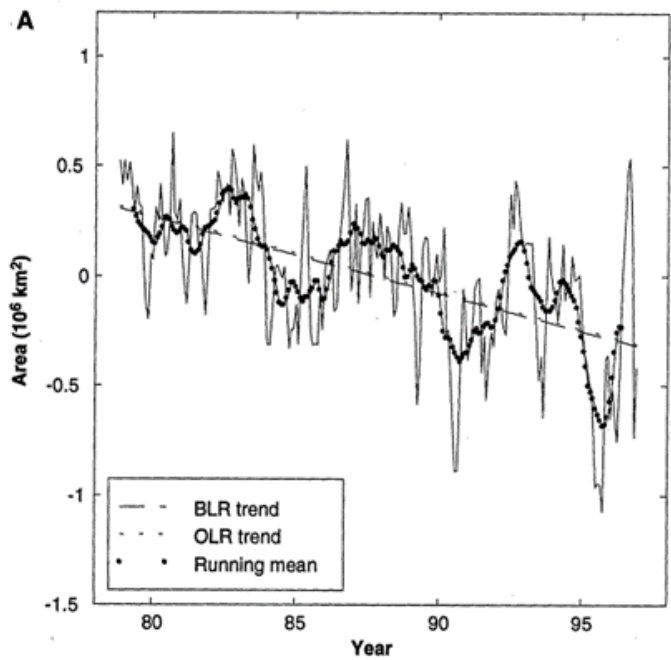


generales en la capa de hielo marino y que este aumento comenzó a finales de los años 70. Realiza un notable alcance sobre la variabilidad espacial: el Mar de Ross habría tenido en promedio temporadas de hielo marino más largas, mientras que la mayor parte del mar de Amundsen y casi todo el mar de Bellingshausen tuvieron temporadas cada vez más cortas. A su vez, destacan que la única zona que ha tenido un calentamiento durante el periodo observado es la Península Antártica en su vertiente occidental, en la que se hayan los mares de Bellingshausen, Amundsen y Weddell, donde las temporadas de hielo marino se han ido acortando.

Figura 7: El continente antártico y sus principales mares.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44756870>

De Antarctica and the Southern Ocean-es.svg: Rowanwindwhistler (discusión · contribs.).



Al año siguiente, un reporte desde Australia indica que, tras el análisis de datos meteorológicos de la estación Casey, se encontró que tuvo periodos cálidos desde 1957, donde comienza el registro hasta finales de los años 70 observando las temperaturas de invierno, lo que pudo haber incidido en la extensión del hielo marino. Sin embargo, en los años 90 se aprecian veranos más fríos y una caída de la temperatura media anual de invierno junto con la media anual, mostrando enfriamiento desde fines de los años 90.

Figura 8: Monthly deviations in sea ice extent (light solid curve) with both BLR (long-dashed) and OLR (short-dashed) trend lines for (A) the Arctic and (B) the Antarctic. A 12-month running mean (curve with dots) is also shown for both.

Fuente: Cavalieri, D. J., et al. "Observed Hemispheric Asymmetry in Global Sea Ice Changes." *Science*, vol. 278, no. 5340, 1997, pp. 1104–06.

Casey Station, Antarctica (Australian)

Seasonal Mean Temperatures 1957-2000

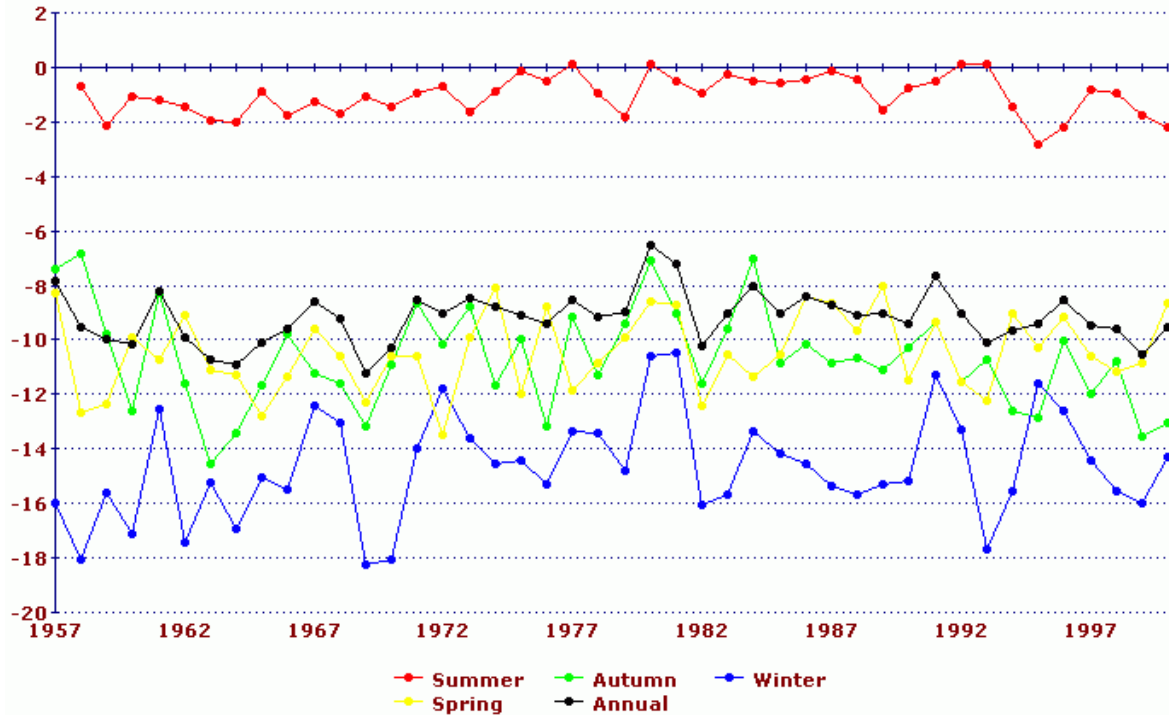


Figura 9: La estación australiana de Casey, (66.3S 110.5E) muestra su registro de temperaturas medias desde 1957 que se presenta más abajo, incorporando al invierno (azul), al verano (rojo), la primavera (amarillo), el otoño (verde) y las temperaturas medias anuales (línea negra que, de paso, muestra una tendencia al enfriamiento, en particular desde 1997).

Fuente: Fundación Argentina de Ecología Científica FAEC. <https://www.mitosyfraudes.org/Articulos.html>

En un artículo de la Real Sociedad de Reino Unido del año 2015 (recientemente aparece sólo en la BBC News), ésta se pregunta por qué razón está disminuyendo el hielo marino del Ártico y no el de la Antártica. Esta reflexión la hacen en el contexto de los mínimos históricos que ha presentado el Ártico mientras que en la Antártica entre 1979 y 2014 ha tenido un ligero aumento en su extensión, generalizando, puesto que no se puede perder de vista que la Península Antártica tiene una dinámica diferente debido a su localización geográfica y su relieve accidentado.

Finalmente, algunos científicos se muestran sorprendidos por el patrón al enfriamiento observado en la Antártica, estadísticamente significativa. Esto gracias a un estudio publicado en 2021 donde se mostró un conjunto de datos de reanálisis de ERA5 en 2017 y se comparó con mediciones de 41 estaciones meteorológicas. La pauta dominante encontrada fue de enfriamiento para la Antártica Oriental y Occidental, mientras que hay una predisposición al calentamiento en la Península Antártica, que, comparativamente hablando, es una tendencia bastante mínima en contraste con el resto del continente helado, cuyos dos tercios se estarían enfriando a razón de 0,7°C por década durante los últimos 40 años, con un enfriamiento de 2,8°C desde 1980. Habría que ver si este patrón mostrado por el resto del continente se pudiese a percibir en un futuro en la Península Antártica.

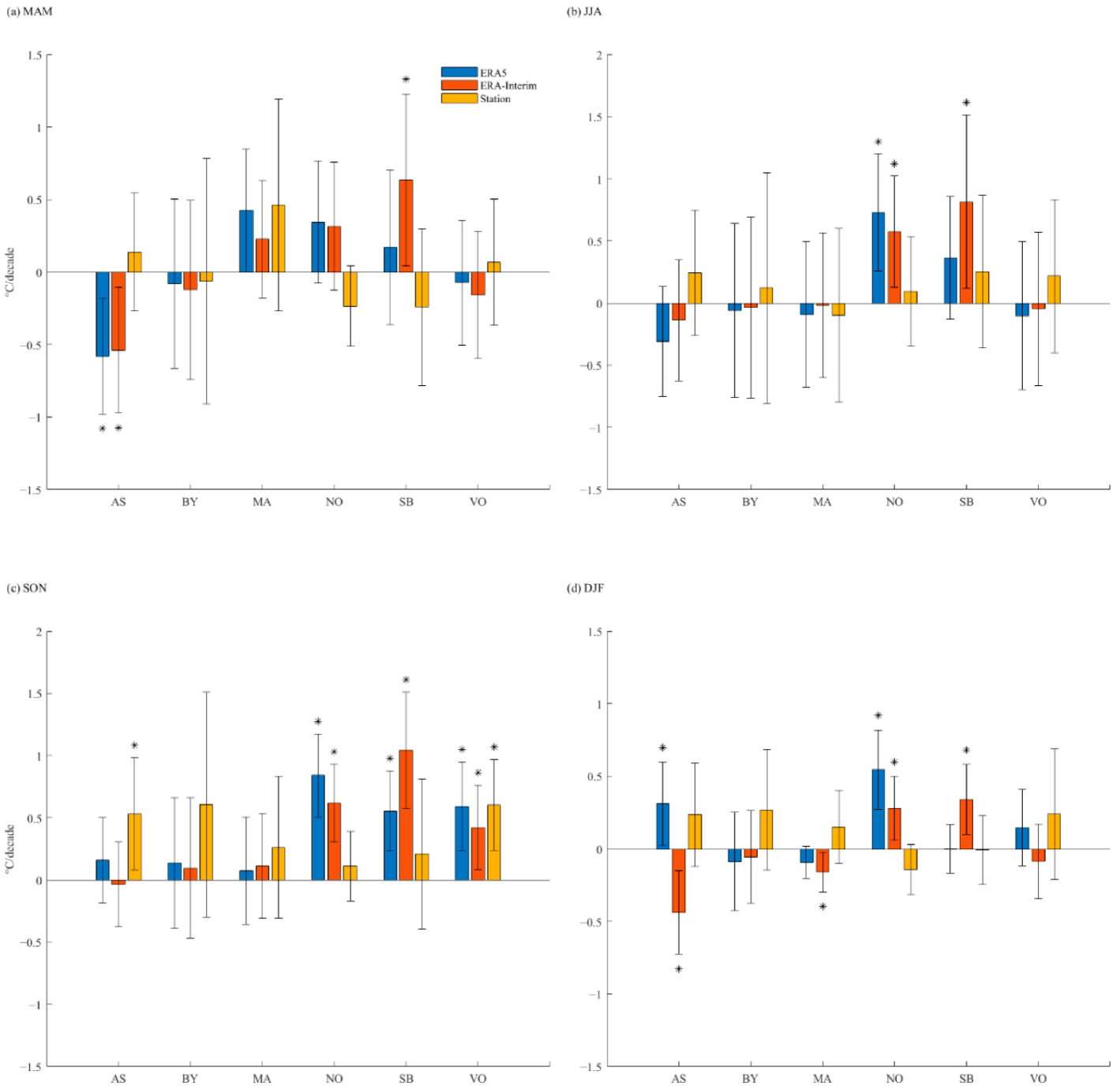


Figura 10: Comparación de tendencias entre reanálisis y observaciones en seis estaciones seleccionadas, para las estaciones australes de otoño (a), invierno (b), primavera (c) y verano (d) durante el período 1979-2018. AS = Amundsen-Scott; POR = Byrd; MA = Marambio; NO = Novolazarevskaya; SB = Base Scott; VO = Vostok. “*” representa que la tendencia es significativa en el intervalo de confianza del 95%.

Fuente: Zhu J, Xie A, Qin X, Wang Y, Xu B, Wang Y. An Assessment of ERA5 Reanalysis for Antarctic Near-Surface Air Temperature. *Atmosphere*. 2021; 12(2):217. <https://doi.org/10.3390/atmos12020217>

CONCLUSIONES

Después de esta somera descripción de los estudios que se han hecho sobre el SIE, caben algunas conclusiones a partir de ellos, aunque aún no hay una postura común que sea concluyente.

Los trabajos que encontraron una disminución del SIE, basados en el proxy MSA al parecer van muy bien encaminados, en vista del proceso biogeoquímico que respalda a esta técnica. Por su parte, la información satelital está respaldada en datos medidos en tiempo real, por lo que pueden ser un excelente aliado a la técnica mencionada. Sin embargo, en la exposición precedente, los resultados arrojados por ambas técnicas difieren. Pero antes de buscar explicaciones a estas diferencias, hay que indagar en la forma en que fueron utilizadas. Las conclusiones alcanzadas por el estudio de Curran son muy relevantes porque conceden una gran importancia a los resultados del MSA y, si se considera esto desde este punto de vista particular, en que se utilizó una reducida serie satelital, esto tendría bastante asidero, ya que la ventana de visión satelital es comparativamente más pequeña y por tanto son muchos los años con registro en blanco durante el siglo XX, por lo que la conclusión de estos investigadores es lícita y lógica. Si bien es cierto el hallazgo es importante, lo encontramos localizado en ese sector geográfico en particular y con un solo testigo de hielo. Los mismos científicos comentan que puede haber mucha otra variabilidad natural dando vueltas, suavizada por otros efectos regionales que se vuelven muy dominantes cuando se reduce el zoom de la vista, en un principio tan panorámica. Estas fluctuaciones propias de la región camuflarían la “real tendencia” en toda la Antártica para la era satelital, es decir, reconocieron que “el corto periodo de observación satelital puede estar empapado de todos estos efectos”, puesto que constituye una observación directa, no una simulación informática. Sin embargo, cuando se llevan las cosas al plano estadístico, la buena correlación del MSA con el SIE tiene mucho más peso que otras consideraciones al momento de sus conclusiones y por esa razón apoyan el uso de MSA como un eventual proxy para este tipo de indagaciones.

Ahora, desde el punto de vista de la representatividad del estudio, éste queda supeditado a ese punto específico geográfico y no al resto de la Antártica, como se dijo. Por ende, declarar que el continente está experimentando un declive en su SIE desde los años cincuenta (y no hacer mención que se trata de un sitio puntual) genera una estela de duda, pues el trabajo parece tendencioso, dentro de su correcta exposición científica. Aunque también encontraron disminución Abram et al. utilizando ambos métodos, cuando contrastan con la información satelital los datos indican aumento del SIE. No obstante, en su conjunto y como tendencia dominante, haya disminución del hielo marino.

Cabe hacer notar que Parkinson et al. utilizó solamente información satelital que, según el método de cuadrícula que poseen satélites especializados, cuya metodología consiste en calcular concentraciones de hielo marino cuadrículadas en proyecciones estereográficas polares y áreas de celdas de 625 km², les permitió estimar la cobertura porcentual de área de hielo marino para determinar su presencia con concentraciones de al menos 15% y el algoritmo creado por la NASA; de acuerdo con lo señalado, los intervalos de máxima y mínima presencia de hielo marino estarían bien definidos y esto en realidad puede lograrse, porque los satélites cuentan con la resolución temporal para definirlos (a los intervalos). Hay que hacer notar también que, cuando se utiliza la técnica satelital, los resultados vienen expresados en años y km² de extensión, en cambio, con el MSA, se obtienen significancias estadísticas, niveles de confianza e intervalos anuales mucho más anchos, que no son menores normalmente de las decenas de años. Conforme a esto, los dos métodos deben complementarse para afinar los análisis posteriores.

En un caso distinto, al utilizarse los seis sitios con testigos de hielo, el MSA no es concluyente, debido a que, al considerar 200 años de estudio, las oscilaciones atmosféricas y oceanográficas aparecen para agregarle un condimento extra al estudio. Y es que nivelar estadísticamente las observaciones o conclusiones del MSA no bastan para explicar comportamientos diferentes en los alrededores de la Antártica. Por un lado, se tiene el SAM y por el otro el IPO y ambos, de base, no siempre coinciden, por lo que se tendrían distintos escenarios en una misma región geográfica. Señalar, entonces, que el SIE de la Antártica está en franco declive es muy aventurado y carente de rigurosidad científica. Este estudio a su vez corrobora los dichos de Cavallieri et al., quienes resaltan justamente este detalle: las oscilaciones atmosféricas y oceanográficas son muy relevantes entorno a la Antártica, tanto así que no es tan fácil pronunciarse y eso que ellos trabajaron con información satelital. Allí donde el SIE disminuye en el lado opuesto aumenta, es decir, que se presentan los movimientos polares rítmicos y cíclicos que imperan en los sistemas naturales.

También es importante mencionar que los trabajos que encontraron una tendencia al aumento del hielo marino fueron hechos con sustento satelital y de registros de estaciones meteorológicas, es decir, observación *in situ*, por lo que no se pueden obviar estos resultados. Como sea, actualmente ya se ha aceptado que hay una propensión al enfriamiento estadísticamente significativa. Esto no debería ser motivo de sorpresa, puesto que los estudios e investigaciones llevados a cabo dentro de la Antártica han mostrado que se mantiene estable y que en realidad tiene una inclinación marcada hacia el enfriamiento. El hielo marino, en su conjunto, obedece mas a cuestiones regionales y características geográficas concretas de cada uno de los mares que rodean a este continente. Sus fluctuaciones son estacionales y el que haya mas hielo marino en un año que en otro resalta las variaciones que año tras año se presentan en estas latitudes, que a su vez están conectadas con todo el aparataje atmosférico y oceanográfico que las rodea. En resumidas cuentas, el hielo marino antártico es una expresión de cómo han variado y se han fortalecido o debilitado los modos de oscilación y que tanto han sido estos últimos alimentados por el balance de energía global, esto es, por la influencia solar.

En definitiva, ¿qué método es mejor? Los diferentes resultados obtenidos de estos trabajos nos indica que la naturaleza y extensión de las mediciones (directas en el caso de los satélites e indirecta con el proxy) tienen mucha relevancia e importancia para las conclusiones alcanzadas. Me parece que la metodología a aplicarse debe ser evaluada de acuerdo con la naturaleza de la investigación. A fin de cuentas, la resolución temporal de los métodos que se utilicen nos entregará las fluctuaciones que son capaces de detectar. Si se logra en un futuro aproximarnos a un nivel de detalle que nos permita analizar intervalos temporales más pequeños en ambos métodos, esto redundaría en directo beneficio del estudio mismo y ayudaría a incrementar el conocimiento científico.

REFERENCIAS

- Mark A. J. Curran, et al. "Ice Core Evidence for Antarctic Sea Ice Decline since the 1950s." *Science*, vol. 302, no. 5648, 2003, pp. 1203–06. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/3835496>. Accessed 15 Apr. 2024.
- Abram, N. J., E. R. Thomas, J. R. McConnell, R. Mulvaney, T. J. Bracegirdle, L. C. Sime, and A. J. Arístarain (2010), Ice core evidence for a 20th century decline of sea ice in the Bellingshausen Sea, Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 115, D23101, doi:10.1029/2010JD014644.
- Claire L. Parkinson, Nicolo E. DiGirolamo, Sea ice extents continue to set new records: Arctic, Antarctic, and global results, *Remote Sensing of Environment*, Volume 267, 2021.

- Yang J, Xiao C, Liu J, Li S, Qin D. Variability of Antarctic sea ice extent over the past 200 years. *Sci Bull (Beijing)*. 2021 Dec 15;66(23):2394-2404. doi: 10.1016/j.scib.2021.07.028. Epub 2021 Jul 21. PMID: 36654125.

- DJ Cavalieri et al. Observed Hemispheric Asymmetry in Global Sea Ice Changes . *Science***278** 1104-1106 (1997).

- Zhu, J.; Xie, A.; Qin, X.; Wang, Y.; Xu, B.; Wang, Y. Evaluación del reanálisis ERA5 de la temperatura del aire cercano a la superficie antártica. *Atmósfera* **2021** , 12 , 217. <https://doi.org/10.3390/atmos12020217>

REFERENCIAS WEB

BBC NEWS 2015

https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/11/151109_hielo_antartica_artico_lp

Infobae

<https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2023/07/31/por-que-alerta-a-los-cientificos-la-reduccion-del-hielo-marino-en-la-antartida-en-2023/>

NASA

<https://www.sciencedaily.com/releases/2002/08/020823062734.htm>