

Tendencias recientes en la extensión

DEL HIELO MARINO

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ. AEMET, MADRID

Crece la extensión de hielo en la Antártida

En la Antártida ahora es el comienzo del verano, y la extensión de hielo marino está cerca de “récorde” históricos, de acuerdo al National Snow & Ice Data Center (NSIDC). En noviembre la extensión de hielo marino ha sido el valor más alto de la serie que comienza en 1979 con observaciones con satélite y en diciembre ha sido el segundo valor más alto de la serie (ver figura 1).

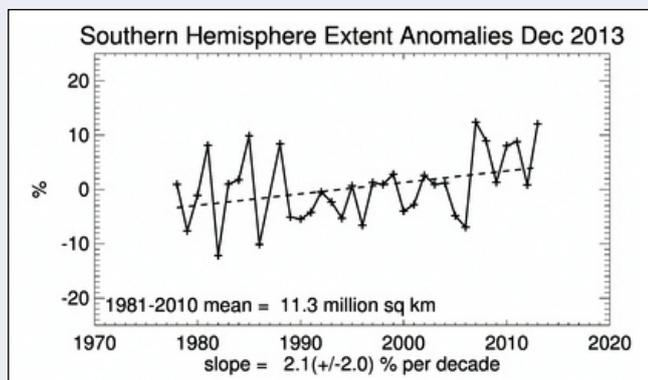


Fig. 1: Anomalías de la extensión del hielo marino austral en diciembre. Fuente: National Snow and Ice Data Center

Para una análisis más detallado y sistemático de las tendencias en la extensión de hielo marino de los últimos 36 años en que se cuenta con observaciones con satélite homogéneas he utilizado las series de extensión de hielo marino desde 1978 que proporciona en su página web el NSIDC. Para una valoración del grado de significación estadística de las tendencias encontradas he aplicado el test no paramétrico de Mann-Kendall, muy usual en climatología; pero para tener en cuenta la posible autocorrelación de las series de extensión de hielo cada mes, he utilizado una técnica de bootstrapping que permite evitar que la autocorrelación distorsione los resultados del test. En concreto, he aplicado el bootstrap por bloques con longitud de bloques de media 5 y con distribución de longitudes geométrica (para preservar la estacionariedad).

Los resultados de este análisis de las tendencias en la extensión del hielo marino en el Antártico se recogen en la ta-

bla 1. La primera columna (numérica) es la extensión en 2013 del hielo marino (en millones de km²). La segunda columna da esta misma extensión como porcentaje de la media. Se ve que todos los meses de 2013 estuvieron sobre la media; los que más destacaron fueron febrero y marzo, por más de un 20%. La tercera columna da la posición que el dato de extensión de 2013 ocupa en la serie ordenada de mayor a menor para cada mes del año. Vemos que los meses del periodo agono (final de invierno y primavera australes) de 2013 fueron récord de la serie en cuanto a extensión del hielo. Diciembre de 2013 fue el segundo con más hielo marino.

La cuarta columna refleja el valor de la pendiente de la recta de regresión por mínimos cuadrados ajustada a la serie de extensiones de cada mes, expresada en porcentaje cada 10 años. Todas las pendientes son positivas; los meses del año ordenados por orden decreciente de pendientes son: marzo, febrero, abril, enero, diciembre, mayo, junio, octubre, septiembre, julio, noviembre y agosto. Por tanto son los meses de verano y otoño australes los que muestran las mayores tasas de crecimiento medias en el hielo marino.

MES	Ext 13 (10 ⁶ km ²)	% ext 13	Pos 13†	Pend (%/10 a.)	pv MK	A. ext max	A. ext max 2	A. ext max 3
ENE	5,77	111	8	2,53	0,25	2008	2003	1996
FEB	3,83	125	3	3,58	0,12	2003	2008	2013
MAR	5,32	121	2	3,92	0,03	2008	2013	1994
ABR	8,07	109	5	2,64	0,06	2008	2009	1982
MAY	11,47	106	5	2,23	0,02	2000	2008	2010
JUN	14,65	105	3	1,38	0,03	2010	1979	2013
JUL	17,13	104	2	0,99	0,02	2010	2013	2003
AGO	18,92	104	1	0,77	0,03	2013	2010	2009
SEP	19,77	105	1	1,04	0,02	2013	2012	2006
OCT	19,43	106	1	1,12	0,01	2013	2006	2012
NOV	17,16	105	1	0,91	0,04	2013	2010	2005
DIC	12,63	112	2	2,33	0,02	2007	2013	1985
AÑO	12,85	107	1	1,5	0,005	2013	2008	2010

Tabla 1: Estadísticos de tendencias mensuales y anual de la extensión de hielo antártico (ver texto para explicación)

En la quinta columna se recoge el resultado de la evaluación de la significación estadística de las tendencias. Recordemos que valores más pequeños del p-valor bilateral denotan un grado mayor de la significación estadística de la tenden-

Tendencias recientes en la extensión del hielo marino

cia, creciente para todos los meses/año en este caso. Aquellos meses en que el p-valor bilateral ha sido inferior al 5% se han marcado con negrita en la tabla. Todos lo están salvo enero, febrero y abril (este último muy cerca del nivel crítico del 5%).

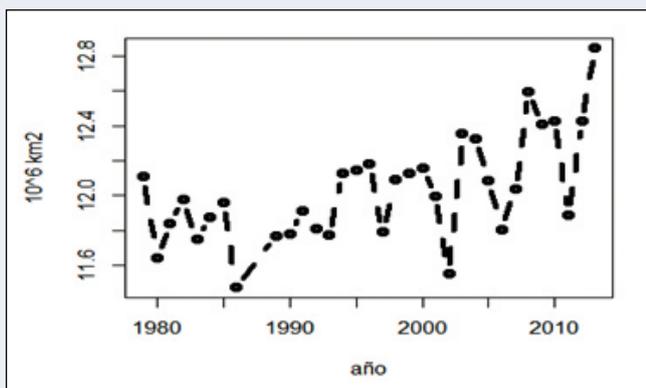


Fig. 2: Serie de extensión del hielo marino austral (promedio anual)

Por último las tres últimas columnas dan para la extensión de cada mes/año los tres años con más hielo marino; vemos que los años dos mil acaparan prácticamente todos los puestos, lo cual por supuesto es coherente con el signo creciente de las tendencias. Cabe concluir del anterior análisis por meses que la extensión de hielo marino en la Antártida está creciendo de forma significativa en todos los meses del año, salvo quizá en enero y febrero. Estos dos meses del verano austral muestran sin embargo fuertes pendientes positivas como refleja la columna cuarta, pero la significación estadística no es concluyente. Esto tiene que ver, a buen seguro, con la mayor variabilidad interanual de las extensiones en estos meses, que permite que las tasas notables de crecimiento medio queden relativamente disimuladas en el “ruido” aleatorio de la serie.

En la última fila de la tabla 1 se refleja el análisis de tendencias para la serie de extensión media anual del hielo marino desde 1979, en la que faltan los años 1987 y 1988 que están incompletos algún mes (esta serie se dibuja en la figura 2). El año 2013 es récord destacado en esta serie, y la significación estadística de la tendencia creciente (1.5 % / 10 años) de esta serie anual es muy alta: el p-valor es inferior al 1%.

Hielo ártico: continúa la fuerte tendencia descendente, con ligera moderación en 2013

En cuanto a la situación del hielo marino en el Ártico la figura 3 muestra que en diciembre último continuó la tónica claramente descendente que ha imperado desde que existen las observaciones con satélite. El hielo ocupaba una extensión de

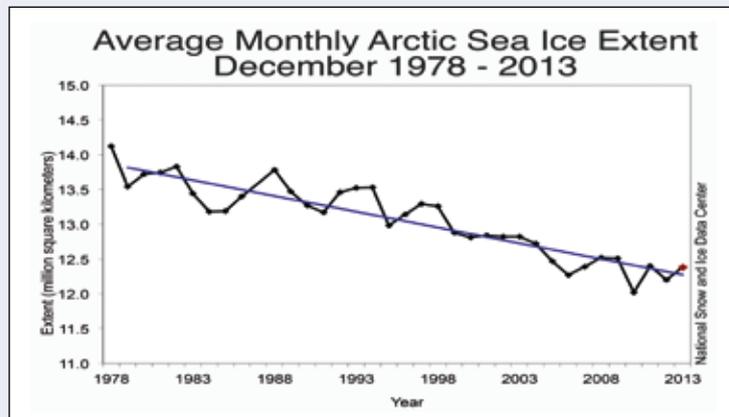


Fig. 3: Serie de extensión del hielo marino ártico en diciembre
Fuente: National Snow and Ice Data Center

12.38 millones de km² en diciembre último, lo que supone el 4º valor más bajo de la serie de extensiones de hielo en diciembre (ver la tabla 2 con los estadísticos de las tendencias, la interpretación como en la tabla 1 salvo que las posiciones de la columna Pos13 corresponden a la serie ordenada en sentido creciente). La columna de la tabla 2 con las pendientes de las rectas de regresión (en % / 10 años) muestra valores negativos de las pendientes que son superiores claramente en valor absoluto a los de las pendientes de la tabla 1. En concreto en diciembre la pendiente es para el hielo ártico de -3.45 % / 10 años, mientras que para el hielo antártico es de 2.33 % / 10 años. Acorde con esto los valores del nivel de significación alcanzado por el test de tendencia son claramente más determinantes (por supuesto aquí para tendencia decreciente) que en el caso antártico: de hecho todos ellos son del orden del 1 por mil, un orden de magnitud más significativos que en el caso del Antártico.

MES	Ext 13 (10 ⁶ km ²)	% ext 13	Pos 13l	Pend (%/10 a.)	pv MK	A. ext min	A. ext min 2	A. ext min 3
ENE	13.78	95	6	-3.28	2. E-04	2011	2006	2005
FEB	14.66	96	7	-2.97	2. E-04	2005	2011	2006
MAR	15.04	97	5	-2.55	2. E-04	2006	2011	2007
ABR	14.37	97	8	-2.38	3. E-03	2007	2006	2005
MAY	13.1	98	10	-2.27	3. E-03	2004	2006	2011
JUN	11.58	98	11	-3.66	< E-04	2010	2012	2011
JUL	8.45	88	5	-7.46	2. E-04	2011	2012	2007
AGO	6.09	86	6	-10.75	4. E-04	2012	2007	2011
SEP	5.35	84	6	-13.89	1. E-03	2012	2007	2011
OCT	8.1	92	6	-7.19	2. E-03	2007	2012	2011
NOV	10.24	94	6	-4.84	2. E-03	2006	2010	2012
DIC	12.38	95	4	-3.45	8. E-04	2010	2012	2006
AÑO	11.09	95	6	-4.49	< E-04	2012	2011	2007

Tabla 2: estadísticos de tendencias mensuales y anual de la extensión de hielo ártico (ver texto para explicación)

Los meses del año ordenados por tasa de decrecimiento, de mayor decrecimiento a menor, son: septiembre, agosto, julio, octubre, noviembre, junio, diciembre, enero, febrero,

marzo, abril y mayo. Por tanto los meses de verano y principios de otoño son los que muestran mayores tasas de decrecimiento. En septiembre, con una extensión en 2013 de 5.35 millones de km², la segunda columna muestra esto sólo representa un 84% de la extensión de hielo media de la serie de los últimos 36 años. Con todo, este año pasado hubo una recuperación de hielo ártico espectacular este mes, pues el año 2012 hubo solo 3.63 millones de km²; por tanto ha habido un incremento de casi un 50% en un año (ver figura 4).

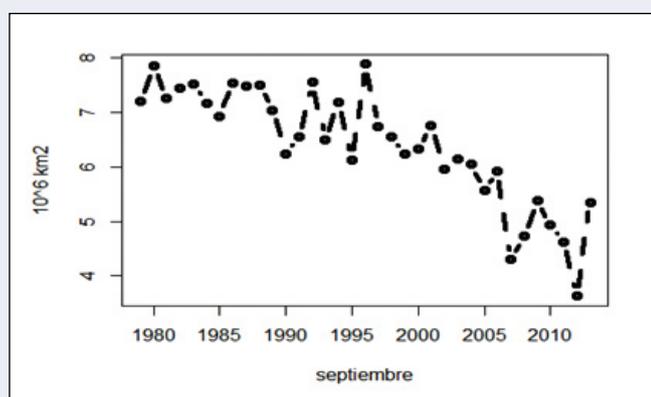


Fig. 4: Serie de extensión del hielo marino ártico en septiembre.

En la última fila de la tabla 3 se recogen los estadísticos de tendencia para la serie de extensión media del hielo anual. Los valores más bajos de esta serie (ver también la figura 5 en que se ha dibujado la serie anual) corresponden a los años 2012, 2011 y 2007. En el 2013 hubo cierta recuperación de la extensión media anual del hielo boreal, que fue de un 95% respecto de la extensión media de la serie desde 1979.

La columna de las posiciones de 2013 y la del porcentaje de extensión de 2013 respecto a la media de la tabla 3 muestran que la recuperación de hielo ártico fue mayor en el periodo primaveral marzo-junio; incluso en los meses de mayo y junio la extensión de hielo llegó a un 98% de la media 1979-2013.

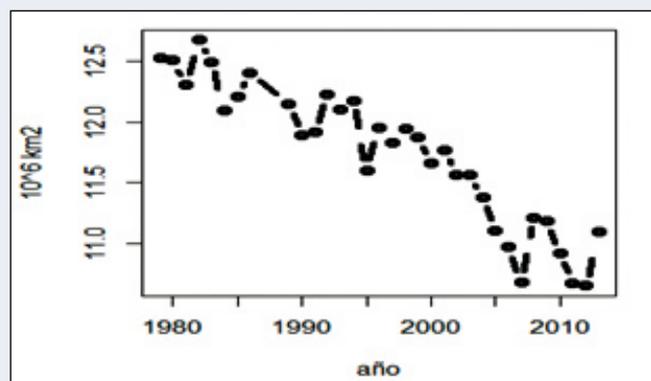


Fig. 5: Serie de extensión del hielo marino ártico (promedio anual)

Hielo marino polar total (ártico + antártico)

Podemos sumar las dos series de hielo marino polar en ambos polos y analizar su evolución. Para el promedio anual de la extensión del total polar la figura 6 muestra que la tendencia ha sido decreciente.

MES	Ext 13 (10 ⁶ km ²)	% ext 13	Pos 131	Pend (%/10 a.)	pv MK 0.004	A. ext min 2011	A. ext min 2 2007	A. ext min 3 2006
AÑO	23.94	101	21	-1.46	0.004	2011	2007	2006

Tabla 3: estadísticos de tendencias anuales de la extensión de hielo marino polar total (ver texto para explicación)

En la tabla 3 se han recogido los mismos estadísticos para caracterizar la tendencia de esta serie que en las tablas 1 y 2, pero solo para el promedio anual. El año 2013 ha tenido una extensión helada un 1% superior a la media de los últimos 35 años, lo cual es notable en el contexto de la tendencia general decreciente; su posición en la serie ordenada en sentido creciente es 21, superior a la media que es 18. La pendiente obtenida por regresión lineal de esta serie es -1.46 % / 10 años, que resulta tener un alto grado de significación estadística con el test descrito al principio, inferior al 1%. El año de extensión mínima hasta la fecha ha sido el 2011 (seguido por el 2007 y 2006).

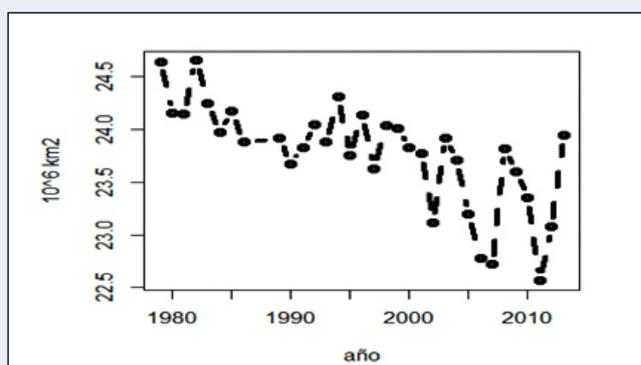


Fig. 6: Serie de extensión del hielo marino ártico+antártico (promedio anual)

Llama la atención en esta serie (ver fig. 6) que desde aproximadamente el año 2000 la serie ha oscilado bastante más que en el periodo anterior 1979-1999. De hecho el valor cuadrático medio de los residuos respecto a la recta de regresión para los años anteriores a 2000 es de 0.24, mientras que para los posteriores al 2000 inclusive es de 0.44: casi se duplica. La figura 2 muestra que algo de esto también aparece en la serie promedio anual de extensión de hielo marino austral (aquí los valores respectivos de medias cuadráticas de residuos son 0.18 y 0.30) Todo esto parece intrigante, ¿apuntará a alguna creciente inestabilidad del sistema climático?