

Variabilidad de las temperaturas en la Antártida

Eugenia M. Garbarini¹, María de los Milagros Skansi¹,

¹ Servicio Meteorológico Nacional, Av. Dorrego 4019, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
egarbarini@smn.gob.ar

Abstract. Diversos estudios han documentado cambios sustanciales en las temperaturas antárticas, especialmente en la región de la Península. En este trabajo se ha evaluado el comportamiento de las temperaturas en seis bases permanentes de Argentina en Antártida, analizando la variabilidad, tendencias y extremos a partir de datos diarios de temperatura media, mínima y máxima. En líneas generales, se observó un aumento sostenido de las temperaturas anuales en todas las bases, siendo San Martín la que presenta las mayores tendencias. Se identificaron años con temperaturas récord, revelando patrones consistentes de calentamiento en años recientes, con 2021, 2022 y 2023 destacando como algunos de los más cálidos en la mayoría de las bases. Además, se analizaron las tendencias de los valores máximos y mínimos diarios, mostrando un calentamiento significativo en el noreste de la Península Antártica, especialmente en Orcadas y Esperanza, y en el oeste de la Península en San Martín.

Keywords: variabilidad climática, temperatura, Antártida.

1 Introducción

El sector antártico es fundamental para mantener el equilibrio climático y ecológico a nivel global. La Antártida no sólo es un indicador clave de lo que sucede a nivel mundial, sino que también actúa como un regulador al influir en los patrones climáticos y la circulación oceánica a escala planetaria. Para Argentina, la Antártida tiene un interés estratégico y científico esencial. El país mantiene una presencia significativa en la región, con bases de investigación científica y una participación activa en los tratados internacionales que regulan el uso y la protección del territorio antártico. Además, la exploración y el estudio del sector antártico son cruciales para comprender los procesos climáticos globales y sus efectos en el hemisferio sur, lo que contribuye a la formulación de políticas ambientales y decisiones políticas tanto a nivel nacional como internacional.

En la Antártida, Argentina gestiona trece estaciones, de las cuales seis operan de forma permanente durante todo el año, mientras que las demás sólo funcionan de manera temporal durante el verano. Estas bases, distribuidas en diferentes regiones, proporcionan datos climáticos fundamentales para comprender la variabilidad y los

cambios en el clima antártico. Dentro de las bases permanentes, Carlini y San Martín se encuentran en el sector occidental de la Península Antártica; Marambio, Esperanza y Orcadas en el noreste de la misma y Belgrano II en la Bahía Vahsel, al sur del mar de Weddell.

En las últimas décadas, diversos estudios han investigado la variabilidad interanual y las tendencias en las temperaturas de superficie en la Antártida a partir de datos de estaciones, con el fin de estimar si ha habido cambios sustanciales en las mismas. Estudios previos [1] [2] [3] han identificado cambios significativos en el clima pero éstos no son uniformes en todas las áreas ni en el tiempo. Por ejemplo, se documentaron tendencias de calentamiento a lo largo de la Península Antártica occidental particularmente en invierno y primavera [4] [5] [6] [7] [8], a la vez que se observó un calentamiento significativo sobre el noreste de la Península desde mediados de 1950 [9] [10], especialmente durante el verano, aunque la tasa de calentamiento ha disminuido en décadas recientes [8].

Por otro lado, el estudio de la ocurrencia de extremos climáticos ha sido de gran interés en los últimos tiempos. Dentro de los grupos internacionales que han avanzado en el conocimiento y estudio de los cambios globales de los extremos climáticos se han formulado una serie de índices calculados a partir de datos diarios de temperatura y de precipitación, con el fin de analizar y monitorear la ocurrencia de extremos de manera global. Los estudios basados en extremos de temperatura, al ser ampliamente dependientes de la distribución geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas, su longitud y completitud, se han centrado principalmente en el sur de América del Sur. En la región Antártica, se estudió en profundidad los cambios en la base Orcadas a partir de registros de temperatura diaria, demostrando que existe un calentamiento estadísticamente significativo en las cuatro estaciones del año desde 1950, donde el calentamiento de los extremos fríos excede sustancialmente el calentamiento de la media o de los días más cálidos [11].

En este contexto, este trabajo tiene como objetivo explorar el comportamiento de la temperatura media, máxima y mínima en las bases antárticas argentinas permanentes en términos de su variabilidad, tendencia y extremos con el fin de documentar los posibles cambios en los registros haciendo énfasis en los cambios a nivel anual. Para simplificar el análisis y lectura se mostrarán los resultados gráficos de Marambio.

2 Datos y metodología

Se tuvieron en cuenta datos diarios de temperatura media, máxima y mínima para las seis bases permanentes gestionadas por Argentina (Tabla 1, Fig.1).

Tabla 1. Datos de las bases antárticas argentinas en operación permanente consideradas en este estudio.

Nº OMM	Nombre Estación	Lat. (°)	Lon. (°)	Altura (m)	Periodo analizado
88963	Base Esperanza	-63,39	-56,99	24	1/1/1961 a 31/12/2023
88968	Base Orcadas	-60,73	-44,73	12	3/1/1951 a 31/12/2023
89034	Base Belgrano II	-77,87	-34,62	256	1/4/1980 a 31/12/2023

89053	Base Carlini	-62,23	-58,66	11	1/5/1985 a 31/12/2023
89055	Base Marambio	-64,24	-56,62	198	1/1/1971 a 31/12/2023
89066	Base San Martín	-68,13	-67,10	7	1/3/1976 a 31/12/2023

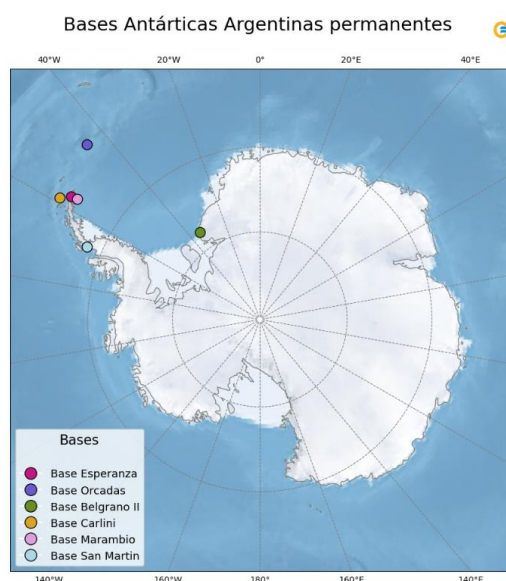


Fig. 1. Mapa de las bases antárticas argentinas en operación permanente consideradas.

En primera instancia, se calcularon las series anuales de temperatura media, mínima y máxima promedio para cada ubicación. Para cada una de estas series temporales se estimó la tendencia lineal a través del método de regresión lineal de Theil-Sen [12] [13], el cual propone una recta de regresión lineal de la forma:

$$Y = M X + B . \quad (1)$$

Donde M es la pendiente de la recta de regresión lineal calculada tomando la mediana de las pendientes $m_{i,j}$ entre los pares de puntos de datos (x_i, y_i) y (x_j, y_j) calculadas individualmente como:

$$m_{i,j} = (y_j - y_i) / (x_j - x_i) \quad \text{Si } x_i \neq x_j \quad (2)$$

Y donde B es la ordenada al origen de la recta calculada de forma análoga, es decir, tomando la mediana de las ordenadas al origen b_i calculadas previamente resolviendo para cada punto (x_i, y_i) la ecuación:

$$y_i = m x_i + b_i \quad (3)$$

Este método no paramétrico presenta ciertas ventajas frente a otros métodos frecuentemente utilizados ya que es particularmente poco sensible a outliers y no exige la hipótesis de distribución Normal de los datos, lo que lo vuelve más robusto.

A su vez, la significancia de dichas tendencias lineales fue testeada a través del test no paramétrico de tendencia de Mann-Kendall [14] [15], el cual propone como hipótesis nula (H_0) que no hay tendencia presente en los datos y como hipótesis alternativa (H_a) que los datos presentan una tendencia, la cual puede ser positiva o negativa. Para este estudio se tomó un nivel de significancia de 5% para realizar dicho test, por lo que si el p-valor que se desprende del test es menor que 0.05 entonces H_0 es rechazada y hay evidencia estadística significativa para afirmar que los datos presentan una tendencia lineal con un 95% de confianza.

Para el estudio de la ocurrencia de extremos de temperatura, se elaboraron los rankings de los diez años con mayores y con menores valores de temperatura media, mínima y máxima a partir de las series de promedios anuales. Por otro lado, para cada base antártica se calcularon las series de máximo y mínimo valor anual de la temperatura máxima diaria y de la temperatura mínima diaria (TMAX Máx., TMAX Mín., TMIN Máx., TMIN Mín. respectivamente). Esto se replicó para la temperatura media (TMED Máx., TMED Mín.) con el fin de caracterizar de forma análoga los extremos de esta variable. A dichas series anuales se les calculó su tendencia lineal y se testeó la significancia estadística repitiendo el procedimiento antes mencionado, con el fin de profundizar en el estudio de la ocurrencia de los máximos diarios de temperatura y los posibles cambios presentes en su intensidad a lo largo de los años.

3 Resultados y discusión

3.1 Análisis del comportamiento anual de la temperatura

A partir de las series anuales de temperatura media, mínima y máxima se calcularon la media y el desvío para cada base antártica (Tabla 2).

Tabla 2. Valores medios anuales junto a su desvío estándar entre paréntesis.

Estación	TMED (°C)	TMIN (°C)	TMAX (°C)
Base Esperanza	-4,83 (1,16)	-8,31 (1,17)	-1,14 (1,18)
Base Orcadas	-3,25 (0,84)	-6,19 (1,14)	-0,41 (0,75)
Base Belgrano II	-13,29 (0,83)	-17,36 (0,86)	-9,87 (0,85)
Base Carlini	-1,65 (0,80)	-4,00 (0,95)	0,63 (0,68)
Base Marambio	-8,26 (1,31)	-11,56 (1,24)	-4,64 (1,35)
Base San Martín	-4,70 (1,38)	-8,37 (1,63)	-1,35 (1,23)

Se puede observar que Carlini es la base más cálida (en términos de las tres temperaturas) y a la vez la que presenta menor variabilidad anual (en términos de TMED y TMAX). Belgrano II, y en concordancia a su emplazamiento (Fig.1) es la base más fría en términos anuales. Tanto Marambio como San Martín presentan mayor variabilidad anual en sus temperaturas, y a pesar de que Marambio se encuentra más al norte que San Martín, y posiblemente debido a su localización y su altura, presenta condiciones anuales más frías en sus tres temperaturas.

También, se analizaron gráficamente las series anuales de temperatura media, mínima y máxima para las seis bases junto a sus correspondientes rectas de regresión lineal y su test de significancia (Fig.2 y Tabla 3)

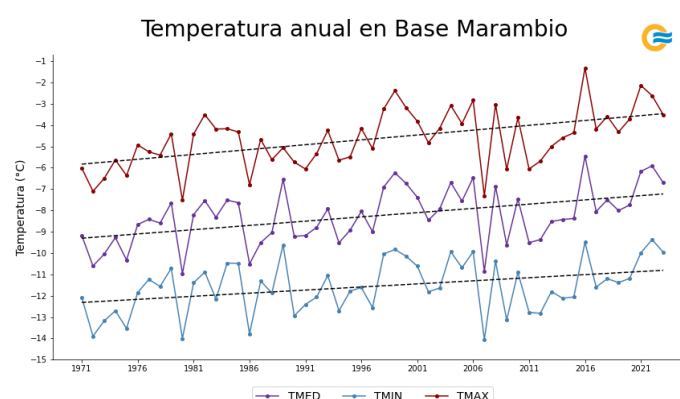


Fig. 2. Promedio anual de la temperatura media (*línea violeta*), temperatura mínima (*línea azul*) y temperatura máxima (*línea roja*) junto a sus correspondientes rectas de regresión lineal (*líneas punteadas*) para la Base Marambio.

Tabla 3. Valores de la ecuación de regresión lineal y su correspondiente resultado del test de significancia de la pendiente considerando un 95% de confianza.

Estación	Variable	Ecuación	Significancia
Base Esperanza	TMED	$0.03 x - 5.87$	Significativa
	TMIN	$0.03 x - 9.28$	Significativa
	TMAX	$0.03 x - 2.12$	Significativa
Base Orcadas	TMED	$0.01 x - 3.68$	Significativa
	TMIN	$0.01 x - 6.64$	No Significativa
	TMAX	$0.02 x - 1.04$	Significativa
Base Belgrano II	TMED	$0.03 x - 13.76$	Significativa
	TMIN	$0.02 x - 17.84$	Significativa
	TMAX	$0.03 x - 10.34$	Significativa
Base Carlini	TMED	$0.03 x - 2.18$	Significativa
	TMIN	$0.03 x - 4.61$	Significativa

Base Marambio	TMAX	$0.03 x + 0.02$	Significativa
	TMED	$0.04 x - 9.44$	Significativa
	TMIN	$0.03 x - 12.40$	Significativa
Base San Martín	TMAX	$0.05 x - 5.68$	Significativa
	TMED	$0.07 x - 6.01$	Significativa
	TMIN	$0.06 x - 9.73$	Significativa
	TMAX	$0.05 x - 2.42$	Significativa

En todas las bases, las temperaturas anuales han ido registrando un aumento sostenido y significativo con un 95% de confianza (a excepción de la TMIN en Orcadas donde el aumento no es significativo). La tendencia creciente en las temperaturas es máxima en San Martín, donde las pendientes de las rectas de regresión lineal presentaron los mayores valores, especialmente en la temperatura media. En Marambio también se registraron las mayores tendencias anuales, principalmente en TMAX. En líneas generales, los máximos locales parecen ocurrir con mayor frecuencia desde la década de 2010 en adelante, aunque no se descartan algunos máximos de temperatura en décadas previas. Análogamente, y en concordancia con la tendencia lineal encontrada, los mínimos de temperatura más intensos suelen estar distribuidos hacia el comienzo del registro, aunque no se descarta la ocurrencia de algún mínimo local/absoluto en la década del 2000 y hacia adelante. La ocurrencia de dichos años extremos se analizará con mayor profundidad en la siguiente sección.

3.2 Estudio de la ocurrencia de extremos

A partir de las series de promedios anuales se elaboraron rankings de los diez años con mayores y menores temperaturas medias, mínimas y máximas anuales (figuras no mostradas).

En Esperanza se observa una tendencia al aumento de la temperatura en los años recientes, destacando 2016, 2021 y 2022 como los más cálidos, mientras que los años más fríos, salvo 2007, corresponden a periodos anteriores a 1991, en línea con la tendencia lineal creciente. En Orcadas, 2022 y 2021 destacan como los años cálidos recientes en TMED y TMAX, mientras que 1956 fue el más cálido en el pasado. Los años más fríos recientes fueron 2019 y 2020 en TMED y TMIN, respectivamente, y los años más fríos en TMAX son anteriores a 1991. En Belgrano II, 2023 fue el año más cálido, seguido de 2010 y 2018, con la mayoría de estos años ocurriendo después de 1996, patrón que también se refleja en TMAX y TMIN. Los años más fríos recientes incluyen 2011 en las tres temperaturas y 2014 en TMIN y TMED, con 1980 siendo el año más frío del registro. En la Base Carlini, 2021, 2022 y 2023 figuran entre los años más cálidos, mientras que los años fríos más recientes incluyen 2007, 2009 y 2011, junto con 1991 y 1987. Marambio también muestra un aumento en las temperaturas recientes, con 2016, 2022 y 2021 destacando en las tres variables, y 2023 en TMED y TMIN. Al igual que Carlini, los años fríos más recientes son 2007, 2009 y 2011, y, similar a Belgrano II, 1980 es el año más frío del registro en TMED y

TMAX. En San Martín, los últimos tres años, especialmente 2022, fueron los más cálidos en las tres temperaturas, mientras que los años fríos, a excepción de 2015 en TMIN y 2002 en todas las temperaturas, pertenecen al siglo XX. Si bien la variabilidad en la ocurrencia de años más fríos y más cálidos puede estar relacionada con eventos climáticos extremos y/o con el efecto conjunto de distintos fenómenos climáticos de gran escala, es importante notar que desde la década de 2000 en adelante se evidencia una mayor frecuencia de años cálidos en todas las bases en comparación con décadas anteriores, lo que sustenta la tendencia al calentamiento en la región antártica mencionada anteriormente.

Luego, se analizaron las series de máximo y mínimo valor anual de las temperaturas diarias para todas las bases (Fig.3) junto con el análisis de tendencia lineal (Tabla 5).

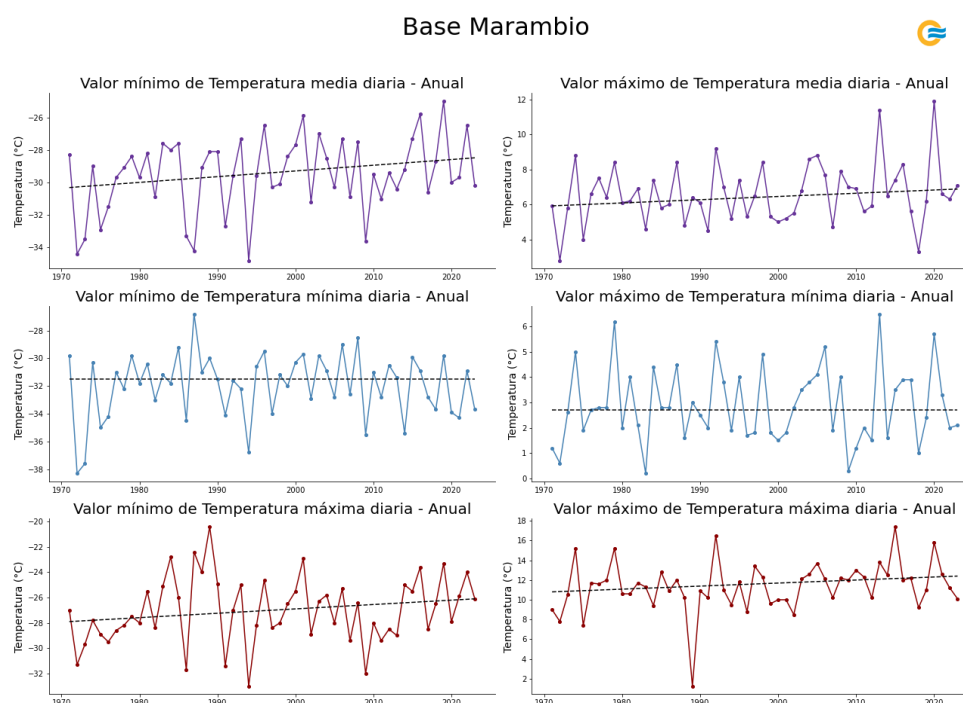


Fig. 3. Series anuales de valores mínimos (*paneles de lado izquierdo*) y valores máximos (*paneles de lado derecho*) para temperatura diaria media (*línea violeta*), mínima (*línea azul*) y máxima (*línea roja*) junto a su tendencia lineal (*líneas punteadas*) para la Base Marambio.

En términos generales, Belgrano II registra los promedios más bajos de máximos y mínimos valores anuales en las tres variables, lo cual coincide con su locación. Por otro lado, en Carlini se ven en promedio los valores anuales mínimos más cálidos mientras que en Esperanza se observan los máximos valores anuales de temperatura mínima y máxima diaria más cálidos. Además, San Martín y Esperanza son las bases que presentan mayor variabilidad en las series de mínimo valor anual de temperatura mínima y máxima diaria y en las series de máximo valor anual de las tres

temperaturas diarias respectivamente. De forma contraria, Marambio presenta menor variabilidad que el resto de las bases en los mínimos valores anuales de las tres temperaturas, mientras que Carlini presenta menor variabilidad en las series de máximos valores anuales de temperaturas mínima y máxima diarias.

Tabla 5. Ecuación de regresión lineal y su correspondiente resultado del test de significancia de la pendiente considerando un 95% de confianza para las series anuales de valores máximos (máx.) y mínimos (mín.) de cada temperatura diaria (TMED, TMIN y TMAX)

Estación	Variable	Ecuación	Significancia
Base Esperanza	TMED Mín.	$0.01 x - 24.98$	No significativa
	TMIN Mín.	$0.01 x - 27.58$	No significativa
	TMAX Mín.	$0.01 x - 22.41$	No significativa
	TMED Máx.	$0.01 x + 7.05$	No significativa
	TMIN Máx.	$0.02 x + 2.59$	Significativa
	TMAX Máx.	$0.01 x + 12.53$	No significativa
Base Orcadas	TMED Mín.	$-0.03 x - 24.59$	No significativa
	TMIN Mín.	$0.03 x - 30.71$	No significativa
	TMAX Mín.	$0.02 x - 23.10$	No significativa
	TMED Máx.	$0.03 x + 3.34$	Significativa
	TMIN Máx.	$0.01 x + 1.33$	Significativa
	TMAX Máx.	$0.03 x + 8.17$	Significativa
Base Belgrano II	TMED Mín.	$-0.007 x - 35.19$	No significativa
	TMIN Mín.	$(1 \times 10^{-7}) x - 40.9$	No significativa
	TMAX Mín.	$0.02 x - 32.33$	No significativa
	TMED Máx.	$0.02 x + 1.98$	No significativa
	TMIN Máx.	$(1 \times 10^{-7}) x - 1.05$	No significativa
	TMAX Máx.	$0.04 x + 5.83$	Significativa
Base Carlini	TMED Mín.	$0.07 x - 18.58$	No significativa
	TMIN Mín.	$0.1 x - 22.40$	No significativa
	TMAX Mín.	$0.07 x - 16.48$	No significativa
	TMED Máx.	$0.01 x + 5.74$	No significativa
	TMIN Máx.	$(1 \times 10^{-7}) x + 3.50$	No significativa
	TMAX Máx.	$0.01 x + 9.88$	No significativa
Base Marambio	TMED Mín.	$0.03 x - 30.31$	No significativa
	TMIN Mín.	$(1 \times 10^{-8}) x - 31.5$	No significativa
	TMAX Mín.	$0.03 x - 27.89$	No significativa
	TMED Máx.	$0.01 x + 5.91$	No significativa
	TMIN Máx.	$(1 \times 10^{-7}) x + 2.70$	No significativa
	TMAX Máx.	$0.03 x + 10.80$	No significativa
Base San Martín	TMED Mín.	$0.12 x - 31.19$	Significativa
	TMIN Mín.	$0.164 x - 38.57$	Significativa
	TMAX Mín.	$0.10 x - 27.05$	No significativa
	TMED Máx.	$(1 \times 10^{-8}) x + 5.70$	No significativa

TMIN Máx.	- 0.01 x + 3.26	No significativa
TMAX Máx.	(1xE-07) x + 9.80	No significativa

Es importante notar que, en la mayoría de los casos, las pendientes de las rectas de tendencia lineal fueron positivas. En San Martín, los mínimos valores anuales de temperaturas media y mínima diarias presentan una pendiente positiva y significativa, además de ser las mayores en valor absoluto. Este aumento significativo podría indicar condiciones más cálidas en la región oeste de la Península Antártica, especialmente durante los meses más fríos, lo que concuerda con trabajos previos [7] [16] que atribuyen el calentamiento durante el invierno a una disminución del hielo marino. En el caso de Orcadas, las series de máximos valores anuales de las tres temperaturas presentaron aumentos significativos, evidenciando una intensificación en los máximos de manera más generalizada como se discute en [11]. A su vez, en Esperanza se observa un calentamiento significativo en los máximos valores anuales de temperatura mínima diaria, lo que podría estar conectado con el calentamiento de verano asociado a cambios en la circulación relacionados con la Oscilación Antártica (SAM) [10]. Por último, en Belgrano II se registró un aumento significativo en los máximos valores anuales de temperatura máxima diaria.

Si bien estos cambios significativos en las series de máximos y mínimos valores anuales de temperatura pueden estar acompañando las tendencias de calentamiento previamente documentadas, es importante a futuro realizar un estudio más exhaustivo que tenga en cuenta diferentes factores locales de circulación, como por ejemplo los cambios en la extensión de hielo marino y los vientos Foehn [16] [7].

4 Conclusiones

Este trabajo ha explorado la variabilidad y tendencia de las temperaturas del aire superficiales en la Antártida, con foco en las bases argentinas permanentes. Este análisis revela un aumento significativo y sostenido en las temperaturas anuales en todas las bases, con San Martín mostrando las tendencias más pronunciadas, especialmente en la temperatura media. Además, se ha examinado la ocurrencia de extremos de temperatura, observando una mayor frecuencia de años cálidos en las últimas décadas en todas las bases. Aunque estas variaciones pueden estar relacionadas con eventos climáticos extremos o fenómenos climáticos a gran escala, la preponderancia de años cálidos desde los años 2000 respalda la tendencia al calentamiento en la región antártica.

Es importante destacar que este aumento significativo en las temperaturas anuales puede tener implicaciones importantes para la región y sus ecosistemas, incluidos los cambios en la extensión del hielo marino y los patrones de circulación. Estos hallazgos subrayan la necesidad de continuar investigando y comprender los factores locales que influyen en el clima antártico. En última instancia, este estudio contribuye al conocimiento sobre el cambio climático en la Antártida y destaca la importancia de monitorear de cerca estas tendencias para informar las decisiones de política y las estrategias de conservación en la región.

Referencias

1. Raper, S.C., Wigley, T.M., Jones, P.D. and Salinger, M.J. 1984. Variations in surface air temperatures: Part 3. The Antarctic, 1957–1982. *Monthly Weather Review*, 112, 1341–1353.
2. Jacka, T.H. and Budd, W.F. 1991. Detection of temperature and sea ice extent changes in the Antarctic and Southern Ocean. In: WELLER, G., WILSON, C.L. and SEVERIN, B.A. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on the Role of the Polar Regions in Global Change*. June 11–15, 1990. Fairbanks, AK: University of Alaska, Geophysical Institute.
3. Jacka, T.H. and Budd, W.F. 1998. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949–96. *Annals of Glaciology*, 27, 553–559.
4. King, J.C. 1994. Recent climate variability in the vicinity of the Antarctic Peninsula, *Int. J. Climatol.*, 14, 357–369.
5. Vaughan, D. G., G. J. Marshall, W.M. Connolley, J.C. King, R. Mulvaney. 2001. Climate change: Devil in the detail, *Science*, 293, 1777–1779.
6. Vaughan, D.G., Marshall, G.J., Connolley, W.M., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodgson, D.A., King, J.C., Pudsey, C.J., Turner, J. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula, *Clim. Change*, 60, 243–274.
7. Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.A., Iagovkina, S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years, *Int. J. Climatol.*, 25, 279–294.
8. Clem, K.R.; Fogt, R.L. 2015. South Pacific circulation changes and the connection to the tropics and regional Antarctic warming in austral spring, 1979–2012, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 2773–2792, <https://doi.org/10.1002/2014JD022940>.
9. Skvarca, P.; Rack, W.; Rott, H.; Ibarzábal y Donángelo, T. 1998. Evidence of recent climatic warming on the eastern Antarctic Peninsula, *Ann. Glaciol.*, 27, 628–632.
10. Orr, A., Marshall, G. J., Hunt, J. C. R., Sommeria, J., Wang, C., van Lipzig, N. P. M., Cresswell, D., & King, J. C. 2008. Characteristics of Summer Airflow over the Antarctic Peninsula in Response to Recent Strengthening of Westerly Circumpolar Winds. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(4), 1396–1413. <https://doi.org/10.1175/2007JAS2498.1>
11. Zazulie, N., M. Rusticucci, and S. Solomon, 2010: Changes in climate at high southern latitudes: A unique daily record at Orcadas spanning 1903–2008. *J. Climate*, 23, 189–196, <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3074.1>.
12. Theil, H. 1950. A Rank Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, i, ii, iii. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A Mathematical Sciences*, 53, 386–392, 521–525, 1397–1412.
13. Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389.
14. Mann, H.B. 1945. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13 (3), 245–259. DOI: 10.2307/1907187
15. Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Measures*. Charles Griffin, London.
16. Ding, Q., & Steig, E. J. 2013. Temperature Change on the Antarctic Peninsula Linked to the Tropical Pacific. *Journal of Climate*, 26 (19), 7570–7585. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00729.1>