Informe de Síntesis

Simulaciones climáticas regionales para el continente Antártico

Santiago, 2019
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)^2
(ANID/FONDAP/15110009)
Universidad de Chile

Informe de Síntesis
“Simulaciones climáticas regionales para el continente Antártico”

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
(FONDAP 15110009)
Universidad de Chile

Director del proyecto: Deniz Bozkurt
Mandante del proyecto: Oficina de cambio climático del Ministerio del Medio Ambiente
Asesor científico: Roberto Rondanelli
Asesor científico externo: Jorge Carrasco
Simulaciones territorio insular: Juan Pablo Boisier
Diálogo y mesas de expertos: Bárbara Morales
Plataforma de Visualización de Simulaciones: Francisca Muñoz, Nancy Valdebenito
Ayudante de Investigación: Mirko Del Hoyo
Apoyo y gestión del proyecto: Macarena Troncoso, Susana Bustos

INDICE

I. INTRODUCCIÓN 4

II. CLIMA PRESENTE 5

III. PROYECCIONES DEL CLIMA DE LA PENÍNSULA ANTÁRTICA PARA EL PERIODO 2025-2044 8

1) Simulaciones climáticas globales y regionales 8

2) Resultados 9

IV. CONCLUSIONES y COMENTARIOS FINALES 12

V. REFERENCIAS 14

ANEXO I: Uso de la Plataforma de Visualización 17

1) Componentes de la plataforma 17

1.a) Componente superior: Mapas promedio de un período o anomalías 18

1.b) Componente inferior: Tablas y gráficos para una ubicación seleccionada 20

2) Plataforma de descarga de los datos entrada 21

ANEXO II: Glosario de Conceptos 23

ANEXO III: Acrónimos 28

I. INTRODUCCIÓN

El continente antártico posee una geografía única que es vital para la comprensión de los fenómenos climáticos a escala local y global. La inmensa capa de hielo que cubre el continente antártico actúa disipando parte del calor terrestre y, por esta razón, se considera que la Antártica desempeña un papel esencial en el balance energético y en el sistema climático global. Al tratarse de un territorio poco intervenido por el ser humano, se convierte en un laboratorio natural que nos permite indagar sobre el pasado, presente y futuro de nuestro planeta. Por otra parte, la comunidad científica ha identificado a la península Antártica como una de las regiones más vulnerables al cambio climático debido al rápido calentamiento que ha sufrido en los últimos 50 años, lo que ha tenido como resultado el colapso de una serie de plataformas de hielo que se extendían desde el continente antártico hacia el océano. Las más importantes son Larsen A (que se desintegró el año 1995) y Larsen B (que comenzó su desintegración en el 2002 y que terminará por colapsar durante el 2020).

Paralelamente, diversos estudios han mostrado la aceleración de la pérdida de hielo marino durante las últimas décadas, lo que contribuye a un aumento del nivel medio del mar a escala global. Asimismo, estudios de la tendencia de cambio de la temperatura revelan un aumento, entre 1958 y 2010, entre 1.2 y 2.4 C, estableciendo a la Antártica occidental como una de las regiones de calentamiento más rápido a nivel planetario.

Dada la rapidez de los cambios que se suceden en esta parte del planeta y debido a los intereses de la nación en el continente antártico, se ha visto la necesidad de contar con información climática detallada sobre la península Antártica y la proyección de los posibles cambios que se producirán en el futuro. Es en este espíritu que el Ministerio del Medio Ambiente solicitó al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, generar información de proyecciones climáticas para el territorio Antártico chileno, a través de la modelación climática, con el objeto de contar con información relevante, disponible en una plataforma interactiva y pública, que permita establecer medidas y planificar acciones de adaptación tendientes a disminuir los impactos sociales, económicos y ambientales futuros.

En el presente documento se condensan algunos resultados de estas simulaciones. En particular, se presentan proyecciones a mediano plazo (2025-2044) de la temperatura, precipitación y cobertura de hielo para la región adyacente a la península Antártica.

II. CLIMA PRESENTE

El clima de la Antártica occidental y la península Antártica está bajo la influencia de tormentas de latitudes medias (altas y bajas presiones que se trasladan en el flujo de los vientos oestes) así como de las fuertes corrientes del oeste. Climatológicamente, al oeste y al este de la península se ubican centros de bajas presiones. En estos centros la circulación de los vientos es ciclónica, es decir, giran a favor de los punteros del reloj en el hemisferio sur. Así, el centro de baja presión en el mar de Amundsen-Bellingshausen (al oeste de la península) puede dirigir las masas de aire templado y húmedo desde las latitudes medias hacia la Antártica occidental en su parte delantera. Por otro lado, el centro de baja presión en el mar de Weddell (en el sureste de la península) puede conducir el aire frío y seco desde el interior del continente antártico, a la parte oriental de la península Antártica en su parte trasera.

Además de estas variables climáticas de gran escala, las características locales de la península Antártica desempeñan un papel clave en la determinación de su variabilidad climática. Por ejemplo, la cordillera norte-sur de la península constituye un obstáculo para los vientos predominantes del oeste (Figura 1), lo que permite la distinción entre dos regímenes climáticos diferentes: uno marino relativamente suave y húmedo en la costa occidental de la península (o ladera de barlovento, que identifica a la ladera expuesta a los vientos del oeste), y otro más frío en la costa oriental (o ladera de sotavento, que identifica a la ladera protegida de los vientos del oeste).

En relación a las precipitaciones, en las zonas costeras del continente, principalmente en la ladera de barlovento, hay acumulaciones por sobre los 500 mm de agua líquida equivalente, siendo aquí donde se registran los máximos anuales de precipitación. La base Presidente Eduardo Frei Montalva indica un aumento de la precipitación (más 83 mm por década) durante el periodo de 1991-2015, el que se ha pronunciado durante los últimos años, alcanzando precipitaciones récord en 2014, con 1.064 mm de agua equivalente (Figura 2c).

Respecto de las temperaturas, las medias de verano oscilan entre 0.5 °C y 1.2 °C, en la costa oeste, y de -2.5 °C a 0.2 °C, en la costa este. Las temperaturas más frías se observan en los meses de invierno, cuando la temperatura promedio puede alcanzar cerca de -25 °C en julio, según los registros de la estación de la plataforma de hielo Larsen (ver Figura 1).

Aunque la tendencia del promedio anual de la temperatura a largo plazo muestra una clara señal de calentamiento, a partir de finales de la década de 1980 existe una señal opuesta a ambos lados de la península: en la región de sotavento hay una tendencia al enfriamiento y, en la región de barlovento, un calentamiento. La tendencia de enfriamiento más notable se observa en la estación de la plataforma de hielo Larsen (-1.1 °C por década) (Figura 2b). En tanto, en la ladera de barlovento, la estación de San Martín, ubicada en una latitud cercana a la estación de la plataforma de hielo Larsen, muestra una tendencia significativa de calentamiento (+0.52 °C por década). Es importante tener en cuenta que las tendencias de temperatura observadas poseen una marcada estacionalidad en la ladera de barlovento con un enfriamiento durante el verano y un calentamiento durante el otoño.

Figura 1. Península Antártica y estaciones meteorológicas (en negro) utilizadas para el análisis de temperatura y precipitación. Las líneas punteadas verdes y azules corresponden a las regiones de barlovento y sotavento de la península. Estas se definen para promediar las variables climáticas sobre un área.

Figura 2. Variabilidad interanual de la temperatura promedia anual en el barlovento (a) y sotavento (b). Cabe destacar que, en cuanto a temperatura, los datos obtenidos por la base Eduardo Frei y Marambio, no son significativos. El panel c muestra acumulación anual de precipitación en mm, entre 1991 y 2015, en la base Ed. Frei. Las líneas punteadas indican la tendencia lineal

Siguiendo el patrón de tendencia general de la temperatura sobre la península Antártica (calentamiento de barlovento y enfriamiento de sotavento), los productos satelitales indican una tendencia a la disminución del hielo marino en la ladera de barlovento y un aumento en la de sotavento (en el Informe "Simulaciones climáticas regionales para el continente Antártico y territorio insular chileno", de ahora en adelante "Informe Final, 2019"). Es probable que estos cambios observados estén asociados con los cambios en los patrones de circulación atmosférica de gran escala. Por ejemplo, es probable que la persistente tendencia de calentamiento de barlovento se asocie con la reciente intensificación de la baja presión del mar de Amundsen/Bellingshausen y el consiguiente transporte de aire cálido hacia la península Antártica.

Es importante también tener en cuenta que el agotamiento del ozono antártico afecta significativamente el clima de la superficie. Diversos estudios muestran que la desaparición del ozono estratosférico durante la primavera del hemisferio sur tiene como efecto el aumento los vientos oestes que se desplazan más cerca del continente Antártico, que es lo contrario a lo que ocurriría en condiciones normales, previas a la desaparición del ozono en 1980, donde los vientos del oeste se ubicaban en una latitud más cercana a Sudamérica. Este aumento de los vientos tiene como resultado un aumento de la precipitación en la península.

Tabla resumen de variables observadas para el presente

Variables observadas (presente)	Barlovento	Sotavento
Temperatura	-Oscila entre 0.5 y 1.2 °C -En invierno alcanza los -25 °C -Tendencia al calentamiento -Enfriamiento durante el verano y un calentamiento durante el otoño	-Oscila entre -2.5 y 0.2 °C -En invierno alcanza los -25 °C -Tendencia al enfriamiento -Enfriamiento durante el verano y un calentamiento durante el otoño
Precipitación	Aumento en las zonas que tiene una acumulación por sobre los 500 mm	
Hielo marino	Disminución	Aumento

III. PROYECCIONES DEL CLIMA DE LA PENÍNSULA ANTÁRTICA PARA EL PERIODO 2025-2044

1) Simulaciones climáticas globales y regionales

Los modelos globales climáticos son una representación numérica de la física, química y dinámica de la atmósfera y el océano, además de la criósfera (nieve, hielo marino, etc.), vegetación terrestre y el ciclo de carbono (ver Anexo I). Para obtener resultados de un modelo climático global, se ingresan datos (también llamados forzantes) de emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero (antropogénicos y naturales), aerosoles provenientes de erupciones volcánicas, quema de biomasa o contaminación, cambios de uso de suelo y radiación solar, los que tienen como base las tendencias presentadas en los distintos escenarios de emisiones planteados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés, ver Anexo II). Esto permite hacer una simulación de lo que podría ocurrir en el futuro, según los datos ingresados.

Todos los modelos climáticos globales que participaron en "*Coupled Modelling Intercomparison Project 5*" (CMIP5) debieron correr como mínimo una simulación llamada "histórica", que cubre los años 1850-2005, y que está forzada por gases de efecto invernadero, erupciones volcánicas y radiación solar observados. También se hicieron simulaciones de escenarios futuros de emisiones para el periodo 2005-2100.

Cabe señalar que los modelos climáticos globales difícilmente aportan información detallada sobre los impactos del cambio climático a escalas regionales y subregionales. Esto se debe, principalmente, a lo grueso de su grilla horizontal (típicamente del orden de unos 100 km). Sin embargo, para aminorar esta dificultad técnica se utilizó el modelo climático regional Polar-WRF 3.9.1 (Polar Weather Research and Forecasting Model version 3.9.1). El experimento de modelación consiste en dos dominios anidados a resoluciones espaciales de 45 km y 15 km (Figura 3).

Figura 3. Esquema de los dominios madre y anidado, y su respectiva topografía a resoluciones de 45 km (d01) y 15 km (d02) utilizadas para simulaciones PWRF, respectivamente.

2) Resultados

En esta sección presentamos los cambios proyectados en la temperatura, precipitación, hielo marino y deshielo sobre la superficie. Las proyecciones futuras se calculan para el período 2025-2044 (futuro cercano) según el escenario socioeconómico RCP8.5 (ver Anexo II) con respecto al período de referencia 1986–2005.

En general, la tendencia observada y las características climáticas de la península son capturadas gruesamente por las simulaciones del modelo climático regional (Informe Final 2019). Las diferencias observadas en la tendencia de la temperatura en las laderas de sotavento y barlovento están bien representadas por las simulaciones. En términos de precipitación, el modelo climático regional, generalmente, captura un patrón de barlovento húmedo y un patrón de sotavento seco. Sin embargo, la simulación no captura completamente las tendencias de precipitación observadas (ver informe final 2019).

La Figura 4 muestra las proyecciones de la temperatura promedio anual cercana a la superficie y la acumulación anual de precipitación simulada por el modelo climático regional. En general, las proyecciones de alta resolución indican un aumento de temperatura cercana a los 1.5 °C en la región de barlovento y de 0.5 °C en la región de sotavento entre el periodo de referencia y el futuro cercano (Figura 4a). Cabe destacar que, durante otoño, la región de barlovento tendrá incrementos notables en la temperatura, cercanos a los 3° C (Informe Final, 2019).

Con respecto a la precipitación, en general, se proyecta un aumento en ambos lados de la península (5% a 10%) (Figura 4b). En la zona de barlovento será ligeramente mayor en comparación con la zona de sotavento, lo que será más pronunciados en verano (15% total de aumento en el periodo considerado) (Informe Final, 2019).

Figura 4. Diferencia de la temperatura promedio cercana a la superficie (°C, a) y acumulación de precipitación (%, b) simulada por el PWRF-15 en el periodo 2025-2044 (RCP8.5), respecto del periodo histórico (1986-2005).

La Figura 5 muestra los cambios porcentuales del deshielo sobre la superficie[1] y hielo marino para el período 2025-2044, con respecto a 1986-2005. En general, se proyecta que el deshielo sobre la superficie aumentará tanto en la zona de barlovento como en la de sotavento, pero con diferentes magnitudes. Algunas partes de la península norte experimentarán un aumento de más del 60% en el periodo considerado (Figura 5a). En general, el área de barlovento presenta más aumentos de deshielo en comparación con el área de sotavento sobre la península central. En términos de hielo marino, los cambios proyectados también son más claros en la ladera de barlovento con una disminución de 4% a 20%. En la ladera de sotavento, las costas del norte de la península muestran una disminución del hielo marino cercana al 10%. Sin embargo, en algunas partes de las costas centrales de sotavento se observa un ligero aumento (Figura 5b).

Figura 5. (a) Diferencia del deshielo sobre la superficie (%) entre 2025-2044 y el periodo de referencia (1986-2005) para el escenario RCP8.5, derivada para barlovento y sotavento. (b) Igual que en la (a), pero para hielo marino.

[1] Derretimiento de nieve superficial en milímetros.

Tabla resumen de variables proyectadas

Variables proyectadas (2025 -2044)	Barlovento	Sotavento
Temperatura	- Aumento de 1.5 °C (otoño aumenta a 3 °C)	Aumento 0.5 °C
Precipitación	- Aumento de 5% a 10% - Ligeramente mayor que sotavento y más pronunciado en verano (15%)	Aumento de 5% a 10%
Hielo superficial	- Disminución del 20% a 80% - Disminución más intensa que sotavento	Disminución del 20% a 40%
Hielo marino	- Disminución entre 4% y 20%	-Disminución de 10% (norte de la península) -En algunas zonas se observa aumento.

IV. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

En esta síntesis, se presentaron resultados de la variabilidad climática actual de la península Antártica y el océano adyacente, y las proyecciones climáticas del futuro cercano para esta zona, además de una descripción de la plataforma de datos que permite visualizar los resultados de estas simulaciones. A continuación, algunos resultados importantes que se destacan del análisis:

Variabilidad climática observada

- La estación de San Martín muestra que hay una clara tendencia al calentamiento en la ladera de barlovento. En tanto, la estación de la plataforma de hielo Larsen exhibe un marcado enfriamiento en sotavento. Estas tendencias están controladas, principalmente, por los contrastes entre verano (enfriamiento) y otoño (calentamiento).
- Estos cambios de temperatura van acompañados de una tendencia decreciente del hielo marino en barlovento, y creciente en sotavento.
- El registro de precipitación en la Base Eduardo Frei indica un aumento de la precipitación durante el periodo de 1991-2015, el cual se ha pronunciado en los últimos años.
- Es probable que estos cambios observados estén asociados con los cambios en los patrones de circulación a gran escala. En particular, los centros de baja presión a nivel del mar en el sector del Mar de Amundsen/Ross y en el sector del Mar de Weddell desempeñan un papel importante en las tendencias observadas en la península.

Proyecciones climáticas para el futuro cercano (2025-2044) en la península Antártica

- Las proyecciones de alta resolución indican un aumento de temperatura anual cercano a 1.5 °C en el lado de barlovento y de 0.5°C en el lado de sotavento. Durante otoño, el lado de barlovento muestra incrementos notables en la temperatura cercanos a 3 °C (Informe Final, 2019).
- En general, las proyecciones muestran un aumento de la precipitación en ambos lados de la península (5% a 10% en el periodo considerado). La zona de barlovento presenta aumentos de precipitación ligeramente mayores en comparación con la zona de sotavento (Figura 6), el que es más pronunciado en verano (15%) (Informe Final, 2019).
- El calentamiento más pronunciado en barlovento tiene como consecuencia un marcado aumento del deshielo sobre la superficie (20% a 80%) y una pérdida de hielo marino (4% a 20%) sobre esa ladera (Figura 6).

Figura 6. El resumen de proyecciones climáticas regionales a escala anual para el futuro cercano (2025-2044) según el escenario RCP8.5 los cambios son con respecto al período de referencia 1986–2005.

A pesar de la tendencia al calentamiento a largo plazo, estudios recientes muestran la existencia de una tendencia de enfriamiento en algunas partes de la Antártica, incluida la península, desde fines de la década de 1980. Sin embargo, este reciente período de enfriamiento en la península no representa un cambio en la tendencia general de calentamiento robusto, y se debe más probablemente a la variabilidad climática propia del hemisferio sur. De hecho, las proyecciones climáticas de alta resolución resumidas en este informe indican que, además de la persistente tendencia al calentamiento de barlovento, la ladera de sotavento también experimentará un calentamiento en las próximas décadas, pero de menor intensidad, lo que indica que el impacto de la variabilidad natural reciente continuará en el futuro cercano.

Este trabajo tiene implicaciones potencialmente importantes para la variabilidad climática en el futuro cercano de la península Antártica. Por ejemplo, la costas central y septentrional de la península antártica de barlovento aparecen como *hotspots* con incrementos notables en la temperatura, en el deshielo sobre la superficie y en la pérdida de hielo marino.

V. REFERENCIAS

- Bamber, J. L., Riva, R., Vermeersen, B., LeBrocq, A. (2009). Reassessment of the potential sea-level rise from a collapse of the West Antarctic Ice Sheet. Science, 324, 901 – 903.
- Boisier, J. P., Alvarez-Garreton, C., Bozkurt, D., Cordero, R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., Lambert, F., Ramallo, C., Rojas, M., Rondanelli, R. (2018). Anthropogenic drying in Chile evidenced by long-term precipitation/streamflow records and climate model simulations. Elem Sci. Anth. 6:74. doi: 10.1525/elementa.328.
- Bromwich, D. H., Hines, K. M., Bai, L. S. (2009). Development and testing of Polar WRF: 2. Arctic Ocean, J. Geophys. Res., 114, D08122, doi:10.1029/2008JD010300.
- Bromwich, D. H., Nicolas, J. P., Monaghan, A. J., Lazzara, M. A., Keller, L. M., Weidner, G. A., Wilson, A. B. (2013). Central West Antarctica among the most rapidly warming regions on Earth. Nature Geoscience, 6(2), 139.
- Bozkurt, D., Rondanelli, R., Marin, J. C., Garreaud, R. (2018). Foehn Event Triggered by an Atmospheric River Underlies Record-Setting Temperature Along Continental Antarctica, J. Geophys. Res.-Atmos., 123, 3871–3892, https://doi.org/10.1002/2017JD027796.
- Bozkurt, D., D. H. Bromwich, J. Carrasco, K. M. Hines, J. C. Maureira, and R. Rondanelli, 2020: Recent near-surface temperature trends in the Antarctic Peninsula from observed, reanalysis and regional climate model data. Adv. Atmos. Sci. , 37(5), https://doi.org/10.1007/s00376-020-9183-x.
- Busuioc, A., Von Storch, H., Schnur, R. (1999). Verification of GCM-generated regional seasonal precipitation for current climate and of statistical downscaling estimates under changing climate conditions. J. Clim., 12:258–272.
- Carrasco, J. F. (2013). Decadal changes in the near-surface air temperature in the western side of the Antarctic Peninsula. Atmospheric and Climate Sciences, 3 (3) 275-281.
- Cook, A. J., Fox, A. J., Vaughan, D. G., Ferrigno, J. G. (2005). Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. Science 308, 541–544.
- Gregory, J. M., Stott, P. A., Cresswell, J., Rayner, N. A., Gordon, C., Sexton, D. M. H. (2002). Recent and future changes in Arctic Sea ice simulated by the HadCM3 AOGCM. Geophys. Res. Lett., 29(24):2175. doi:10.1029/2001GL014575.
- Hayhoe, K. Edmonds, J., Kopp, R. E., LeGrande, A. N., Sanderson, B. M., Wehner, M. F., Wuebbles, D. J. (2017). Climate models, scenarios, and projections. In Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. Wuebbles, D. J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., Dokken, D. J., Stewart, B. C., Maycock, T. K. Eds. U.S. Global Change Research Program, pp. 133-160, doi:10.7930/J0WH2N54.
- Hines, K. M., Bromwich, D. H. (2008). Development and testing of Polar WRF. Part I. Greenland Ice Sheet meteorology, Mon. Weather Rev., 136, 1971–1989, doi:10.1175/2007MWR2112.1.
- Hines, K. M., Bromwich, D. M., Bai, L. S., Barlage, M., Slater, A. G. (2011). Development and testing of Polar WRF. Part III. Arctic land, J. Clim., 24, 26–48, doi:10.1175/2010JCLI3460.1.
- Hu, Z. Z., Wu, A. (2004). The intensification and shift of the annual North Atlantic Oscillation in a global warming scenario simulation. Tellus, 56A:112–124.
- Informe Nº 1 (2018). Simulaciones climáticas regionales para el continente Antártico y territorio insular chileno, (CR)2.
- Informe Final (2019). Simulaciones climáticas regionales para el continente Antártico y territorio insular chileno, (CR)2.
- Jones, J. M. y et al. (2016). Assessing recent trends in high-latitude Southern Hemisphere surface climate. Nat. Climate Change, 6, 917–926, doi: https: //doi.org/10.1038/nclimate3103.
- Jones, M. E., Bromwich, D. H., Nicolas, J. P., Carrasco, J., Plavcová, E., Zou, X., Wang, S.-H. (2019). Sixty years of widespread warming in the southern mid- and high-latitudes (1957-2016). J. Climate, doi:

10.1175/JCLI-D-18-0565.1.

- Kharin, V., Zwiers, F., Zhang, X., Wehner, M. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. Clim. Change, 11, 345–357.
- King, J. C., Turner, J. (2009). Antarctic meteorology and climatology. Cambridge, UK: Cambridge University Press, https://doi.org/10.1017/CBO9780511524967.
- Moss, R.H. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463, 747-756, doi: 10.1038/nature08823.
- Mulvaney, R., Abram, N. J., Hindmarsh, R. C., Arrowsmith, C., Fleet, L., Triest, J., Sime, L. C., Alemany, O., Foord, S. (2012). Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history. Nature, 489(7414), 141.
- Oliva, M., Navarro, F., Hrbacek, F., Hernandez, A., Nyvlt, D., Pereira, P., et al. (2017). Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere. Sci. Tot. Environ., 580, 210–223, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.030.
- Pudsey, C. J., Murray, J. W., Appleby, P., Evans, J. (2006). Ice shelf history from petrographic and foraminiferal evidence, Northeast Antarctic Peninsula. Quat. Sci. Rev., 25, 2357-2379.
- Raphael, M. N. et al. (2016). The Amundsen Sea Low: Variability, Change, and Impact on Antarctic Climate. Bull. Am. Meteorol. Soc., 97, 111–121.
- Russel, G. L., Gornitz, V., Miller, J. R. (2000). Regional sea-level changes projected by the NASA/GISS atmosphere-ocean model. Clim. Dyn., 16:789–797.
- 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. Clim., 25(3), 279-294.
- Turner, J. y et al. (2016). Absence of 21st century warming on Antarctic Peninsula consistent with natural variability. Nature, 535, 411-415, https://doi.org/10.1038/nature18645.
- van Wessem, J. M., Reijmer, C. H., van de Berg, W. J., van den Broeke, M. R. (2015). Temperature and wind climate of the Antarctic Peninsula as simulated by a high-resolution regional atmospheric climate model. J. Clim., 28, 7306 – 7326.
- 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. Climatic Change, 60(3), 243-274.
- Wang, G. (2005). Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th assessment. Clim. Dyn., 25:739–753.

ANEXOS

ANEXO I: USO DE LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN

En esta sección se describe la plataforma de visualización de simulaciones (http://simulaciones.cr2.cl), cuyo objetivo principal es proveer información de proyecciones climáticas a distintas instituciones de gobierno, comunidad científica y otros actores que lo requieran. La plataforma contiene diversas bases de datos de simulaciones y genera mapas, tablas, gráficos y series de tiempo que permiten analizar escenarios del clima presente y futuro para distintas regiones: Sudamérica, Chile continental y, en particular, contiene la información generada en este proyecto para la península Antártica y el territorio insular (Isla de Pascua y archipiélago Juan Fernández), o para coordenadas ingresadas manualmente.

La compilación y organización de las bases de datos grillados que se muestran en la Plataforma de Simulaciones se mantienen en la plataforma de almacenamiento del (CR)2 y son accesibles luego de llenar un formulario y aceptar los términos de uso, en http://simulaciones.cr2.cl/descargas. La Plataforma de Simulaciones incluye resultados de simulaciones climáticas globales y regionales realizadas por grupos en Chile y el extranjero, así como productos basados en datos observacionales desarrollados por el (CR)2.

1.- Componentes de la plataforma

El uso de la Plataforma de Simulaciones comienza con la selección de la región de interés (Sudamérica, Chile continental, territorio Insular, Antártica). Luego, se selecciona la variable y modelos disponibles de acuerdo a la región, período del año, escenarios y cálculos que se visualizarán en el mapa. También es posible definir una zona o un punto para el cual se calcularán tablas y gráficos más detallados para los distintos períodos y escenarios, los que se despliegan en el panel inferior.

Las simulaciones originales están disponibles en la plataforma de descarga, a la que se puede acceder desde el enlace “Datos de Entrada”.

1.a. Componente superior: Mapas promedio de un período o anomalías

Figura A1.1. Opciones del menú del área del mapa de la Plataforma de Simulaciones.

1. Selección de una región del mapa (Chile continental, Sudamérica, Antártica o Insular) y la variable a analizar.
2. Selección de todos los modelos o un subconjunto de ellos: CMIP5 (global), CORDEX (regional), Alta resolución (disponibles para Chile continental y Antártica).
3. Selección de período de estudio: año completo, estación del año o mes específico.
4. Tipo de cálculo: PROMEDIO de un período o ANOMALÍA (diferencia) entre un período futuro y el presente.
5. Opciones para descargar el mapa en formato GeoJSON, GeoTIFF o png.
6. Selección de ubicación geográfica sobre el mapa: Punto, Polígono, Coordenada, Macrozona o Isla, para generar los gráficos o tabla resumen del panel inferior.
7. Panel de selección avanzada de modelos para elegir modelos específicos.
8. Seleccionar modelos según categoría: global, regional o local.
9. Opciones para cambiar escala de colores, intervalo y rango del mapa.
10. Cambiar el tipo de contorno del mapa (ver sólo líneas, sombreado o colores sólidos)

Más detalles son:

- Las **'Regiones disponibles'** para el mapa son: Chile continental, Sudamérica, Antártica e Insular. Notar que la región "Antártica" corresponde a una zona que comprende el extremo Sur-Austral de Chile y península Antártica y la región "Insular" corresponde a un área del Pacífico que contiene la Isla de Pascua y el archipiélago Juan Fernández.
- Las **'Variables disponibles'** son temperatura, precipitación, nubosidad, viento, presión, humedad, radiación, nubosidad, evaporación y escorrentía. Para Antártica se puede ver

adicionalmente: fracción de hielo marino, espesor y cantidad de nieve superficial, deshielo superficial y duración de la luz solar.

- El **'Período del año'** que se va a analizar en el mapa y los gráficos, puede ser el año completo (promedio anual), un período semestral verano-invierno o trimestral: DEF (diciembre-enero-febrero), MAM (marzo-abril-mayo), JJA (junio-julio-agosto), o SON (septiembre-octubre-noviembre). También se puede seleccionar un mes específico.
- En **'Tipo de cálculo sobre el mapa'** se puede seleccionar PROMEDIO de un período presente o futuro, o ANOMALIA (diferencia) entre un período futuro y el presente. Los **'Períodos definidos'** son: Presente (1985-2005), Futuro Cercano (2020-2044/2045), Futuro Intermedio (2045-2070) y Futuro Lejano (2070-2095). Los **'Escenarios'** considerados son: evaluación, histórico, RCP2.6 y RCP8.5. Para Antártica están disponibles solo los periodos Presente y Futuro Cercano.
- Para cada región geográfica hay distintos modelos disponibles que se pueden elegir en "Seleccionar Modelos": (a) Todos los modelos; (b) CMIP5, globales, disponibles para todas las regiones; (c) CORDEX, regionales, disponibles para Sudamérica, Chile continental y Antártica; y (d) CMIP5-chile, una selección de seis modelos globales que ofrecen un mejor rendimiento en términos de climatología y variabilidad interanual en términos de evaluación a gran escala. Además, se cuenta con simulaciones de alta resolución, que muestran información más detallada sobre la región, estos son: (e) CR2-RegCM4, Chile continental; y (f) CR2-PWRF, Antártica. Para el territorio Insular se seleccionaron seis modelos globales presentes en: (g) CMIP5-insular, que se comportan mejor con respecto a la climatología para Isla de Pascua y Juan Fernández, en cuanto a la precipitación y temperatura cercana a la observada y una adecuada representación del impacto de modos de variabilidad de gran escala (como el fenómeno de "El Niño"). Junto con esto, para todos los territorios se encuentra: (h) Selección avanzada de modelos, que permite seleccionar grupos de modelos globales, regionales, locales o específicos.
- Para ver los gráficos y proyecciones para una **"Ubicación Geográfica"** determinada, se puede seleccionar un "Punto" o "Polígono", ingresando coordenadas o presionando puntos en el mapa. También para algunas regiones hay **Macrozonas** o Islas predefinidas. Para Chile continental las 7 macrozonas consideradas son: Altiplano, Norte Grande, Norte Chico, Chile Central, Zona Sur, Patagonia y Magallanes. En la región Insular se considera **un punto para la Isla de Pascua y uno para el Archipiélago Juan Fernández**, consistentes con la ubicación de sus estaciones meteorológicas.

1.b. Componente inferior: Tablas y gráficos para una ubicación seleccionada

Figura A1.2. En la parte inferior se despliega una tabla resumen y una serie de gráficos para el punto, polígono, macrozona o isla definida en el menú.

1) Seleccionar intervalo de datos mensuales o anuales para los gráficos de la ubicación seleccionada.
2) Seleccionar períodos y escenarios a mostrar en los gráficos.
3) Aplicar normalización con o sin modelo de referencia. (Por defecto los datos están normalizados sin modelo de referencia).
4) Tabla resumen de datos para la variable sobre la ubicación seleccionada en el mapa.
5) Gráficos de proyección de series de tiempo para los distintos modelos y escenarios.
6) Diagrama de caja para los distintos modelos dando a conocer la variabilidad climática de la ubicación seleccionada para los distintos escenarios y períodos.
7) Promedio mensual por escenario y períodos, mostrando los distintos ciclos estacionales.
8) Entrega información de la frecuencia de la variable para distintos períodos y escenarios.
9) Porcentaje de años donde la variable seleccionada se encuentra en el valor promedio mostrado.
10) Oculta o despliega el mapa.
11) Exportar la tabla "Resumen" a csv o xlsx.
12) Exportar los gráficos en la plataforma a distintos formatos (png, jpg, pdf o svg).

Más detalles son:

- Sobre el intervalo temporal de los datos para los gráficos, por defecto, la plataforma selecciona el **intervalo anual**, pues se visualiza mejor. Para ver detalles al seleccionar datos mensuales, se recomienda hacer *zoom* sobre el período de interés.
- Se puede seleccionar los **'Períodos de tiempo'** (Presente, de 1985-2005; Futuro Cercano, de 2020-2044/2045; Futuro Intermedio, de 2045-2070; y Futuro Lejano de 2070-2095) y los **'Escenarios'** a mostrar sobre los gráficos.
- La **'Normalización'** permite ajustar los valores de las simulaciones que provienen de los distintos modelos respecto a un período de referencia común (1985-2005). Esto sirve para observar las tendencias de la variable en el tiempo, en lugar de mirar su valor absoluto para cada modelo y escenario. Por defecto, los datos se encuentran normalizados con respecto a su promedio, sin modelos de referencia, pero se puede seleccionar alguna simulación o

producto basado en observaciones como referencia. Las Normalizaciones a aplicar se describen en la sección V: 'Glosario de conceptos', Normalización de datos de la Plataforma.

- La tabla **'Resumen'** entrega los valores para la variable y ubicación seleccionada (latitud y longitud del punto, o bien la región o macrozona) por modelo, tipo de simulación (global, regional, local) y escenarios por período. Sobre cada columna de la tabla se entrega el promedio de los datos +- 2 veces el error estándar para el escenario y período correspondiente.
- El gráfico **'Proyección'** muestra las series de tiempo para la variable y todos los modelos seleccionados. Muestra los escenarios y distintos períodos: presente, futuro cercano, futuro intermedio y futuro lejano, y destaca los promedios de todos los modelos por escenario y período. Por defecto, los datos se encuentran normalizados con respecto a su promedio, sin un modelo de referencia. Y se ve la tendencia de la variable en el tiempo, en vez de su valor absoluto.
- El gráfico **'Diagrama de caja'** muestra un diagrama de caja o boxplot mostrando la distribución de los datos (máximo, mínimo, mediana, cuartil superior, cuartil inferior) de cada modelo para los escenarios y períodos en la ubicación seleccionada.
- El gráfico **'Ciclo estacional'** muestra un promedio para cada mes, por escenario, para los distintos períodos de la variable seleccionada, obteniendo así los ciclos estacionales asociados.
- El gráfico **'Histograma'** entrega información porcentual de la frecuencia de valores obtenidos para la variable seleccionada para los distintos períodos y escenarios, tomando en cuenta si los datos están normalizados o no.
- El gráfico **'Probabilidad de excedencia'** corresponde al porcentaje de años donde la variable seleccionada se encuentra en el valor promedio mostrado sobre el eje horizontal, esto para cada escenario y período.

2. Plataforma de descarga de los datos entrada

Los datos originales presentados en la plataforma de visualización se pueden revisar en la plataforma de descarga (http://simulaciones.cr2.cl/descargas). Para estos datos destacamos:

- Para ingresar a la plataforma de descarga se debe llenar un formulario que incluye la aceptación de los términos de uso para solicitar el acceso a los datos.
- Los datos de Simulaciones Globales y Regionales provenientes de otras instituciones, han sido compilados por el equipo (CR)2, para fines de investigación y docencia, y no sustituyen a los datos originales provistos por los proyectos de intercomparación de modelos CMIP5 y CORDEX de WCRP.
- Todas las simulaciones y productos basados en observaciones están en formato matricial NetCDF, el estándar para simulaciones climáticas que se puede manipular con una variedad de programas, y que pueden llegar a pesar varios GigaBytes por archivo.
- Los datos provenientes de estas simulaciones se almacenan en un sistema de archivos de gran capacidad, bajo una estructura de directorios ordenada.

- Los datos almacenados son estáticos y no se modifican una vez generados. Nuevos datos o actualizaciones de los productos grillados basados en observaciones se pueden agregar al sistema de archivos en actualizaciones ocasionales.

Con respecto al diseño y objetivo de la plataforma de descarga:

- Permite seleccionar una región o dominio (Global, Sudamérica, Antártica, Insular), experimento y escenario, resolución temporal (diaria o mensual), y variable y modelo, desplegando todos los archivos que calzan con la selección.
- Los archivos desplegados se pueden filtrar por texto y seleccionar para recibir un enlace de descarga por correo electrónico.

Los pasos básicos son:

1. Seleccionar Dominio, Experimento/Escenario, Resolución temporal, Variable y Modelo.
2. Filtra los archivos desplegados por texto ingresado.
3. Permite seleccionar todos los archivos para recibir por correo un enlace desde donde descargar los datos.

Figura A1.3. Opciones del menú de la plataforma de descarga.

ANEXO II: GLOSARIO DE CONCEPTOS

Se incluye un glosario de conceptos relevantes. La principal fuente de definiciones proviene del documento IPCC, 2014: Anexo II: Glosario. (Mach et al., 2014).

Cambio climático (Climate change)

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antrópicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el *Cambio Climático* (CMNUCC), define el cambio climático como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad del clima atribuible a causas naturales. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Ensamble (Ensemble)

Conjunto de simulaciones de modelos que caracterizan una predicción climática o una proyección climática. Las diferencias en las condiciones iniciales y la formulación de los modelos dan lugar a diferentes evoluciones de los sistemas de los modelos y pueden aportar información sobre la incertidumbre asociada con el error de los modelos y con el error en las condiciones iniciales en el caso de los pronósticos climáticos y sobre la incertidumbre asociada con el error de los modelos y con la variabilidad del clima generada internamente en el caso de las proyecciones climáticas. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Escenario de emisiones (Emission scenario)

Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero y aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre los factores que las impulsan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico, la energía y el uso del suelo) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisiones, se introducen en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzamiento externo (External forcing)

Agente de forzamiento ajeno al sistema climático que induce un cambio en este. Son forzamientos externos las erupciones volcánicas, las variaciones solares, los cambios antropógenos de la composición de la atmósfera y el cambio de uso del suelo. El forzamiento orbital también constituye un forzamiento externo, puesto que la insolación se modifica con la excentricidad de los parámetros orbitales, la inclinación y la precesión de los equinoccios. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzamiento radiativo (Radiative forcing)

La potencia de los factores de cambio climático externo se cuantifica como forzamiento radiativo en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2), como figura en anteriores evaluaciones del IPCC. El forzamiento radiativo es el cambio en el flujo de energía causado por un elemento impulsor y se calcula en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzante o condición de borde (Forcing conditions or border conditions)

En el contexto de la modelación climática numérica (con un modelo computacional), las condiciones de borde son un conjunto de condiciones físicas en los bordes físicos del dominio de simulación. Si el modelo es un modelo climático regional, las condiciones de borde pueden provenir de otro modelo (un modelo global) o un análisis de observaciones (reanálisis atmosférico) y también se puede denominar modelo forzante. En el caso de un modelo global, las condiciones de borde pueden ser las trayectorias de gases de efecto invernadero, aerosoles, o uso de suelo, y el forzante se denomina un escenario de emisiones, por ejemplo.

Incertidumbre (Uncertainty)

Estado de conocimiento incompleto que puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido o incluso cognoscible. Puede deberse a distintas circunstancias, desde la imprecisión en los datos hasta una definición ambigua de un concepto o término, o una proyección incierta del comportamiento humano. Por ello, la incertidumbre puede representarse mediante magnitudes cuantitativas (por ejemplo, una función de densidad de probabilidad), o mediante asertos cualitativos (que reflejen, por ejemplo, una apreciación de un equipo de expertos). IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Tipos de incertidumbre

- Incertidumbre de emisiones. Se aborda con la construcción de múltiples escenarios igualmente probables.
- Incertidumbre del modelo. Los modelos no representan todos los procesos relevantes de manera perfecta, etc. Se aborda usando ensambles.
- Incertidumbre en condiciones iniciales o borde. Se aborda usando múltiples simulaciones.
- Variabilidad natural. Se aborda usando múltiples simulaciones con condiciones iniciales algo distintas.

Modelo climático o modelo climático acoplado (Climate model coupled climate model)

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general atmósfera-océano acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático

actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Normalización de datos de la Plataforma (Data normalization)

En la Plataforma, la normalización permite ajustar los valores de las simulaciones que provienen de los distintos modelos respecto a un período de referencia común (1985-2005), y sirve para observar las tendencias de cada variable en el tiempo en vez de mirar su valor absoluto para cada escenario. Por defecto, los datos se encuentran normalizados con respecto a su promedio, sin modelos de referencia. La normalización de los datos se puede modificar en la sección Configuración de la Plataforma. Véase también Normalización de mapas de la Plataforma y Normalización de series de tiempo de la Plataforma.

Normalización de mapas de la Plataforma (Map normalization)

Los mapas de la Plataforma generalmente muestran los valores de la variable seleccionada sin normalizar. Por ejemplo, cuando se selecciona el Tipo de Cálculo PROMEDIO en el mapa, se despliega siempre el promedio de la variable para el período seleccionado, sin normalización. Cuando se selecciona el Tipo de Cálculo DIFERENCIA, hay dos casos. Si la variable ha sido normalizada con el método "FACTOR", el valor mostrado en el mapa es el cambio relativo, definido como: 100*(FUTURO/ PRESENTE - 1). En los otros casos, el mapa despliega la diferencia simple FUTURO – PRESENTE. Véase también Normalización de series de tiempo de la Plataforma.

Normalización de series de tiempo de la Plata- forma (Time series normalization)

En el caso de las series de tiempo, el proceso de normalización consiste en que las series tengan la misma media en el período de referencia que llamamos PRESENTE (1985-2005). En la Tabla 2 se de- fine la normalización por FACTOR y por SESGO, y su aplicación depende de la variable seleccionada. Las variables a las que se aplica la normalización por FACTOR son: precipitación, radiación, escorrentía, presión atmosférica superficial, humedad específica. Las variables a las que se aplica SESGO son: temperatura, velocidad del viento, presión a nivel del mar, humedad relativa. En el caso de normalización por FACTOR sin modelo de referencia, las unidades cambian a porcentaje, y en los otros casos se mantienen las unidades originales.

En la Tabla A1.1, *V* es la serie de tiempo a ser normali- zada. El *prom_p* de V corresponde al promedio de todos los datos de los modelos seleccionados por el usuario en la plataforma de visualización, sobre el período de 1985-2005. *Vref* en tanto corresponde a una selección de datos, que se puede usar de referencia para la normalización.

Tipo de Normalización	Con o Sin Modelo de Referencia	Fórmula de $V_{normalizada}$
FACTOR: Normalización aplicando un factor a variables cuya distribución está acotada.	SIN modelo referencia	$= \frac{V}{prom_p(V)} \cdot 100$
	CON modelo referencia	$= \frac{V \cdot prom_p(V_{ref})}{prom_p(V)}$
SESGO: Normalización aplicando un sesgo a variables cuya distribución es similar a una curva gaussiana.	SIN modelo referencia	$= V - prom_p(V)$
	CON modelo referencia	$= V - prom_p(V) + prom_p(V_{ref})$

Tabla A1.1: Normalizaciones que se aplican a los datos seleccionados.

En la plataforma existe como modelo de referencia el producto CR2MET, también una simulación de evaluación realizada por el (CR)2 forzada por ERA-Interim en la plataforma CR2-PWRF-3-9-1-15K@ECMWF-ERAINT. Por último, existe la opción de utilizar como modelo de referencia el promedio de todos los modelos existentes sobre el período 1985-2005. El *prom_p* de *Vref* está definido por el promedio de los datos de los modelos de referencia sobre el período 1985-2005. Véase también Normalización de mapas de la Plataforma.

Producto grillado basado en observaciones (Gridded dataset)

Consiste en campos de datos grillados que asimilan datos observacionales con métodos estadísticos o dinámicos. Como método de validación de los procesos meteorológicos, se utilizan mapas grillados de temperatura o precipitación por ejemplo, que han asimilado observaciones satelitales o de superficie, con alguna metodología estadística o dinámica. Existen muchas instituciones dedicadas a generar este tipo de mapas que simplifican la obtención de datos en zonas donde hay pocas estaciones meteorológicas de superficie, típicamente grillados de precipitación o temperatura, basados en reanálisis atmosférico, observaciones satelitales y/o de superficie. Estos datos son asimilados con métodos estadísticos o modelos. Un ejemplo de este producto es CR2MET.

Proyección (Projection)

Evolución futura que podría seguir una magnitud o un conjunto de magnitudes, generalmente calculada mediante un modelo. A diferencia de las predicciones, las proyecciones están condicionadas por supuestos relativos, por ejemplo, eventualidades socioeconómicas y tecnológicas futuras que podrían o no hacerse realidad. Véase también proyección climática. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Proyección climática (Climate projection)

Respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones, concentraciones, forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Reanálisis atmosférico (Atmospheric reanalysis)

Campos generados por un modelo climático que incorpora observaciones satelitales y de superficie a través de asimilación de datos. Los reanálisis son realizados a nivel global y requieren de gran infraestructura computacional.

Trayectorias de concentración representativas (RCPs representative concentration pathways)

Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre. La palabra "representativa" significa que cada trayectoria de concentración ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión. Las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han generado los correspondientes escenarios de emisiones. Las trayectorias de concentración ampliadas describen ampliaciones de las trayectorias de concentración representativas entre 2100 y 2500 calculadas mediante normas sencillas generadas a partir de las consultas con las partes interesadas y no representan escenarios plenamente coherentes. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

RCP2.6

Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m^2 antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2100).

RCP4.5 y RCP6.0

Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente 4.5 W/m^2 y 6.0 W/m^2 después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2150).

RCP8.5

Trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores >8.5 W/m^2 en 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2100 y las concentraciones sean constantes después de 2250).

Valor agregado (Added value)

El concepto de "valor agregado" (AV, por sus siglas en inglés) busca evaluar si el ejercicio de correr un modelo regional (RCM/CORDEX), a partir del forzante o condiciones de borde tomado de un modelo climático global (GCM/CMIP5) mejora la simulación de algún aspecto o variable del clima.

Valor Agregado= $((X_{CMIP5}-X_{OBS})^2 - (X_{CORDEX}-X_{OBS})^2) / (\max((X_{CMIP5}-X_{OBS})^2, (X_{CORDEX}-X_{OBS})^2))$

Variabilidad del clima o variabilidad natural (Climate variability)

Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa). Véase también cambio climático. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario

ANEXO III: ACRÓNIMOS

AR6 BATS	IPCC Sixth Assessment Report
CLARIS	A Europe–South America network for Climate Change Assessment and Impact Studies http://www.cima.fcen.uba.ar/ClarisLPB/wp5_DataPortal.php
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/
CMNUCC	A Europe–South America network for Climate Change Assessment and Impact Studies http://www.cima.fcen.uba.ar/ClarisLPB/wp5_DataPortal.php
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment http://www.cordex.org/
(CR)2	Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia http://www.cr2.cl
DGF	Departamento de Geofísica Universidad de Chile http://www.dgf.uchile.cl
DMC	Dirección Meteorológica de Chile http://www.meteochile.cl
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets
ERA-Interim	Global 'European Reanalysis' de ECMWF
FCFM	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile http://ingenieria.uchile.cl/
GCM	General Circulation Models http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html
GeoJSON	Estándar abierto para codificar estructuras de datos geográficos. Basado en JSON (Java Script Object Notation)
GeoTIFF	Estándar abierto de metadatos que permite georreferenciar información, embebida en un archivo gráfico TIFF (Tag Image File Format)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change http://www.ipcc.ch/index.htm
MMA	Ministerio de Medio Ambiente http://portal.mma.gob.cl/
MODIS LST	MODIS Land Surface Temperature https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/mod11.php
NCAR-CESM1	NCAR, The Community Earth Sytem Model v.1 (CESM1) http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.0/
Polar-WRF	Polar Weather Research and Forecasting https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model
RCM	Regional Climate Model https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/380.html
WCRP	World Climate Research Programme http://www.wcrp-climate.org/
WRF	Weather Research and Forecasting https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model

Santiago, 2019
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)^2
(ANID/FONDAP/15110009)
Universidad de Chile

Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

(CR)^2 Center for Climate and Resilience Research
www.CR2.cl

fcfm FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE