

Proyecciones de cambio climático del Sistema Ártico basado en el análisis de multi-modelos de los escenarios de emisiones de CO₂

Rodrigo Castillo y Rosangélica Montero

Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, 11501 San José, Costa Rica. <rodrigo.castillorodriguez@ucr.ac.cr>

(Recibido: 07-Mar-2017. Publicado: 03-May-2017)

Resumen

El presente trabajo muestra los cambios proyectados del clima para los próximos 80 años en el Sistema Ártico, en referencia a las variables de temperatura y precipitación. Esto haciendo uso del conjunto de datos de alta resolución NEX-GDDP, con el cual se realizaron las diferencias de los ensambles de los multi-modelos de los dos escenarios prospectivos RCP 4.5 y RCP 8.5 menos el periodo retrospectivo. Dando de esta forma una idea clara de la importancia que tiene el Sistema Ártico en el equilibrio terrestre, debido a que se muestran los posibles impactos futuros que tienen las concentraciones de gases de efecto invernadero sobre este sistema y sus afectaciones directas en la distribución de la precipitación y la temperatura con implicaciones en los procesos de escala global a escalas regionales y locales.

Palabras clave: Sistema Ártico, Cambio Climático, RCP 4.5, RCP 8.5, NEX-GDDP.

Abstract

The projected changes in temperature and precipitation, for the next 80 years in the Arctic System, are shown. We used the NEX-GDDP high resolution dataset to compute the differences between the multi-model ensembles of the two prospective scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5) and the retrospective baseline scenario. This study highlighted the Arctic System as a key element in the terrestrial balance, as future greenhouse gas concentrations will have great impacts in the distribution of temperature and precipitation in the Arctic System, with implications of processes at the global scale to regional and local ones.

Key words: Arctic System, Climate Change, RCP 4.5, RCP 8.5, NEX-GDDP.

1. Introducción

Es un hecho que el clima del mundo está cambiando, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en promedio la temperatura de la tierra ha aumentado 0.6 °C durante los últimos dos siglos (Bernstein *et al.*, 2008). Gran parte de este cambio se le atribuye a las actividades humanas, en especial con lo que es el uso de combustibles fósiles, ya que la combustión de estos aumenta la cantidad de dióxido de carbono, el cual se sabe es un poderoso gas de efecto invernadero que atrapa el calor en nuestra atmósfera. Tanto es así que alrededor del 80% de la creciente demanda mundial de energía se cumple mediante la quema de combustibles fósiles (IEA, 2016), lo que provoca un aumento duradero de los niveles de CO₂ en la atmósfera. Como resultado, nuestro planeta se está calentando, y ese calentamiento está empujando los sistemas de la Tierra más allá de los puntos críticos. Esto es especialmente cierto en el Ártico, la región polar más septentrional del planeta, donde se espera que los efectos del cambio climático sean los más exagerados y tengan el mayor impacto (IPCC, 2014).

La mayoría de los científicos definen el Ártico como el área dentro del Círculo Polar, delimitada por una línea de latitud aproximadamente alrededor de los 66°33' al norte del Ecuador (Nuttall, 2012). Dentro de

este círculo podemos encontrar la cuenca del océano Ártico y las partes septentrionales de Escandinavia, Rusia, Canadá, Groenlandia y el estado de Alaska de los Estados Unidos.

Además como características del Ártico se tiene que gran parte del año pasa cubierto por hielo y nieve, es así que el océano pasa cubierto por una capa de hielo llamado hielo marino, el cual es de suma importancia para el balance energético y la circulación atmosférica (Serreze y Barry, 2014). Asimismo el Ártico provee gran parte del agua dulce en nuestro planeta, ya que según Shiklomanov (1998) un 97.5% del agua de la Tierra es salada y solo un 2.5% es dulce, donde gran parte de esta agua dulce, aproximadamente un 68.7%, proviene del hielo y la nieve que se encuentran de forma permanente en el Ártico, la Antártida y regiones montañosas.

Dada la importancia que tiene el Sistema Ártico en el equilibrio terrestre, mediante esta investigación se pretende mostrar los posibles impactos que tienen las concentraciones de gases de efecto invernadero en el futuro, los cuales tendrán afectación directa en la distribución de la precipitación y la temperatura con implicaciones de escalas globales a escalas regionales y locales.

2. Metodología

Para realizar el análisis de las proyecciones de cambio climático en el Sistema Ártico se seleccionó el dominio utilizado en el trabajo de Vázquez *et al.* (2016), el cual fue definido por Roberts *et al.* (2010) como “la geosfera y la biosfera al norte de la isoterma de 10 °C del promedio decadal boreal de la temperatura superficial del mar, el contorno de la temperatura superficial del aire de 0 °C que rodea al Polo Norte y el límite sur del terreno que desemboca en el Alto Ártico” (figura 1). Debido a que este dominio abarca las principales zonas terrestres y oceánicas que afectan al medio ambiente Ártico, como son las zonas de drenaje del Ártico, los glaciares y las capas de hielo, las áreas de permafrost, entre otras, las cuales juegan un papel importante para el clima futuro (Serreze *et al.*, 2000; Moritz *et al.*, 2002; Peterson *et al.*, 2002; Johannessen *et al.*, 2004).

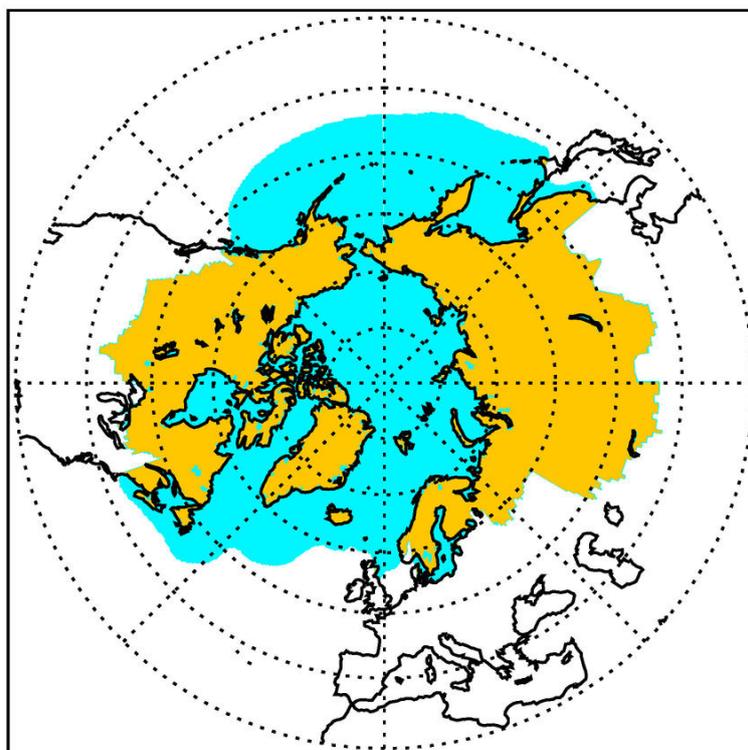


Fig. 1: Dominio Ártico utilizado en el presente trabajo. El color amarillo representa áreas continentales y el color celeste representa las oceánicas.

Esta investigación usó como base de estudio el conjunto de datos que se derivan de los ensayos de los Modelos de Circulación General (GCMs, por sus siglas en inglés) conducidos bajo el Proyecto de Intercomparación del Modelo Acoplado Fase 5 (CMIP5, por sus siglas en inglés) (Taylor *et al.*, 2009, 2012), “The NASA (National Aeronautics and Space Administration) Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections” (NEX-GDDP) y se encuentran disponibles en el siguiente repositorio digital: <https://nex.nasa.gov/nex/projects/1356/>. Además, esta base de datos tiene una alta resolución espacial ($0.25 \times 0.25^\circ \sim 25 \times 25$ km lat lon, respectivamente) y temporal (diaria). Con una cobertura global y un intervalo de tiempo de 1950 hasta el 2100, esta a su vez, cuenta con dos de los cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero conocidos como “Representative Concentration Pathways” (RCPs) (Moss *et al.*, 2010; Van Vuuren *et al.*, 2011), los cuales proporcionan ayuda a la comunidad científica en la realización de estudios sobre los efectos del cambio climático desde el nivel local hasta el regional, mejorando así el entendimiento de los posibles patrones climáticos futuros en escalas espaciales de ciudades y de cuencas hidrográficas (Thrasher y Nemani, 2015).

El conjunto de datos NEX-GDDP incluye proyecciones de escala reducida con una corrección de sesgo basada en la metodología de Thrasher *et al.* (2012) para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 de los 21 modelos para los que se produjeron escenarios diarios y se distribuyeron bajo CMIP5. Cada una de las proyecciones climáticas incluye temperatura máxima diaria, temperatura mínima y precipitación para los períodos comprendidos de 1950 a 2005 (Ejecución Retrospectiva) y de 2006 a 2100 (Ejecución Prospectiva) (Thrasher y Nemani, 2015).

Para el presente trabajo se derivaron de las variables mencionadas, la variación diurna de temperatura, definida como la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima diaria, además de la temperatura promedio, la cual es la suma de la temperatura máxima y mínima diaria dividida entre dos.

El análisis se realizó mediante el cálculo de la diferencia de los ensambles de los 21 modelos, para las dos ejecuciones prospectivas menos la retrospectiva de las cinco variables disponibles (temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, variación diurna de temperatura y temperatura promedio).

El RCP 4.5 es un escenario de emisiones mundiales a largo plazo de gases de efecto invernadero, especies de corta vida y uso de la tierra, que estabiliza el forzamiento radiativo a 4,5 Watts por metro cuadrado en el año 2100 sin exceder nunca ese valor, en otras palabras habla acerca de una estabilización en las emisiones de CO₂ (Smith y Wigley, 2006; Clarke *et al.*, 2007; Wise *et al.*, 2009; Thomson *et al.*, 2011).

El RCP 8.5 combina los supuestos sobre la alta población y el crecimiento relativamente lento de los ingresos con modestas tasas de cambio tecnológico y mejoras en la intensidad energética, llevando a largo plazo la alta demanda de energía y a las emisiones de gases de efecto invernadero en ausencia de políticas climáticas. En comparación con el conjunto total de rutas de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), el RCP 8.5 corresponde a la ruta con las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (Riahi *et al.*, 2007 y 2011).

3. Resultados y discusión

Los resultados de las diferencias de los ensambles de los 21 modelos del conjunto de datos, para las dos ejecuciones prospectivas (RCP 4.5 y RCP 8.5) menos la retrospectiva (histórica) de las cinco variables y para los períodos anual, de verano e invierno boreal, se muestran en las figuras 2 a 6.

En la figura 2 se puede observar lo que ocurrirá con la precipitación, en donde las diferencias entre los dos escenarios RCPs y el histórico son positivas, esto quiere decir que se dará un aumento en las precipitaciones, las regiones con más afectación serán Groenlandia, la península Escandinava, Alaska y Rusia. Además se puede observar que la principal afectación se dará con el escenario RCP 8.5, es decir, con unas concentraciones mayores a 1370 ppm de las emisiones de CO₂ (Moss *et al.*, 2010) y gases de efecto invernadero en general. Es importante hacer notar por ejemplo que durante el invierno la diferencia entre los dos escenarios es bastante marcada, el aumento en la precipitación durante el invierno

con un aumento mayor a 1370 ppm en las concentraciones de gases de efecto invernadero tendrá un gran impacto en las zonas antes mencionadas y además en Canadá.

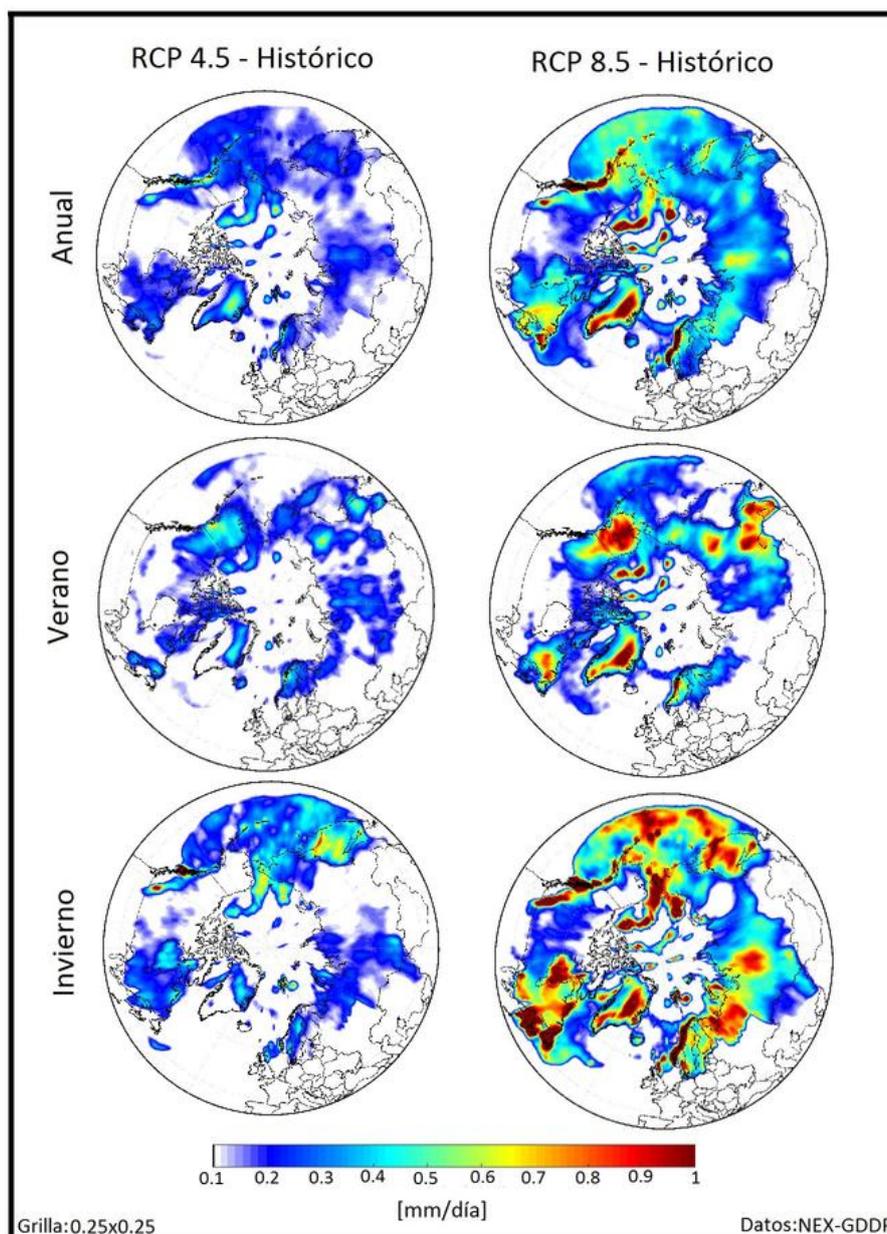


Fig. 2: Cambios en el promedio de la precipitación diaria (mm/día) del ensamble de multimodelos del CMIP5 para el periodo de los años 2006-2100 con respecto al periodo de referencia de los años 1950-2005. Las gráficas de la izquierda son para el escenario RCP 4.5 y las de la derecha para el escenario RCP 8.5. Las gráficas superiores son para valores anuales, las intermedias para verano y las inferiores para invierno.

De hecho estudios recientes prevén que a finales de este siglo la precipitación anual en el Ártico aumente en aproximadamente 20%, donde la mayor parte de aumento viene como lluvia (Hassol, 2004). Esta afirmación concuerda bastante bien con los resultados obtenidos por Bintanja y Selten (2014), en donde encontraron cambios en la precipitación para el siglo XXI de 16% y 38% para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente. Además el aumento tan marcado durante el invierno para el escenario RCP 8.5, es acorde con Hassol (2004), en donde se previó que la precipitación aumentará para prácticamente

todas las zonas terrestres del Ártico y se concentre sobre las regiones costeras, con incrementos que superen el 30%.

En cuanto a la temperatura máxima (figura 3) se observan grandes aumentos en la temperatura, de hasta 8 °C, de igual forma que con la precipitación la mayor afectación ocurre en el escenario donde los gases de efecto invernadero, entre ellos uno de los de mayor emisión el CO₂, van en aumento. En este caso en invierno es donde se observa el mayor impacto, aún así en verano y a nivel anual las diferencias siguen siendo grandes.

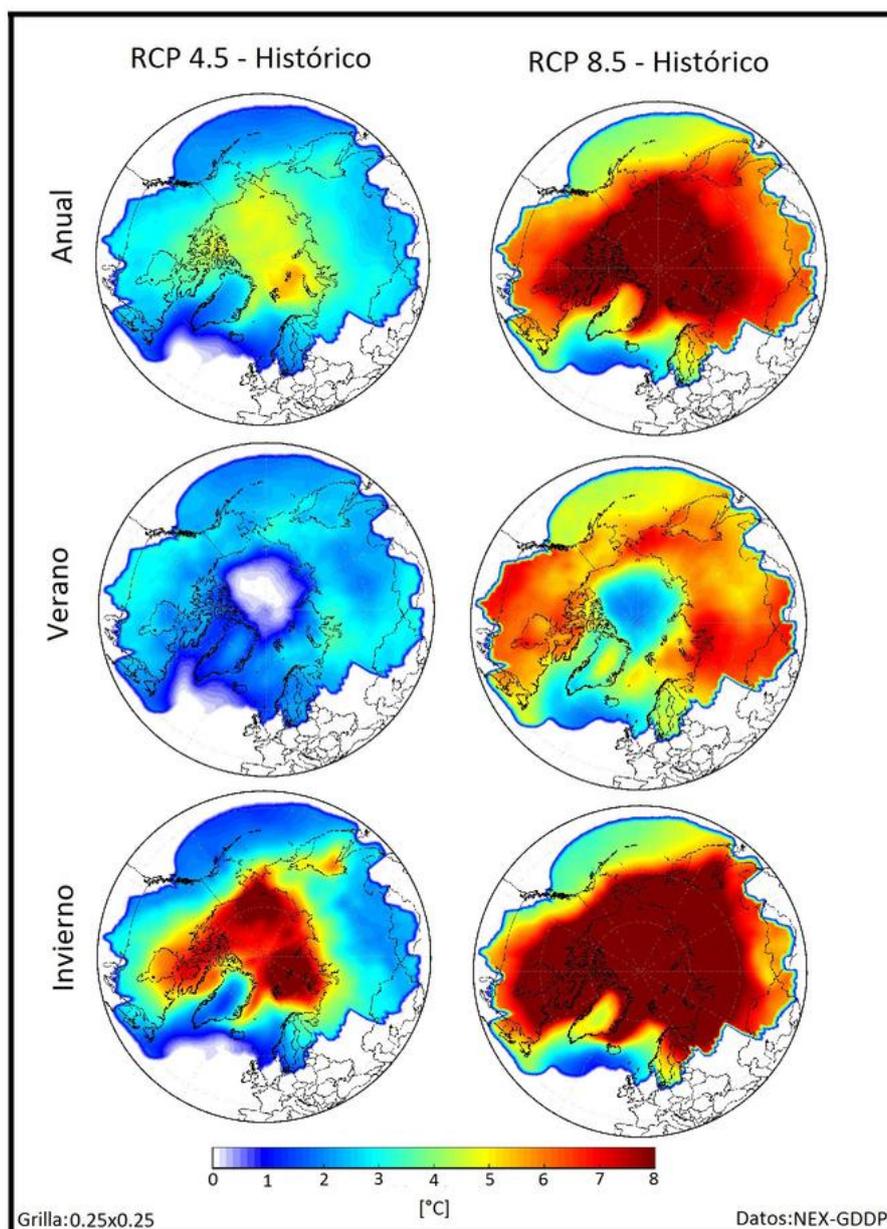


Fig. 3: Cambios en el promedio de la temperatura máxima diaria (°C) del ensamble de multimodelos del CMIP5 para el periodo de los años 2006-2100 con respecto al periodo de referencia de los años 1950-2005. Las gráficas de la izquierda son para el escenario RCP 4.5 y las de la derecha para el escenario RCP 8.5. Las gráficas superiores son para valores anuales, las intermedias para verano y las inferiores para invierno.

Del mismo modo en la figura 4 se tiene la temperatura mínima, la cual también revela un aumento en ambos escenarios, sin embargo, como es de esperar el RCP 8.5 es el que en general presenta el mayor impacto y las diferencias más grandes, se podría decir que este sería el escenario más crítico que se podría esperar y además en invierno es donde se observa el mayor calentamiento.

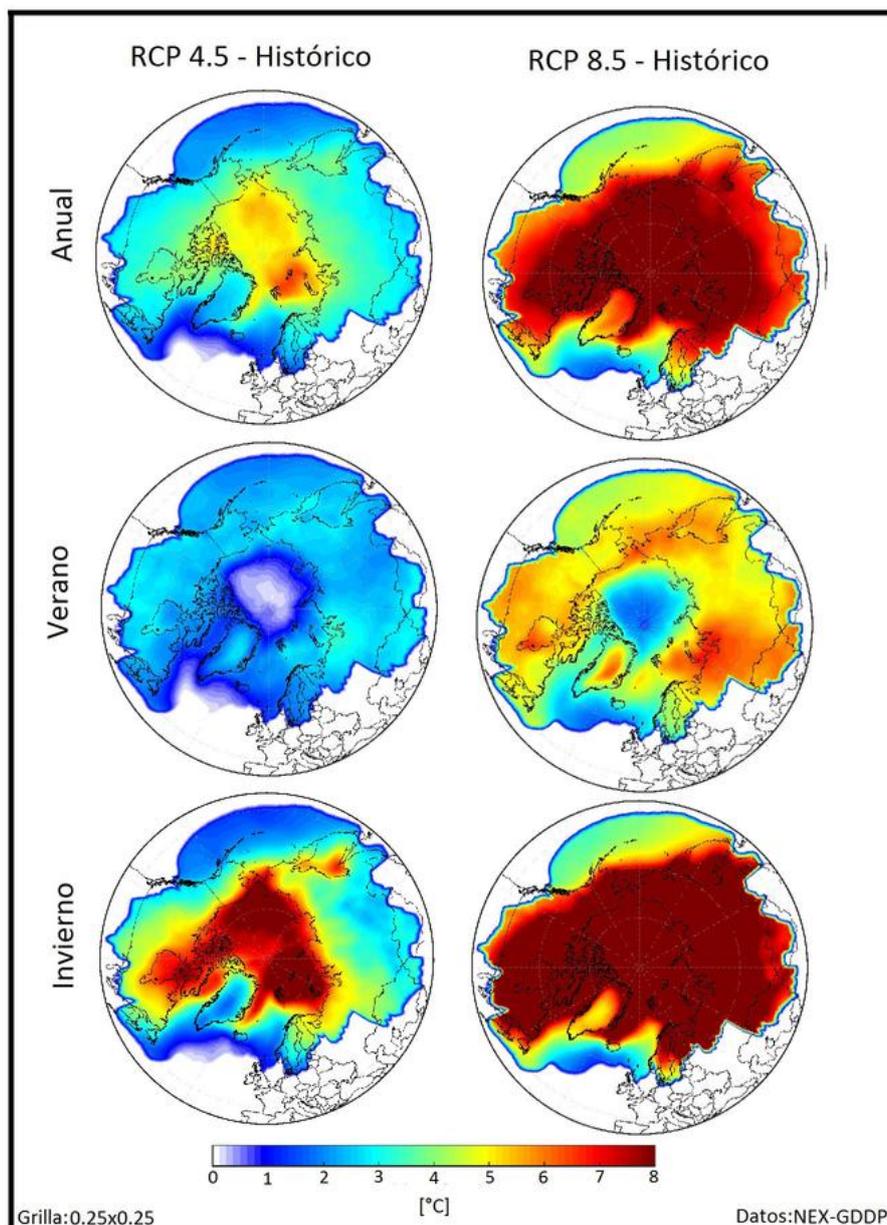


Fig. 4: Cambios en el promedio de la temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$) del ensamble de multimodelos del CMIP5 para el periodo de los años 2006-2100 con respecto al periodo de referencia de los años 1950-2005. Las gráficas de la izquierda son para el escenario RCP 4.5 y las de la derecha para el escenario RCP 8.5. Las gráficas superiores son para valores anuales, las intermedias para verano y las inferiores para invierno.

Hay registros recientes de temperaturas crecientes tanto a nivel global como en el Sistema Ártico, por ejemplo Hansen *et al.* (2006) exponen que las temperaturas superficiales globales han aumentado aproximadamente 0.2°C por década en los últimos 30 años, así también Hassol (2004) afirma que en Alaska y el oeste de Canadá, las temperaturas invernales han aumentado entre 3 y 4°C en los últimos 50 años. Todo esto sustenta los argumentos de Screen y Simmonds (2010) que manifiestan que las temperaturas

superficiales en el Ártico han aumentado más rápidamente que el promedio mundial en las últimas décadas, esto debido en parte a las retroalimentaciones positivas asociadas con la disminución rápida de la cubierta de hielo marino. También se ha registrado que las temperaturas en invierno están aumentando más rápidamente que las temperaturas del verano y todo este calentamiento trae consigo consecuencias, entre ellas, el derretimiento de los glaciares, hielo marino y permafrost (Hassel, 2004).

En la figura 5 se tiene la variación diurna de temperatura, en este caso las diferencias son en su mayoría negativas, lo cual indica que la diferencia entre los extremos disminuye, es decir, la temperatura máxima y mínima poseen valores más cercanos que en el pasado. Todo esto está estrechamente ligado a los cambios en las temperaturas discutidos anteriormente, donde de igual forma la estación de invierno es la más afectada.

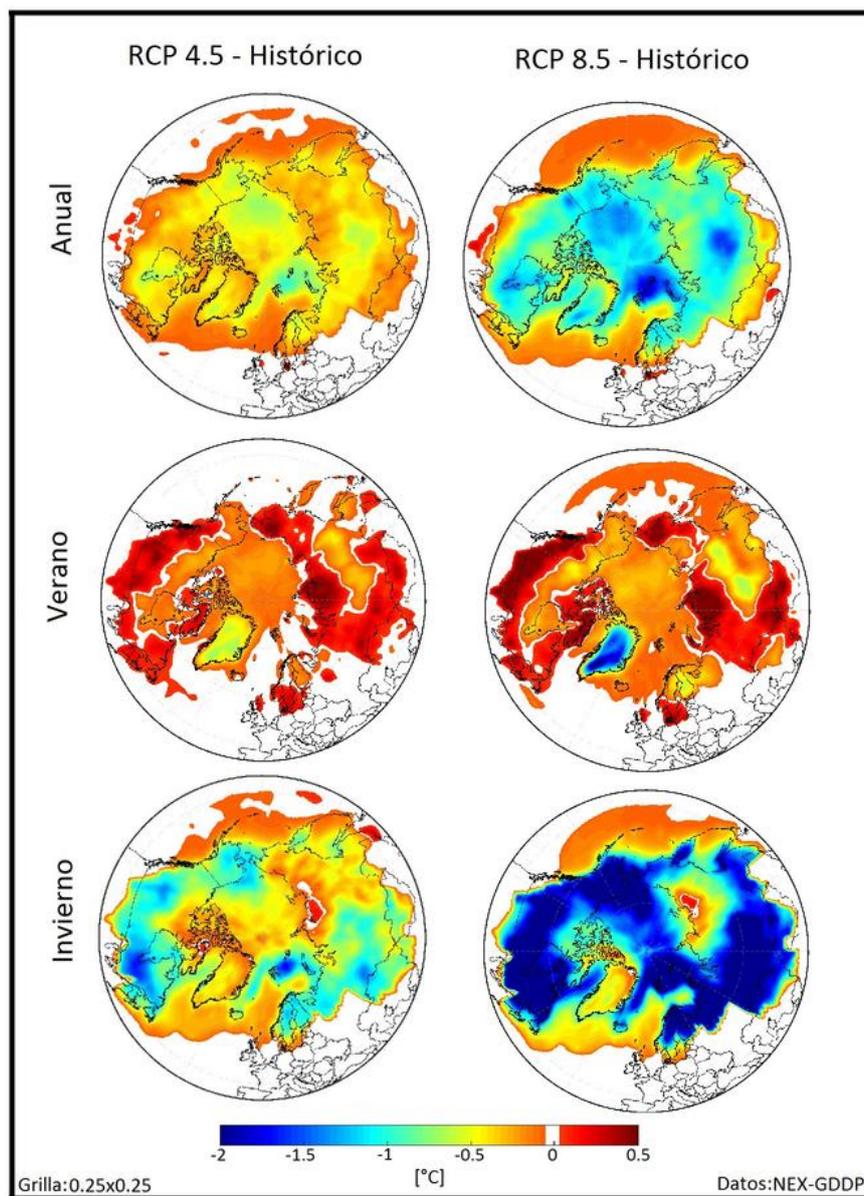


Fig. 5: Cambios en el promedio de la variación diurna de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del ensamble de multimodelos del CMIP5 para el periodo de los años 2006-2100 con respecto al periodo de referencia de los años 1950-2005. Las gráficas de la izquierda son para el escenario RCP 4.5 y las de la derecha para el escenario RCP 8.5. Las gráficas superiores son para valores anuales, las intermedias para verano y las inferiores para invierno.

Por último está la temperatura promedio (figura 6), la cual al igual que las anteriores reporta un aumento de hasta 8 °C, afectando principalmente en el invierno en regiones como Rusia, Canadá, parte de Noruega, Suecia, el océano Ártico y parte de Alaska. Estos resultados concuerdan con lo descrito por Hassol (2004), en donde se expone que habrá un aumento en la temperatura anual promedio sobre el Ártico, además se proyectan los calentamientos más fuertes para las áreas terrestres tales como el norte de Rusia. También se espera que en los océanos adyacentes a esta región el hielo marino se reduzca bruscamente, esto debido principalmente a que a nivel oceánico se prevé que las temperaturas aumenten en hasta 7 °C, por otro lado a nivel terrestre también las temperaturas aumentarían entre 3 y 5 °C, en donde el mayor aumento se proyecta para el invierno, con 4-7 °C sobre las áreas terrestres y 7-10 °C sobre los océanos.

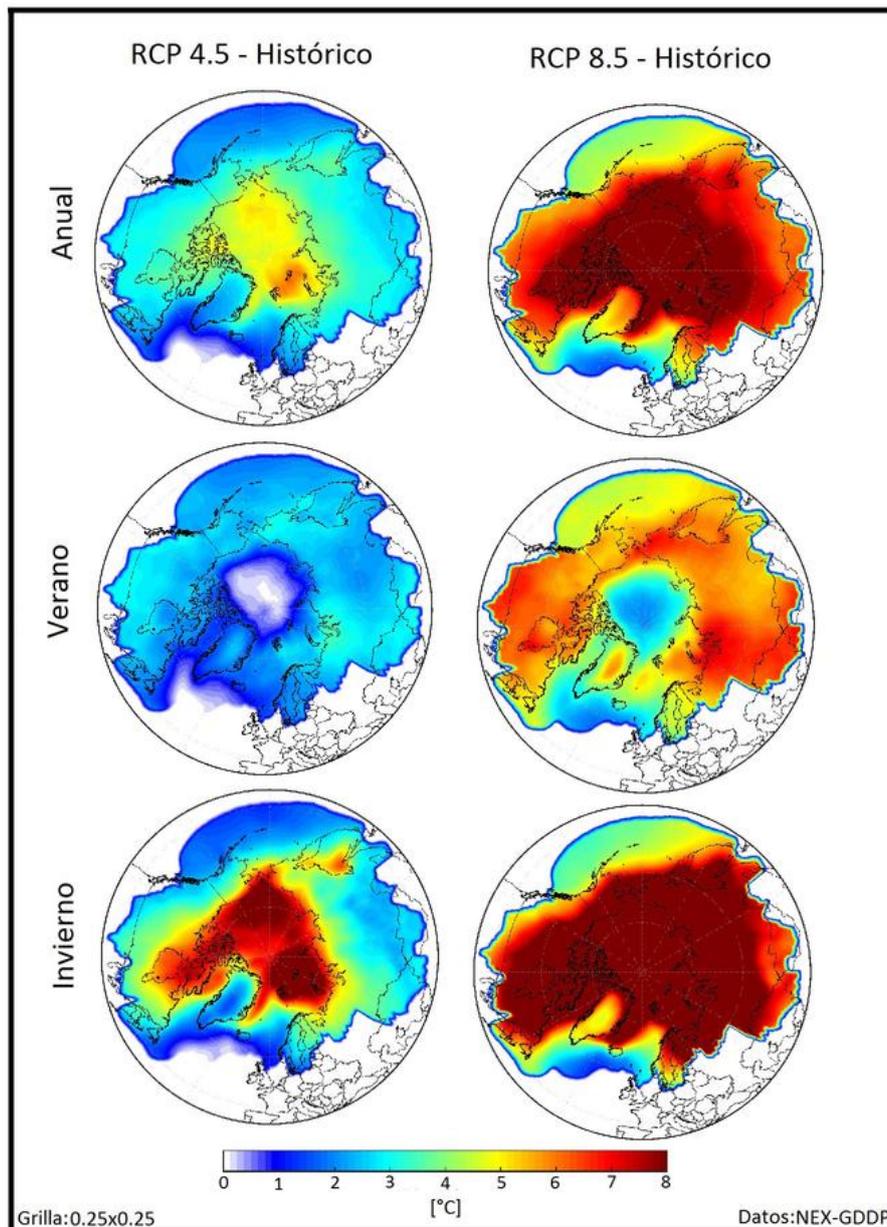


Fig. 6: Cambios en el promedio de la temperatura media diaria (°C) del ensamble de multimodelos del CMIP5 para el periodo de los años 2006-2100 con respecto al periodo de referencia de los años 1950-2005. Las gráficas de la izquierda son para el escenario RCP 4.5 y las de la derecha para el escenario RCP 8.5. Las gráficas superiores son para valores anuales, las intermedias para verano y las inferiores para invierno.

Asimismo se puede notar claramente como hay cambios en la temperatura promedio tanto si se estabilizan las emisiones de CO₂ y otros gases, como cuando se presenta un escenario crítico como lo es el RCP 8.5, sin embargo las diferencias entre ambos escenarios es bastante marcada, hasta el punto que este segundo escenario da una imagen crítica de lo que podría pasar si no se hace un cambio y se buscan políticas que fomenten otras formas de generar energía y combustibles de forma que sean renovables y amigables con el ambiente. Esto debido a que las repercusiones no sólo se darán en el Sistema Ártico como lo aborda esta investigación, sino que también tendrá repercusiones a nivel global, a través de las retroalimentaciones positivas que afectarán la circulación oceánica y atmosférica, y que se verá reflejada en condiciones más severas de clima y eventos extremos en diferentes regiones del planeta.

4. Conclusiones

En general se observaron cambios importantes en el Sistema Ártico, se proyecta un aumento en la precipitación y en las temperaturas, donde los valores más críticos se observan en invierno, como ya lo había propuesto Hassol (2004), especialmente para el escenario RCP 8.5, lo cual indica que un aumento mayor a 1370 ppm en las emisiones de gases de efecto invernadero podría traer muchas consecuencias en el futuro, por su parte en el RCP 4.5, en el cual hay una estabilización de estas emisiones a 650 ppm en el 2100 (Moss *et al.*, 2010) se observaron cambios que aunque no son tan abruptos siguen siendo de gran importancia. Estos aumentos en la precipitación y temperaturas traerán consigo consecuencias importantes, como lo es el derretimiento del hielo marino, del permafrost y de la nieve (Hassol, 2004).

Todo esto repercutirá a escala global, debido que a nivel oceánico y atmosférico todos los procesos están conectados, por tanto el planeta sufrirá calentamiento, un aumento en el nivel del mar, habrá menos transporte de calor hacia Europa, trayendo consigo inviernos más fríos, entre otras consecuencias que serán graves si no se toman las medidas necesarias a tiempo.

Finalmente, esta investigación logró hacer una proyección climática a largo plazo del Sistema Ártico con los datos de alta resolución NEX-GDDP, los cuales tienen un gran potencial para ser utilizados como punto de referencia del cambio climático moderno para diversas comunidades de las Ciencias de la Tierra, como lo expone el trabajo para China realizado por Yun y Xinyu (2016).

Agradecimientos

El autor principal desea expresar su reconocimiento al Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica (CIGEFI), por el apoyo recibido en materia computacional para llevar a cabo esta investigación. Además al apoyo de los proyectos VI-B6147 y VI-B7605, de la Universidad de Costa Rica, los cuales permitieron la realización de este trabajo. También muestra su agradecimiento a toda la comunidad e instituciones del CMIP5 involucrados para proporcionar los datos de los GCMs que fueron utilizados en el NEX-GDDP y se emplearon en este trabajo. Finalmente da las gracias al EPhysLab de la UVigo por proporcionar la rejilla de estudio empleada en esta investigación.

Bibliografía

- Bernstein L, Bosch P, Canziani O, Chen Z, Christ R, and Riahi K (2008): IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. IPCC.
- Bintanja R and Selten F (2014): Future increases in arctic precipitation linked to local evaporation and sea-ice retreat. *Nature*, 509(7501):479-482, doi:10.1038/nature13259.
- Clarke L, Edmonds J, Jacoby H, Pitcher H, Reilly J and Richels R (2007): *Scenarios of greenhouse gas emissions and atmospheric concentrations*. US Department of Energy Publications, page 6.
- Hansen J, Sato M, Ruedy R, Lo K, Lea DW and Medina-Elizade M (2006): Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39):14288-14293, doi:10.1073/pnas.0606291103.

- Hassol S (2004): *Impacts of a warming Arctic – Arctic climate impact assessment*. Cambridge University Press.
- IEA (2016): *Key World Energy Trends. Excerpt from: World Energy Balances*. International Energy Agency.
- IPCC (2014): *Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, USA.
- Johannessen OM, Bengtsson L, Miles MW, Kuzmina SI, Semenov VA, Alekseev GV, Nagurnyi AP, Zakharov VF, Bobylev LP, Pettersson LH *et al.* (2004): Arctic climate change: Observed and modelled temperature and sea-ice variability. *Tellus A*, 56(4):328-341, doi:10.1111/j.1600-0870.2004.00060.x.
- Moritz RE, Bitz CM and Steig EJ (2002): Dynamics of recent climate change in the arctic. *Science*, 297(5586):1497-1502, doi:10.1126/science.1076522.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, Van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T *et al.* (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282):747-756, doi:10.1038/nature08823.
- Nuttall M (2012): *Encyclopedia of the Arctic*. Taylor & Francis.
- Peterson BJ, Holmes RM, McClelland JW, Vörösmarty CJ, Lammers RB, Shiklomanov AI, Shiklomanov IA and Rahmstorf S (2002): Increasing river discharge to the arctic ocean. *Science*, 298(5601):2171-2173, doi:10.1126/science.1077445.
- Riahi K, Grübler A and Nakicenovic N (2007): Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7):887-935, doi:10.1016/j.techfore.2006.05.026.
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G, Kindermann G, Nakicenovic N and Rafaj P (2011): Rcp 8.5-a scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1-2):33, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Roberts A, Cassano J, Döscher R, Hinzman L, Holland M, Mitsudera H, Sumi A, Walsh J, Alessa L, Alexeev V *et al.* (2010): *A science plan for regional arctic system modeling, a report to the national science foundation from the international arctic science community*. International Arctic Research Center Technical Papers 10-0001, University of Alaska, Fairbanks.
- Screen JA and Simmonds I (2010): Increasing fall-winter energy loss from the arctic ocean and its role in arctic temperature amplification. *Geophysical Research Letters*, 37(16), doi:10.1029/2010GL044136.
- Serreze M, Walsh J, Chapin FS, Osterkamp T, Dyurgerov M, Romanovsky V, Oechel W, Morison J, Zhang T and Barry R (2000): Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climatic Change*, 46(1-2):159-207, doi:10.1023/A:1005504031923.
- Serreze MC and Barry RG (2014): *The Arctic climate system*. Cambridge University Press.
- Shiklomanov I (1998): *World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century*. UNESCO.
- Smith SJ and Wigley T (2006): Multi-gas forcing stabilization with minicam. *The Energy Journal*, pp. 373-391, doi:10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VolSI2006-NoSI3-19.
- Taylor KE, Stouffer RJ and Meehl GA (2009): *A summary of the cmip5 experiment design*. PCDMI Rep, 33.

- Taylor KE, Stouffer RJ and Meehl GA (2012): An overview of cmip5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4):485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
- Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, Kyle GP, Volke A, Patel P, Delgado-Arias S, Bond-Lamberty B, Wise MA, Clarke LE *et al.* (2011): Rcp4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic change*, 109(1-2):77, doi:10.1007/s10584-011-0151-4.
- Thrasher B, Maurer EP, McKellar C and Duffy P (2012): Technical note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9):3309-3314, doi:10.5194/hess-16-3309-2012.
- Thrasher B and Nemani R (2015): Nasa earth exchange global daily downscaled projections (nex-gddp).
- Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque JF *et al.* (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2):5, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- Vázquez M, Nieto R, Drumond A and Gimeno L (2016): Moisture transport into the arctic: Source-receptor relationships and the roles of atmospheric circulation and evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(22), doi:10.1002/2016JD025400.
- Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Bond-Lamberty B, Sands R, Smith SJ, Janetos A and Edmonds J (2009): Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy. *Science*, 324(5931):1183-1186, doi:10.1126/science.1168475.
- Yun B and Xinyu W (2016): Projection of china's near and long-term climate in a new high-resolution daily downscaled dataset nex-gddp. *Journal of Meteorological Research*, doi:10.1007/13351-017-6106-6.

