

Educación ambiental integral

Cambio Climático y sus Efectos



Qué es el cambio climático y cuáles son sus efectos en el clima patagónico

Dra. Carolina Vera. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)/Universidad de Buenos Aires-CONICET.

Temas:

- Definición y conceptos básicos del cambio climático producido por las actividades humanas y su efecto en el clima global.
- Descripción de las señales más importantes del cambio climático en el clima de Argentina y de los Andes Patagónicos.



¿A qué se llama “Cambio Climático”?

El clima de nuestro planeta presenta características distintivas. La rotación que el planeta realiza alrededor de su eje, que a su vez presenta una inclinación en la vertical, y la traslación que realiza alrededor del sol, determinan variaciones climáticas periódicas como las estaciones del año y las variaciones diurnas del clima. Además, la atmósfera de nuestro planeta está compuesta por diferentes gases, lo cual permite el desarrollo de una gran variedad de fenómenos meteorológicos y climáticos. Estos fenómenos ocurren en la capa de la atmósfera más cercana a la superficie de unos 10-12 km de espesor que se llama troposfera. Esta actividad meteorológica y climática es posible por la energía que se recibe a partir de la radiación solar entrante. Gracias a esta entrada de energía la atmósfera experimenta rangos de temperatura que han permitido la vida en nuestro planeta.

La Figura 1 esquematiza el llamado balance de calor o de energía del sistema climático de nuestro planeta. La radiación solar entrante (flecha amarilla) es de onda corta según el espectro electromagnético y no es prácticamente absorbida por los gases que componen la troposfera. Por lo que la atraviesa y es absorbida en su mayor parte por la superficie terrestre. La superficie terrestre entonces se calienta y comienza a emitir a su vez calor (flecha roja) en forma de radiación de onda larga o infrarroja (de manera equivalente al calor que emana por ejemplo de una taza de té caliente).

Este calor es en buena parte absorbido por gases que componen la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO_2) o el vapor de agua, otra parte sale del sistema y otra es emitida hacia abajo y reabsorbida por la superficie. Existe un balance entre todas las transferencias de calor y esto determina la magnitud de la temperatura media global y de sus variaciones.

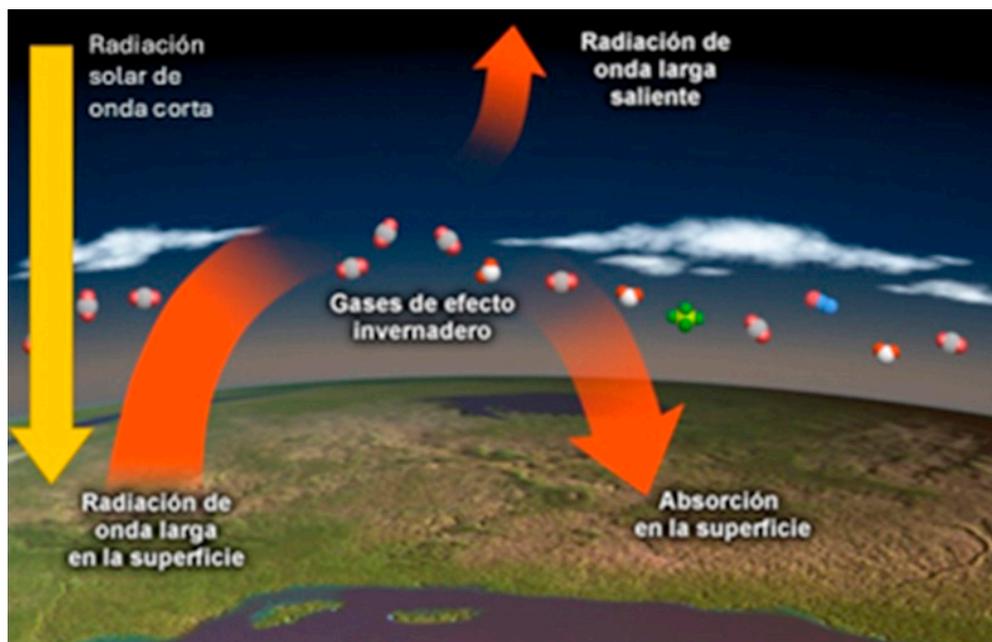


Figura 1: Balance de calor o energía del sistema climático.

Dado que este balance permite de alguna manera retener parte de la radiación solar entrante, se lo llama también “efecto invernadero” y a los gases atmosféricos que absorben parte del calor se los llama “gases de efecto invernadero”. Sin la intervención humana, este balance ha producido hasta el momento temperaturas que permiten la vida en buena parte del planeta.

Existen sin embargo factores naturales que pueden alterar el balance de energía global como son: 1) las variaciones en la magnitud de la radiación solar entrante que puede aumentar o disminuir, 2) la actividad volcánica que inyecta partículas en la atmósfera que aumentan la reflexión de la radiación solar entrante, enfriando entonces el sistema, 3) la variabilidad interna del clima, como por ejemplo el fenómeno de el Niño que cuando ocurre transfiere grandes cantidades de calor del océano a la atmósfera, haciendo aumentar la temperatura global en unas décimas de grado, y 4) los procesos geológicos que alteran la distribución de los continentes y los océanos. Mientras que los tres primeros factores pueden producir cambios en el clima que duran meses o unos pocos años y que luego retorna a su condición inicial, el factor geológico actúa en miles o millones de años.

Existen además efectos en el clima producido por las actividades humanas como: 1)

los cambios en la composición química de la atmósfera que se produce por la emisión de gases de efecto invernadero o de partículas, y 2) los cambios en la superficie terrestre como la urbanización, la modificación de la cubierta vegetal incluyendo la deforestación, etc. De estos dos factores el primero de ellos es el que tiene más impacto en el clima global y regional, mientras que el segundo produce efectos secundarios y en menor escala.

Desde el inicio de la era industrial a fines del siglo diecinueve hasta la actualidad, diversas actividades humanas han aumentado las concentraciones de varios gases de efecto invernadero, provocando una mayor absorción de calor en la atmósfera (Figura 1) y en consecuencia un aumento de la temperatura media global.

El dióxido de carbono (CO_2) es el gas que más emiten las actividades humanas a través principalmente de la quema de combustibles fósiles como el petróleo y carbón. Sus moléculas pueden persistir por cientos de años. Aunque hoy la humanidad parara de emitirlos, el CO_2 ya acumulado en la atmósfera, desde hace alrededor de 175 años, continuaría afectando el clima global por cientos de años más. Las actividades humanas relacionadas principalmente con la agricultura y la ganadería y con la gestión de residuos emiten también otros dos gases de efecto invernadero, el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Aunque sus moléculas persisten menos que las del CO_2 , tienen una capacidad de absorber mucho más calor que el CO_2 .

Desde el inicio de la era industrial en alrededor de 1850, se ha utilizado el carbón y petróleo como forma principal de producción de energía, primero en Europa, Norteamérica y luego masivamente en el resto del planeta (Asia, Sudamérica y África). Como consecuencia, desde esa fecha a la actualidad, las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado de una manera inédita. En 2019, las concentraciones atmosféricas de CO_2 fueron más altas que en cualquier momento en, al menos los últimos 2 millones de años y las concentraciones de metano y óxido nitroso fueron más altas que en cualquier momento en, al menos, los últimos 800.000 años (IPCC, 2021).

¿Cuáles son los principales cambios identificados en el clima global?

La comunidad científica internacional viene realizando investigaciones y publicaciones científicas sobre el cambio climático en el mundo entero, que luego son integradas en los reportes que elabora el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Estos reportes han concluido que **el calentamiento global es inequívoco y se debe a las actividades humanas a través de la emisión de los gases de efecto invernadero**. La Figura 2a muestra las variaciones de la temperatura desde los últimos 2000 años, que IPCC (2021) elaboró utilizando registros paleoclimáticos de la temperatura. Estos registros se obtienen a partir de estudiar por ejemplo los anillos de los árboles o testigos de hielo de glaciares. Esta figura confirma que el calentamiento actual, que es de al menos 1.1 °C por encima de la temperatura media global observada al inicio de la era industrial, y que no tiene precedentes en al menos los últimos 2000 años.

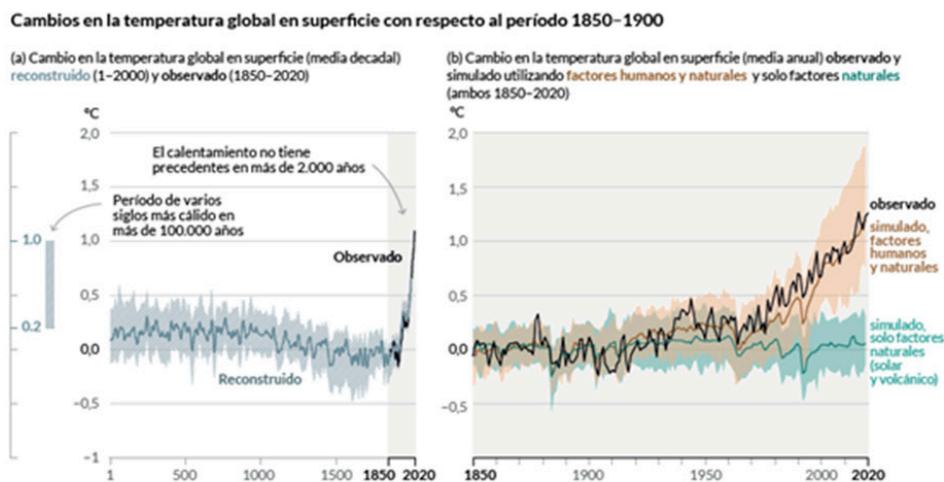


Figura 2: Series de cambio en la temperatura global en superficie con respecto al período (1850-1900) a) reconstruida a partir de archivos paleoclimáticos y, b) observada por estaciones meteorológicas en los últimos 170 años. (adaptada de IPCC, 2021)

Además de las observaciones meteorológicas, la comunidad científica utiliza los llamados “modelos climáticos” para describir y entender el cambio climático. Estos modelos son esencialmente un gran conjunto de programas computacionales que resuelven las ecuaciones físico-matemáticas que describen el comportamiento del clima y dan información de todas las variables como la temperatura, presión, viento, humedad, precipitación, etc. Diferentes centros de investigación en el mundo, los utilizan para simular el clima observado y proyectar el clima futuro. También se utilizan para realizar simulaciones del clima sólo considerando los factores naturales o los factores humanos, tanto por separado como combinados. La Figura 2b muestra que el calentamiento global observado (representado por la línea negra) sólo se puede describir por las simulaciones climáticas que consideran los factores humanos (banda rosa) además de los naturales, y en cambio el calentamiento no puede ser explicado solamente por los factores naturales (banda celeste).

El cambio climático producido por las actividades humanas ha alterado el clima de todas las regiones del planeta y estas alteraciones se incrementarán si las actividades humanas continúan emitiendo gases de efecto invernadero. Pero los cambios toman diferentes formas dependiendo de la región:

- Las temperaturas medias y en particular las temperaturas mínimas experimentan una tendencia positiva en todas las regiones.
- Los eventos extremos de temperatura u “olas de calor” son más frecuentes e intensos en todas las regiones.
- En algunas regiones las precipitaciones están aumentando y en otras se ha incrementado la frecuencia de sequías.
- Las lluvias torrenciales son de todas maneras más frecuentes e intensas en todas las regiones, inclusive en las que experimentan sequías más frecuentes. Esto se debe a que con el calentamiento global la atmósfera puede retener más vapor de agua que se evapora más y más rápido produciendo lluvias torrenciales.
- Las condiciones meteorológicas de incendios (definidas como la combinación de condiciones cálidas, secas y ventosas que conducen a incendios forestales)

son más frecuentes en muchas regiones.

- Los glaciares están retrocediendo (es decir perdiendo más masa de hielo por el aumento de la temperatura que acumulando por nevadas) en todas las regiones del planeta. Este retroceso no tiene precedentes en el planeta en al menos los últimos 2000 años.
- El área de hielo marino en el Ártico se está reduciendo a niveles inéditos en al menos los últimos 1000 años. Recientemente también se ha observado reducciones en el área de hielo marino en la Antártida.
- Los océanos tienen temperaturas más altas y por las grandes cantidades de CO₂ que absorben de la atmósfera, se están acidificando y perdiendo oxígeno.
- El nivel del mar ha aumentado más rápidamente en al menos los últimos 3000 años. Estos aumentos son debidos al calentamiento de los océanos y al derretimiento de los hielos continentales y continuarán por miles de años.

¿Cuáles son los principales cambios identificados en el clima de Argentina y Andes Patagónicos?

Para caracterizar el clima de una región determinada es usual hacerlo a través de describir sus condiciones medias o promedio de las variables clave como la temperatura y la precipitación. Pero la realidad es que esos valores promedios, resultados de una operación matemática aplicada a las observaciones meteorológicas, ocurren pocas veces. En cambio, lo que mejor representa al clima de una región es describir y entender su variabilidad, determinada por el rango posible de valores que puede experimentar. Por ejemplo, según las estadísticas del [Servicio Meteorológico Nacional](#) calculadas sobre el período 1961-2024, los valores promedios para Julio de la ciudad de Esquel son de 6,2°C para la temperatura máxima y de -2.4 °C para la temperatura

mínima. Pero si se exploran todos los valores que esas dos variables experimentaron en ese período, se encuentra que los valores que la temperatura máxima experimentó estuvieron entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (26/7/2021) y $19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (29/7/2021) mientras que la temperatura mínima se asoció con un rango de valores entre $-22.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (9/7/1965) y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (11/7/1990).

En el presente, el clima de Argentina y en particular de los Andes patagónicos está experimentando la influencia combinada de la variabilidad natural del clima global y del cambio climático forzado por las actividades humanas. Pero algunas tendencias claras están comenzando a emerger. La Figura 3 muestra que en el período 1961-2023 las temperaturas han experimentado una tendencia positiva en prácticamente todo el país, con un incremento entre medio y un grado, lo cual es coherente con el calentamiento global observado durante ese período. La Figura 3 también muestra una tendencia positiva o incremento de la precipitación anual principalmente en el centro y este del país mientras que en otras regiones como los Andes patagónicos se ha reducido. La diferencia del comportamiento de la precipitación entre estas dos regiones se debe a que la influencia humana en los mecanismos que producen la precipitación es diferente en ambas regiones.

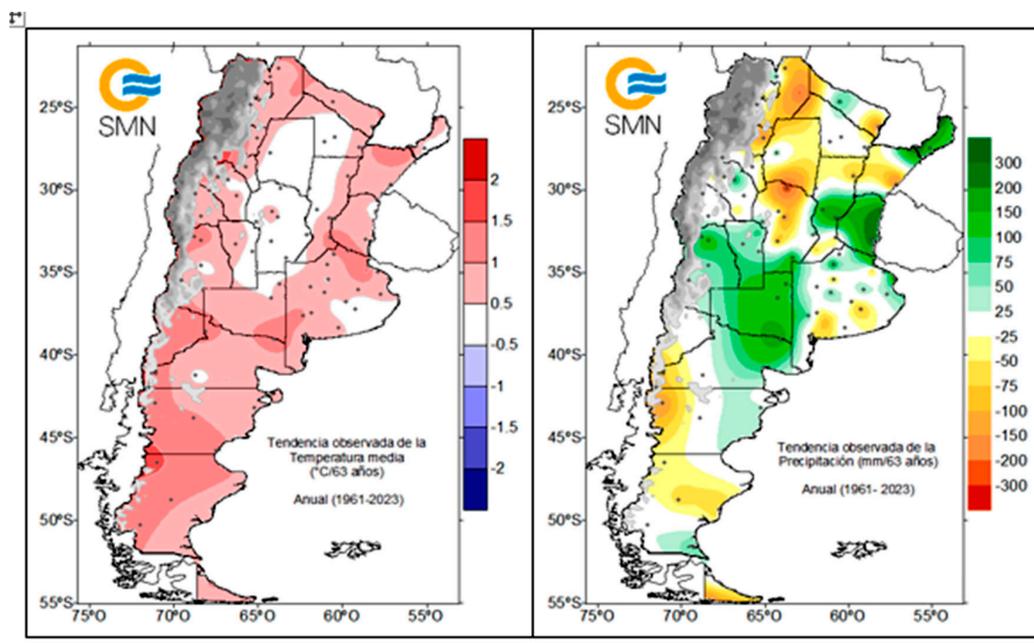


Figura 3: Campo de tendencia observada en Argentina por el Servicio Meteorológico Nacional entre 1961 y 2023 para (izquierda) la temperatura media y (derecha) la precipitación.

Coherente con los cambios observados y proyectados globalmente, Argentina también está experimentando un incremento generalizado de la frecuencia de olas de calor intensas y de lluvias torrenciales, así como el retroceso de los glaciares a lo largo de los Andes.

Si nos concentramos específicamente en la región de los Andes patagónicos, estudios recientes han mostrado que la disminución observada en las precipitaciones está teniendo consecuencias en los caudales de varios de sus ríos que experimentan reducciones importantes. Por ejemplo, Torrero y otros (2016) analizaron la variabilidad de los caudales en la cuenca del río Tecka-Gualjaina (Chubut) y confirmaron que el balance hídrico de la cuenca arrojó condiciones de aridez. Los autores encuentran que en el registro 1956-2013 la serie de máximo caudal presenta tendencia negativa (línea negra, Figura 4). En cambio, los años con mayores valores de máximo caudal (barritas azules hacia arriba) son aquellos asociados a la ocurrencia de patrones de la variabilidad climática natural como por ejemplo el fenómeno del Niño. Pero a partir de 2007 aproximadamente los máximos caudales invernales se han reducido considerablemente. Algo similar han encontrado otros investigadores en ríos como el Neuquén o el Chubut (Hurtado y otros, 2023).

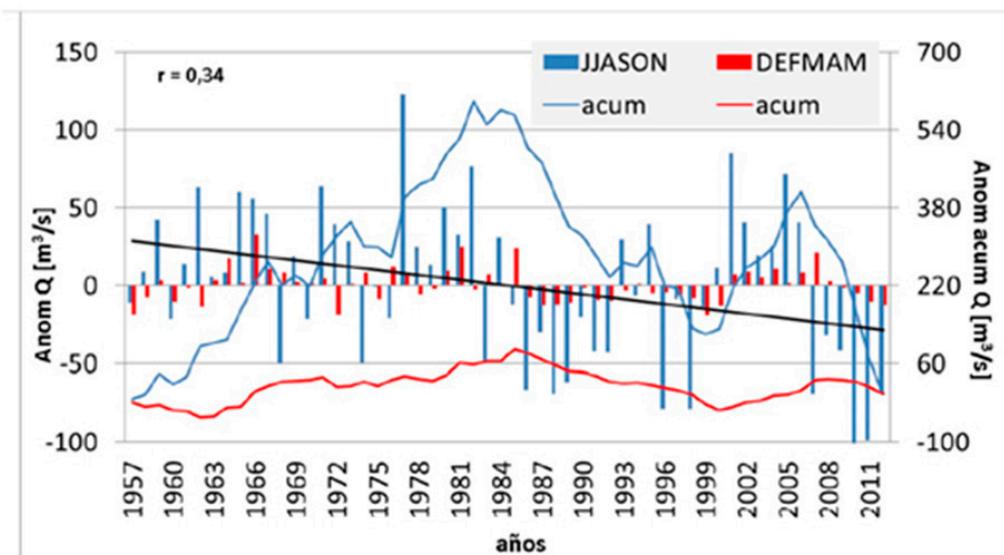


Figura 4: Serie temporal interanual de anomalías (Anom) y de acumulados (acum) de caudal total (Q) del río Tecka-Gualjaina para el semestre de máximo caudal (JJASON, barra azul) y de mínimo caudal (DEFMAM, barra roja) en el período 1956-2013. (Figura de Torrero et al. (2016))

La disminución de las precipitaciones invernales en los Andes patagónicos se asocia con un corrimiento hacia el sur de los vientos medios del oeste de altura que transportan desde el Océano Pacífico a la región los sistemas meteorológicos como ciclones y sistemas frontales que promueven la precipitación. Este corrimiento de los vientos medios del oeste hacia el sur se lo ha atribuido a la influencia humana en el cambio climático (IPCC, 2021).

La combinación de las tendencias de aumento de la temperatura media y de disminución de la precipitación está teniendo consecuencias negativas tanto en los glaciares como en las condiciones que favorecen los incendios forestales.

El retroceso de los glaciares de la zona resulta evidente. Por ejemplo, Reato y otros (2023) estudiaron las condiciones relacionadas con el glaciar Torrecillas, uno de los emblemas del Parque Nacional Los Alerces, y confirmaron su dramática reducción, particularmente en los últimos 14 años. Esto ha influenciado negativamente en las condiciones de las laderas que lo rodean, llegando a producir eventos de desbordamiento repentinos del lago que se encuentra a su pie, como el ocurrido en 2018, lo que ha afectado las actividades turísticas que allí se realizan.

Por otro lado, existen evidencias del incremento de las condiciones meteorológicas que promueven los incendios, como cambios en el índice meteorológico de incendios (conocido por su sigla en inglés FWI), que describe la influencia combinada de las condiciones más cálidas, secas y ventosas que favorecen los incendios forestales. Las investigaciones confirman que en las últimas décadas grandes incendios se han venido produciendo en los Andes Patagónicos con cada vez mayor intensidad y tamaño y que para la mitad del siglo XXI. Se espera un incremento de dos o tres veces en las probabilidades de estos incendios y, hacia fines de siglo, de seis veces, si las actividades humanas continúan realizando las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan el clima (CONICET, 2022).

¿Qué acciones se realizan para enfrentar el cambio climático?

Las acciones que se realizan para enfrentar el cambio climático se asocian por un lado con la “mitigación” del cambio climático y por el otro lado con la “adaptación” al mismo.

La mitigación del cambio climático se refiere a la necesidad urgente de que la sociedad global disminuya e inclusive cese de realizar emisiones de los gases de efecto invernadero, que es la principal causa del problema. Esto se relaciona principalmente con transformar las formas de producción y consumo de energía que se utilizan actualmente basadas en combustibles fósiles como el petróleo y carbón. Esta transición energética actualmente se está realizando a través del incremento de la producción de energía renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica, entre otras. También esta transición incluye hacer más eficientes las formas de transmisión y uso de esta energía, como por ejemplo expandir la utilización de vehículos eléctricos, y facilitar un uso mayor del transporte público. Las acciones de mitigación también requieren de la producción sostenible de alimentos y la gestión sostenible de los residuos, entre otras.

Dado que el cambio climático ya se está manifestando en las condiciones climáticas de cada región, esto ya está generando impactos adversos en la sociedad y en los ecosistemas naturales. Ejemplos son los impactos negativos de las olas de calor en la salud de las personas y en la infraestructura (por ejemplo, de los servicios de energía), de las sequías que impactan en la disponibilidad de agua y del incremento de los incendios que afectan seriamente a las personas, sus bienes y a los ecosistemas. Entonces son necesarias acciones de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad y la exposición frente a estas amenazas y que fortalezcan las acciones de gestión del riesgo.

La implementación de medidas de mitigación y adaptación las determina cada país a través de sus gobiernos nacionales, provinciales y municipales involucrando además al sector privado y a la sociedad civil. A su vez, los países del planeta agrupados en

las Naciones Unidas han realizado diferentes compromisos colectivos de mitigación y adaptación al cambio climático como el Acuerdo de París firmado en diciembre de 2015. Estos acuerdos son fundamentales para que los países enfrenten en conjunto esta problemática y además se abran vías para que los países desarrollados contribuyan financieramente con la acción climática de los países en desarrollo que tienen menos capacidad.

En este contexto Argentina ha desarrollado el “Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático al 2030” (PNAyMCC, 2022). En su elaboración participaron los ministerios nacionales, todas las provincias y representantes de la comunidad científica, organizaciones ambientales, universidades y entidades académicas, entidades empresariales, organizaciones de la sociedad civil como sindicatos y pueblos originarios. El plan desarrolla 6 líneas estratégicas: *Transición energética, Transición productiva, Movilidad sostenible, Territorios sostenibles y resilientes, Conservación de la biodiversidad y bienes comunes, y Gestión sostenible de los sistemas alimentarios y bosques*. El PNAyMCC (2022) incluye además acciones específicas para cada una de las regiones del país incluyendo la región patagónica.

Bibliografía utilizada y para profundizar conocimientos acerca de los efectos del cambio climático en los BAP

- **3CN, 2014.** Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/argnc3s.pdf>
- **Camilloni, I., y C. Vera. 2006.** El aire y el agua en nuestro planeta. Colección Ciencia Joven. Nro. 19. EUDEBA. ISBN: 950-23-1467-0. 98 páginas.
- **CONICET, 2022:** Evalúan los posibles efectos del cambio climático sobre la ocurrencia de incendios en la Patagonia <https://www.conicet.gov.ar/evaluan-los-posibles-efectos-del-cambio-climatico-sobre-la-ocurrencia-de-incendios-en-la-patagonia/>
- **El Cambio Climático en Argentina. 2007.** <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/el-cambio-climatico-en-argentina.pdf>
- **Hurtado, S., Caliano, M., Adduca, S., Easdale, M., 2023.** Drylands becoming drier: evidence from North Patagonia, Argentina. Reg Environ Change 23, 165. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02160-w>
- **IPCC, 2021.** Cambio Climático, Bases Físicas, Resumen para responsables de políticas. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- **PNAMCC, 2022:** Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático al 2030. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/plan-nacional>
- **Torrero, M., E. Agosta y D. Araneo, 2016.** Características de la circulación troposférica asociada a las variaciones interanuales del caudal del río Tecka – Gualjaina, Argentina. [Meteorológica, No 1 \(2016\) 3-19.](#)