

Premio Nobel de la Paz 2007

4^{to} Informe del IPCC



Dr. Jorge Carrasco Cerda
Meteorólogo
Universidad de Magallanes
Co-Nóbel de la Paz 2007



Dr. Gino Casassa Rogazinski
Glaciólogo
Instituto Antártico Chileno
Co-Nóbel de la Paz 2007



Dr. Luís Abdón Cifuentes Lira
Ingeniero Industrial
Pontificia Universidad
Católica de Chile
Co-Nóbel de la Paz 2007



Imagen creada por inteligencia artificial, a la pregunta, describe la Patagonia y los Glaciares.

Índice



Índice

Editorial	7
Breve resumen de los Informes del IPCC: crónica de un calentamiento anunciado Dr. Jorge Carrasco Cerda	9
Hielos y nieve en retirada: su impacto en las aguas Dr. Gino Casassa Rogazinski	25
Cambio Climático: El mayor desafío socioambiental de nuestro tiempo Dr. Luís Abdón Cifuentes	34
Cuando la Esperanza estaba puesta en Chile, Entrevista en marzo 2019, M.Sc. Sergio González Martineaux	38

Edición Especial Seminario y Foro Panel Foster Cambio Climático, Turismo, Aguas y Eficiencia Energética
ISBN: 978-956-423-322-2
Director y Editor: Cristian Szott Medina. Director Revista Nueva Diplomacia, <https://www.nuevadiplomacia.cl>
Correo: cristian.szott@gmail.com, Teléfono: +569 9045 8523

Agradecimientos:
Proyecto ANID-FONDECYT No 1221122
Hotel Cabo de Hornos Punta, Arenas-Chile - Sala Vitacura
Diseño - Arte – Diagramación Revista Nueva Diplomacia
Todos los derechos reservados 2025
Registro de propiedad intelectual: en trámite
Puede reproducir parcial o totalmente referenciando a
<https://www.nuevadiplomacia.cl>

Editorial



7

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) fue establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988. Desde entonces, el IPCC se ha convertido en el principal órgano científico de la ONU encargado de evaluar la evidencia de los cambios observados en el sistema climático, identificar los factores que los causan y proyectar los cambios futuros. Además, evalúa los impactos ambientales y socioeconómicos del cambio climático y formula respuestas estratégicas para mitigar los gases de efecto invernadero (GEI).

Han pasado 36 años desde su creación y 34 años desde la publicación del primer informe, que presentó la información científica disponible sobre el cambio climático a principios de los noventa. En ese primer reporte, ya se indicaba un aumento de la temperatura media global durante los últimos 100 años (1880-1980), destacando que los cinco años más cálidos ocurrieron en la década de los ochenta, junto con un aumento detectable del nivel del mar. También se reveló evidencia de un incremento en las emisiones de GEI debido a actividades humanas, lo que, de continuar, resultaría en un calentamiento adicional del aire superficial de la Tierra.

Estos hallazgos iniciales no solo se han confirmado con el tiempo, sino que han adquirido mayor certeza científica. En el Informe de 2021, el IPCC afirmó con rotundidad que el calentamiento global es real y tiene un origen antropogénico y las consecuencias del cambio climático ya son evidentes en los últimos años.

Los impactos en el sistema climático se están manifestando de manera tangible: el retroceso de los glaciares, la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar son solo algunos ejemplos. Desde el primer informe del IPCC, se predijo que el continuo aumento de las emisiones de GEI intensificaría el calentamiento global, causando impactos irreversibles en la naturaleza y serias consecuencias para la humanidad.

En las últimas cinco Conferencia de las Partes (COP27) sobre el cambio climático de Naciones Unidas, no se ha logrado el avance esperado en los

compromisos de acción significativa para reducir las emisiones de GEI. Cada año que pasa sin que los países cumplan con sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) dificulta más el cumplimiento del Acuerdo de París, que busca limitar el calentamiento global a 1,5 grados para mediados del siglo XXI. Incluso el límite de 2 grados está en riesgo si los países no cumplen con sus NDC.

En la COP28, celebrada en Dubái en 2023, se lograron varios resultados importantes. Uno de los principales fue la conclusión del primer *Global Stocktake* (Evaluación Global), que evaluó el progreso hacia los objetivos del Acuerdo de París. Esta evaluación resaltó la necesidad urgente de transitar hacia una economía libre de combustibles fósiles. Aunque este fue un hito significativo, algunos países expresaron frustración por la falta de un compromiso claro para eliminar gradualmente los combustibles fósiles antes de 2030, y criticaron la presencia de lagunas en el texto que podrían permitir la continuidad de la producción de carbón, petróleo y gas.

Otro resultado clave fue el compromiso de triplicar la capacidad mundial de energías renovables y duplicar la tasa anual de mejoras en eficiencia energética para 2030. Sin embargo, los países en desarrollo mostraron descontento por la falta de nuevos compromisos financieros para apoyar su transición hacia energías limpias y para adaptarse a los impactos del cambio climático.

Poco más de tres décadas de estudios científicos y negociaciones globales han transcurrido. El diagnóstico y las predicciones de la ciencia han estado y siguen estando sobre la mesa durante las negociaciones y acuerdos internacionales. Basándose en ellos y en factores sociales y económicos vinculados al desarrollo de los países, los tomadores de decisiones y los gobiernos han intentado reducir las emisiones de GEI, incentivar el desarrollo basado en energías limpias y sostenibles, facilitar la transferencia tecnológica hacia los países en desarrollo y apoyar la adaptación a los impactos del cambio climático. En la COP29 se destacó tanto los avances como los desafíos persistentes en la lucha contra el cambio climático, en llegar a acuerdos para evitar un mayor calentamiento del planeta, en aumentar significativamente el financiamiento a los países en desarrollo (aunque siempre falta), y en la necesidad de acciones más decisivas y rápidas para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, pero no siempre los acuerdos y avances van al ritmo que la urgencia requiere.

Breve resumen de los Informes del IPCC

Crónica de un calentamiento anunciado



Dr. Jorge Carrasco Cerda

Doctorado en Ciencias Atmosféricas
"Centro de Investigación
Gaia Antártica"
Universidad de Magallanes
Co- Nobel de la Paz 2007

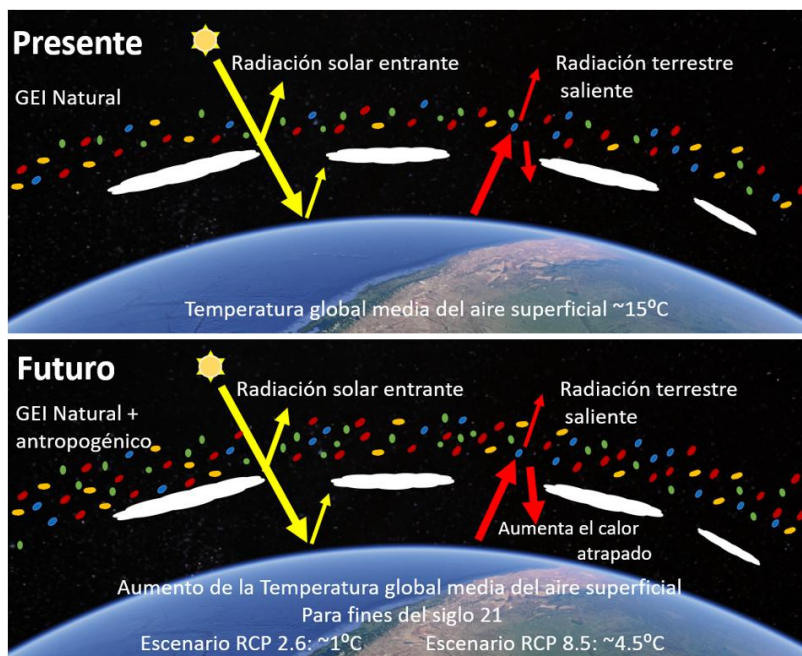
9

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por su acrónimo en inglés) fue establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988,



Con los objetivos de: i) evaluar la información científica relacionada con los diversos componentes del cambio climático, como son las crecientes emisiones de los principales gases de efecto invernadero que resulta en la modificación del balance de radiación de la Tierra, y que es necesario conocer y entender para poder evaluar las consecuencias ambientales y socioeconómicas de cambio climático; y (ii) formular estrategias de respuesta realistas para la gestión del problema del cambio climático. Desde sus inicios, el Panel se dividió en tres Grupos de Trabajo cada uno con un objetivo principal. El Grupo I: evaluar la información científica de las ciencias naturales del Sistema Climático y el cambio climático, el Grupo II: evaluar los impactos ambientales y socioeconómicos del cambio climático, y el Grupo III: formular respuestas estratégicas para la mitigación de los gases de efecto invernadero. Además, se estableció el Grupo de Trabajo encargado de evaluar el inventario de gases de efecto invernadero elaborado por los países. Cada Grupo elabora un Informe basado en la revisión científica del estado del arte del conocimiento y entendimiento de todos los aspectos relacionados con el cambio climático, el cual se va actualizando cada 5-6 años, aproximadamente.

El cambio climático se define como un cambio de las condiciones climáticas promedio que experimenta una región determinada en escala de decenas, cientos y miles de años. Incluye cambios en temperatura, precipitación, humedad, patrones de viento y otras variables medioambientales, asociados con alteraciones en la circulación atmosférica a escala local, regional y global debido a forzantes naturales como la actividad volcánica y cambios astronómicos Tierra-Sol. Sin embargo, la principal causa del cambio climático actual es el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera debido al aumento de las emisiones de estos gases por las actividades humanas como son la quema industrial de combustibles fósiles y la deforestación. Estos gases atrapan parte del calor (o energía) emitido por la



Esquema simplificado del balance energético Tierra-Atmósfera y efecto invernadero

Tierra permitiendo las condiciones ambientales vivibles de miles de años. Un aumento de la concentración de los GEI hace que más calor es retenido por la atmósfera conllevando a un aumento la temperatura troposférica de la Tierra. El cambio climático ya está causando impactos significativos en las personas y los ecosistemas de todo el mundo. Se espera que tenga impactos aún más severos en el futuro, incluido un aumento de las inundaciones, la sequía, las olas de calor y otros eventos relacionados con el clima extremo. También dará lugar a más cambios en el clima mundial, como la reducción del rendimiento de los cultivos y el aumento de la desertificación. Para enfrentar los desafíos del cambio climático, se deben realizar esfuerzos para reducir los GEI, proteger los ecosistemas e invertir en estrategias de adaptación y mitigación. Aquí, se resume una revisión de los Informes del IPCC que describe los principales resultados y hallazgos para mostrar la consistencia y la creciente evidencia del cambio climático a lo largo del tiempo desde el Primer informe. El Primer Informe fue dado a conocer en el año 1990. En primer lugar, se indica que la temperatura global media había aumentado 0.3-0.6°C en los últimos 100 años (1880 - fines de 1980) siendo los 5 años de la década de los ochenta los más cálidos hasta entonces registrados. Sobre el mismo período, el nivel medio del mar había aumentado 10-20 cm (IPCC 1990)..

Sin embargo, los cambios observados de la temperatura media global aún estaban dentro del orden de magnitud de la variabilidad climática,

por lo que aún podría considerarse un comportamiento natural. Así mismo, el

**Muchos cambios
en el sistema
climático seguirán
acrecentándose en
relación directa con el
calentamiento global**



Primer Informe (IPCC, 1990) no mostraba evidencia sobre que el clima estaría llegando a ser más variable, pero sí que un aumento de la temperatura del aire podría conllevar a un aumento de episodios de altas temperaturas y menos frecuencia de eventos fríos. Segundo, había una certeza que el efecto de los gases naturales de efecto invernadero (GEI) mantiene la Tierra más cálida y que las emisiones de los GEI como resultado de las actividades humanas estaban sustancialmente aumentando las concentraciones, que a su vez resultaría en un calentamiento adicional del aire superficial de la Tierra. Tercero, algunos GEI son más efectivos que otros en cambiar el clima, así el dióxido de carbono (CO₂) había sido el mayor responsable (en más del 50%) de aumentar el efecto invernadero en el pasado y lo sería en el futuro. Se informa que de continuar el actual ritmo de emisiones de los GEI resultaría en un incremento de sus concentraciones por siglos y, obligaría a mayores reducciones para estabilizar las concentraciones a cierto nivel, por ejemplo, reducción de emisiones sobre un 60% de CO₂ para mantener los niveles de emisión del año 1990, y 15-20% para el metano. Cuarto, bajo el escenario “Business-us-usual” la temperatura del aire podría aumentar 0.3°C (0.2 - 0.5°C) por década, lo más alto ocurrido en los últimos 10.000 años. Siendo así, la temperatura global media del planeta podría aumentar 1°C para el año 2025, y 3°C para fines del siglo 21. Para escenarios en donde las emisiones hayan tenido cierto control, el calentamiento global proyectado fluctuaría entre 0.1 y 0.2°C por década, dependiendo del grado de reducción de los GEI. En promedio, se estimaba un aumento del nivel medio del mar de 3 a 10 cm por década, debido principalmente por expansión termal del océano y derretimiento de algunos hielos continentales.

El Segundo Informe (IPCC, 1995) señala que CO₂, el metano y el óxido nitroso habían aumentado en 30%, 145% y 15%, respectivamente (valores de 1992), y que el aumento de GEI es atribuible a las actividades humanas y que se alcanzarían los 500 ppmv de CO₂ a fines del siglo 21. Además, de acuerdo con los modelos del ciclo del carbono, una estabilización de la concentración de CO₂ a 450 ppmv se podría alcanzar en 40 años, si los niveles de emisión de GEI se lograran reducir al menos a los valores observados en el año 1990. La temperatura media global superficial registrada desde fines del siglo 19 hasta comienzo de los noventas había aumentado entre 0.3 y 0.6°C. Las precipitaciones mostraban un aumento en zonas terrestres en las altas latitudes del hemisferio norte.

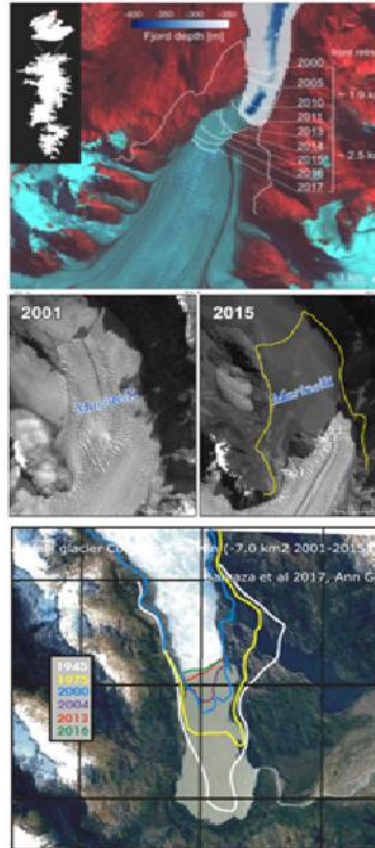
Las evidencias de los cambios ambientales observados sugerían que la influencia humana ya era perceptible en el cambio climático.

Las proyecciones de acuerdo con el escenario intermedio de la simulación del clima futuro indicaban un aumento medio global de la temperatura de 2°C para el año 2100 respecto del año 1990. En el mismo periodo se estimaba un aumento del nivel medio del mar de 15 a 95 cm, según si la fusión del hielo es baja o alta.

En el Tercer Informe (IPCC, 2001), el incremento de la temperatura media global registrado fue de $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ durante el siglo 20. En el mismo periodo, el nivel medio del mar habría aumentado 10 – 20 cm. La cobertura de nieve y la extensión de hielo habría decrecido un 10% desde los años sesenta. Mientras que las precipitaciones habrían aumentado 0.2-0.3% por década en zonas-continenciales tropicales y habrían decrecido en un 0.3% por década en regiones continentales entre 10°N-30°N en el hemisferio norte. Por otra parte, se detectaba que los eventos extremos de precipitación habrían aumentado de 2 a 4% en frecuencia de ocurrencia. El aumento del CO₂ ya alcanzaba un 31% desde 1750, el mayor en los últimos 450.000 años. Hay más evidencia de que la mayor parte del calentamiento observado es atribuible a la actividad humana, principalmente durante la segunda mitad del siglo XX. El informe enfatizó que:

Sin reducciones significativas en las emisiones de GEI, el calentamiento global continuaría y tendrá impactos graves y potencialmente irreversibles en los sistemas naturales y humanos.

Las proyecciones a nivel mundial basadas bajo ciertos supuestos de desarrollo económico, demográfico, tecnológico, políticas ambientales y equidad social,



Ejemplos de retroceso en los glaciares Jorge Montt, Marinel y Tyndall en la región austral.

dada a conocer por el informe del IPCC, indicaba que el promedio global de la temperatura podía aumentar entre 1.4 – 5.8 °C hacia fines del siglo 21, y ocurrirían cambios en los regímenes de precipitación con aumento en las latitudes polares y disminuciones en latitudes medias. Además, se proyectaban aumentos de los eventos meteorológicos extremos como olas de calor y precipitaciones intensas, eventos de sequías y ciclones tropicales.

El Cuarto Informe (IPCC, 2007) concluye que el calentamiento del sistema climático es inequívoco como lo revelaban los análisis de datos registrados de la atmósfera y el océano, la reducción significativa de la criosfera y el aumento del nivel medio del mar. A esa fecha (2006) el incremento total de la temperatura desde 1850-1899 a 2001-2005 era de 0.76°C (0.57 -0.95°C). La elevación del nivel medio del mar era 1.8 (1.3 – 2.3) mm por año durante el periodo 1961 – 2003, siendo mayor entre 1993 y 2003 con 3.1 (2.4- 3.8) mm por año. Además, se habían registrado un incremento en los eventos extremos como precipitaciones intensas, olas de calor, intensidad de los ciclones tropicales, etc. De acuerdo con los modelos de predicción climática, el mejor estimado de calentamiento para fines del siglo 21 (2090-2099) era de 0.6 a 4.0°C según el mejor o peor escenario y las simulaciones intermedias.

El Quinto Informe (IPCC, 2014) reafirmó los hallazgos y conclusiones anteriores, enfatizó que el calentamiento del sistema climático es inequívoco. Informa que cada una de las últimas tres décadas (1980-2010) ha sido sucesivamente más cálida que cualquier década anterior desde 1850. Muchos de los cambios observados no tienen precedentes durante décadas o milenios. Los registros observacionales revelaron que las concentraciones de GEI habían aumentado, con esto el forzamiento radiativo total era positivo y había dado lugar a una absorción adicional de energía por parte del sistema climático. La mayor contribución a este forzamiento se debía al aumento de la concentración atmosférica de CO₂ desde 1750. El informe indica que:

es inequívoco y claramente detectable la influencia humana en el sistema climático.

Como consecuencia, la atmósfera y el océano se muestran un calentamiento evidente, las cantidades de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar ha aumentado. La tasa de aumento del nivel del mar desde mediados del siglo 19 había sido mayor que la tasa media durante los dos milenios anteriores. Durante el período de 1901 a 2010, el nivel medio global del mar aumentó 0,19 [0,17 a 0,21] m.

El Informe proyecta que es probable que el cambio de temperatura superficial global del aire para fines del siglo 21 supere los $1,5^{\circ}\text{C}$ en relación con el periodo 1850-1900 para todos los escenarios futuros de simulación del clima, excepto el escenario más benigno. Es muy probable que la capa de hielo marino del Ártico continúe reduciéndose y adelgazándose y que la capa de nieve primaveral del hemisferio norte disminuya durante el siglo 21 a medida que aumenta la temperatura superficial media global. Así como también, se proyectaba que el volumen global de glaciares seguirá disminuyendo.

El Sexto Informe del Grupo I fue publicado en el año 2021 (Arias et al., 2021) y en general ratifica los hallazgos, predicciones y conclusiones del Quinto Informe y anteriores. Se destaca nuevamente la inequívoca influencia humana en el calentamiento de la atmósfera, el océano y la superficie terrestre. Además,



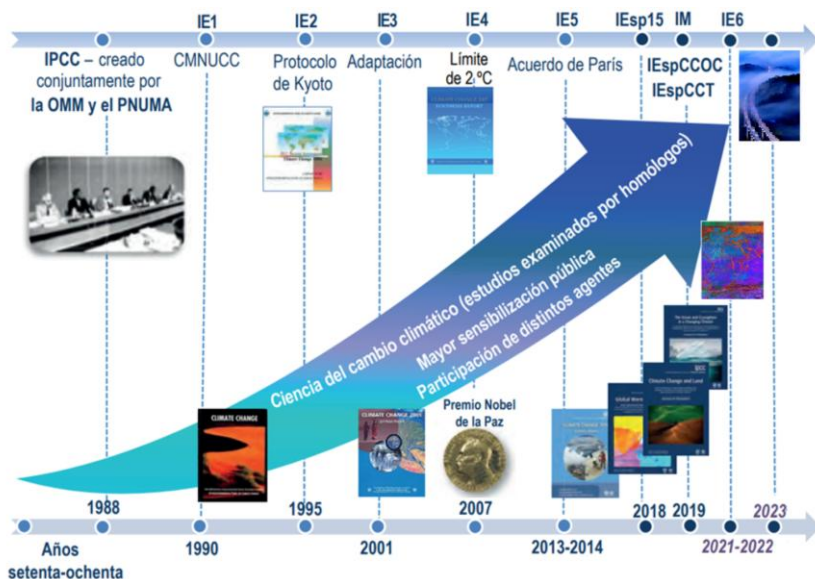
señala que los variados y rápidos cambios en la atmósfera, el océano, en la criósfera y la biósfera observados en las dos últimas décadas son señales de que:

El cambio climático ya se está manifestando en el presente y se harán más evidente en las próximas décadas.

Que la escala de los cambios recientes y el presente estado de muchos aspectos del sistema climático son sin precedentes en los últimos cientos y miles de años. Todas las regiones del planeta están ya siendo afectado por eventos meteorológicos y climáticos extremos, como son las olas de calor, eventos de precipitación intensa, sequías, y ciclones tropicales. El avance del conocimiento de los procesos climáticos incorporado en las nuevas simulaciones del cambio climático, la evidencia paleoclimática y la respuesta del sistema climático al incremento de la forzante radiativa da la mejor estimación para la sensibilidad del equilibrio del clima a 3°C con un rango más estrecho comparado con el Quinto Informe. La temperatura global superficial continuará aumentando hasta

al menos mediados del presente siglo bajo los escenarios de emisiones considerados.

El calentamiento global de 1.5°C y 2°C será superado a menos que ocurran reducciones significativas en CO₂ y de los otros GEI en las próximas décadas.



Contribución del IPCC a la ciencia climática y la formulación de políticas. IE se refiere a los Informes de Evaluación. IM: Informe de Metodología, IEsp15: Informe especial de calentamiento de 1,5°C, IEspCCOC: Informe especial sobre cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible, la seguridad alimentaria y los flujos de GEI en los ecosistemas terrestres. Obtenido desde https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/05/2020-AC6_en.pdf

Muchos cambios en el sistema climático se han acrecentados en relación directa con el calentamiento global. Estos incluyen aumentos en la frecuencia e intensidad de olas de calor, olas de calor marinas y precipitaciones intensas, sequías agrícolas y ecológicas en algunas regiones, y proporción de intensos ciclones tropicales, así como, reducción del hielo marino en el Ártico, reducción en la cobertura de nieve y permafrost. El calentamiento global se proyecta que continuará intensificando el ciclo del agua, incluyendo su variabilidad, la precipitación monzónica global y la severidad de eventos secos y húmedos.

Además, el último informe evalúa los resultados de los modelos climáticos que participan en la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) del Programa Mundial de Investigación del Clima. Estos modelos incluyen una nueva representación, una mayor resolución en los modelos climáticos globales y mejoría de los procesos físicos, químicos y biológicos, en comparación con los modelos considerados en informes anteriores. Esto ha mejorado la simulación del estado medio reciente de la mayoría de los indicadores ambientales a gran escala del cambio climático y muchos otros aspectos del sistema climático. La información sobre qué tan bien los modelos simulan el calentamiento pasado, así como otros conocimientos de las observaciones y la teoría, se utilizaron para evaluar las proyecciones del calentamiento global.

Desde el Primer al Sexto Informe y los Informes Especiales que se han realizado desde 1990 a 2023, el IPCC ha evaluado nueva evidencia científica relevante para ir en cada informe construyendo una mejor comprensión del sistema climático y de la evidencia que revela de como éste está cambiando y cambiará, y de la responsabilidad antropogénica en el cambio climático. Los seis ciclos de evaluación del IPCC desde su comienzo han presentado de manera integral y consistente la evidencia acumulada de un sistema climático cambiante,

siendo el Cuarto Informe publicado en el 2007, el primero en concluir con una alta certeza estadística que el calentamiento del sistema climático es inequívoco.

La evidencia se ha documentado con un nivel de certeza cada vez mayor para dar a conocer que los recientes cambios climáticos como son: la pérdida continua de hielo en todo el mundo, el aumento en contenido de calor del océano, el aumento del nivel del mar y la acidificación del océano profundo; no tienen precedentes en un contexto cientos de miles de años. Paralelamente, las capacidades de observación, tratamiento y procesos de datos han mejorado y ampliado en las últimas tres décadas, lo que ha permitido con una cada vez mayor certeza, la detección de los cambios observados. Los registros climáticos satelitales y los nuevos análisis mejorados se han utilizado como una línea de evidencia adicional para evaluar los cambios a escala global y regional. Sin embargo, aún hay espacio para aumentar la cobertura o continuidad de algunos datos de observación y acceso a los datos que aún son protegidos por política interna de los países que pueden aumentar más la certeza de los cambios observados.

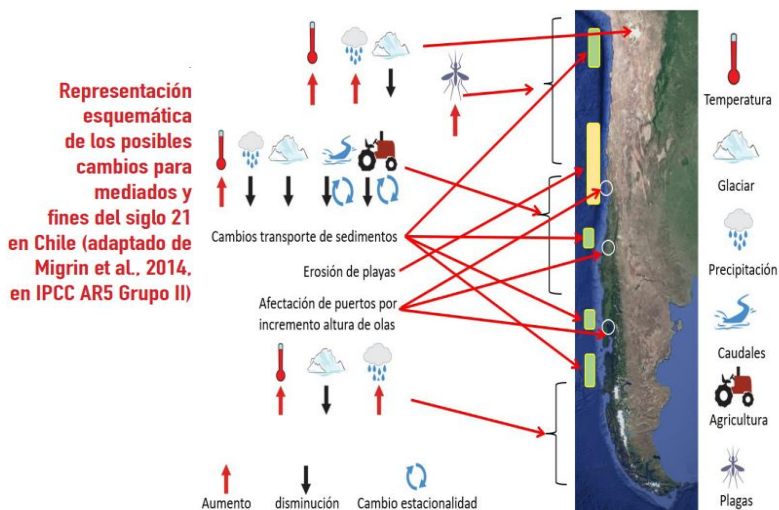
Los resultados del Sexto Informe reafirman que los cambios observados en el clima son inequívocos a escala global y cada vez más evidentes a escala espacial regional y local. Tanto la tasa de cambio a largo plazo como la amplitud de las variaciones de un año a otro difieren entre las regiones y entre las variables climáticas, lo que influye en el momento en que surgen o se hacen evidentes los cambios en comparación con las variaciones naturales. La evidencia de la influencia humana en el cambio climático reciente se ha fortalecido progresivamente desde el Segundo hasta el Quinto Informe y es aún más fuerte en la última evaluación, incluso para escalas regionales y extremos. La influencia humana en el contexto del IPCC se refiere a las actividades humanas que conducen o contribuyen a una respuesta climática, como las emisiones de GEI inducidas por el hombre que posteriormente alteran las propiedades radiativas de la atmósfera, lo que resulta en el calentamiento de los componentes de la atmósfera, el océano y la tierra. Otras actividades humanas que influyen en el clima incluyen la emisión de aerosoles y otros agentes climáticos de corta duración, y el cambio en el uso de la tierra, como la urbanización. El progreso en la comprensión de la influencia humana se obtiene a partir de conjuntos de datos de observación de más largo plazo e información paleoclima mejorada. Desde el Quinto Informe, la atribución a la influencia humana se ha vuelto posible a través de una gama más amplia de variables climáticas y generadores de impacto climático.



Además de la temperatura global de la superficie, una amplia gama de indicadores en todos los componentes del sistema climático está cambiando rápidamente, muchos de ellos a niveles no vistos en milenios. Los cambios observados brindan una imagen coherente de un mundo en calentamiento, muchos aspectos de los cuales ahora se han atribuido formalmente a la influencia humana en la atmósfera, el océano y los componentes terrestres del

sistema climático, en conjunto, se evalúa como inequívoco por la primera vez en un informe de evaluación del IPCC.

Es prácticamente seguro que el aumento de la temperatura de la superficie global y los cambios asociados pueden limitarse mediante reducciones rápidas y sustanciales en las emisiones globales de GEI. Las emisiones continuas de GEI aumentan en gran medida la probabilidad de cambios potencialmente irreversibles en el sistema climático mundial, en particular con respecto a la contribución de las capas de hielo al cambio del nivel del mar mundial.



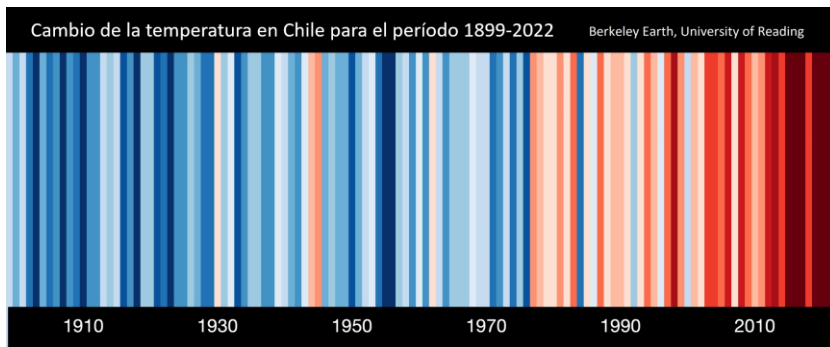
Chile no está ajeno al cambio global del clima, aunque estos pueden ser amortizados por la influencia del Océano Pacífico (Migrin et al., 2014).

De hecho, el país cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad definidos por la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático. A decir, Chile posee zonas costeras bajas, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, territorios susceptibles a desastres naturales, zonas propensas a sequías y desertificación, zonas urbanas con contaminación atmosférica y ecosistemas de montañas.

Estudios dan cuenta de un incremento en las temperaturas durante los últimos sesenta años, especialmente en las zonas interiores del norte y centro del país (Falvey y Garreaud, 2009), un avance del desierto hacia el sur del orden de 400 metros por año, junto con un aumento de los eventos extremos de temperatura

(Villarroel 2013) y disminución de la precipitación en las zonas centro y sur del país. La temperatura media anual en Chile continental (considerando la media de 109 estaciones) muestra una tendencia lineal de 0.15°C por década (periodo 1961-2021), con 8 de 10 de los años más cálidos ocurridos después del año 2010 (DMC, 2022). Un 89% de las estaciones muestran calentamiento y están localizadas en cordillera y valles, mientras que aquellas que muestran enfriamientos están ubicadas en la costa norte y central (Arica-Valparaíso) del país (DMC, 2022). El promedio anual de la precipitación en Chile continental (considerando 260 estaciones) muestra una disminución anual de 4% (8%) por década durante el periodo 1961-2021 (1980-2021). Siendo el periodo 2012-2021 el más seco con déficit promedio de 23% a nivel nacional (DMC, 2022).

En cuanto al futuro, las proyecciones a nivel mundial y nacional indican que los impactos del cambio climático continuarán y se harán aún más evidentes hacia fines del siglo 21, con un aumento en la temperatura media anual global que podría alcanzar 4 a 5°C en el peor escenario, un incremento en el nivel medio del mar de 20 a 90 cm, una mayor frecuencia de sequías y eventos extremos de precipitación, una disminución de al menos un 20 a 30% de las precipitaciones



en las regiones subtropicales y un aumento de éstas en la región austral, entre otras consecuencias. En particular en Chile, el resultado de las simulaciones del CMIP6 (Interactive Atlas) para el peor escenario (SSP5-8.5) y para fines del siglo 21 (2081-2100), señalan un aumento de la temperatura media anual en el territorio continental de 2 a 5°C respecto al promedio 1961-1990, siendo mayor en la zona norte y en cordillera, disminuyendo hacia el sur. La precipitación anual muestra una disminución de 20 a 30% para fines del siglo 21, respecto al promedio 1961-1990, en la zona centro sur del país (La Serena -Balmaceda).

Han pasado 36 años de su creación y 34 años desde que se dio a conocer el Primer Informe del IPCC, en particular del Grupo I dedicado a evaluar la

información científica disponible sobre el cambio climático. Ya entonces se informaba de un aumento de la temperatura media global en los últimos 100 años (1880 - fines de 1980) con los 5 años más cálidos ocurridos en la década de los ochenta, junto a un detectable aumento del nivel medio del mar. Además, se indicaba que hay evidencia de un aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) como resultado de las actividades humanas, que de continuar resultaría en un calentamiento adicional del aire superficial de la Tierra.

Estos primeros hallazgos han continuado manifestándose, con una cada vez mayor grado de certeza, llegando hoy en día el IPCC a indicar en su último Informe de 2023 que ciertamente el calentamiento global es real y de origen antropogénico.

Las evidencias del cambio climático ya se están manifestando con sequías e inundaciones y mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos como los registrados en la última década.

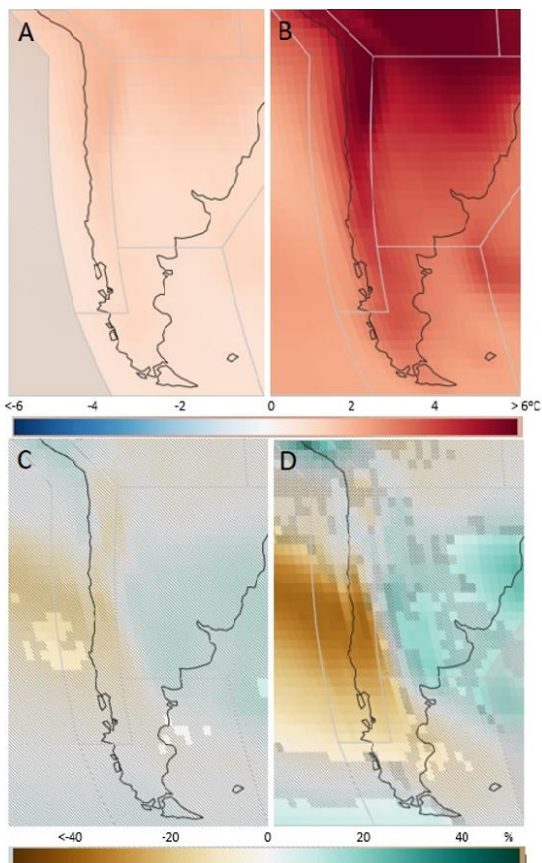
La tormenta “bomba” en Estados Unidos y la sequía en Magallanes son también manifestaciones de un clima que está cambiando. Los impactos en el sistema climático también ya se están haciendo sentir como son el retroceso de los glaciares, la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar, entre otros. El continuo aumento de las emisiones de GEI acentuará el calentamiento con impactos irreversibles en la naturaleza y con consecuencias sobre la humanidad. La 27ava Conferencia de las Partes (COP) sobre el cambio climático de Naciones Unidas (el órgano político-gubernamental, de los tomadores de decisión) realizada recientemente en Egipto, no avanzó como se esperaba en los compromisos de una acción significativa por parte de los países para seguir reduciendo las emisiones de los GEI. Cada año que pasa sin que los países cumplan con sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), el Acuerdo de París se hace más difícil de cumplir en cuanto a limitar el calentamiento global a 1,5 grados para mediados del siglo 21, y así contener los impactos y tomar medidas de adaptación. Incluso, el límite de 2 grados también podría estar en riesgo si los países no completan sus respectivos NDC.

Poco más de tres décadas de estudios científicos y negociaciones a nivel global han pasado, el diagnóstico y las predicciones de la ciencia han estado y están sobre la mesa para las negociaciones y acuerdos internacionales. Basado en ellos y en otros factores sociales y económicos vinculado al desarrollo de los países, los tomadores de decisión y los gobiernos han buscado la forma de reducir las emisiones de los GEI, de incentivar el desarrollo basado en energías limpias y sustentables, de las transferencias tecnológicas hacia los países en

desarrollo, de las ayudas para la adaptación a los impactos del cambio climático y, recientemente en la COP27, del acuerdo para financiar las pérdidas y los daños en los países más vulnerables que son y serán afectados por desastres naturales, entre muchas otras iniciativas que han surgido de negociaciones en las COP.

Sin embargo, a pesar de todos los avances, la concentración de CO₂ nunca ha dejado de aumentar, así como la temperatura media global del aire y los océanos. Se requiere algo más, los acuerdos internacionales se hacen cada vez más urgente para reducir drásticamente las emisiones de GEI y así cumplir con el Acuerdo de París. La atmósfera no tiene fronteras ni tampoco los cambios que en ella ocurren ni sus consecuencias en el sistema climático. Por lo tanto, todos somos parte del problema, en menor o mayor grado, pero todos también debemos ser parte de la solución.

Simulación climática para los cambios de la temperatura (°C, arriba) y la precipitación (% , abajo) para fines del siglo 21 (2081-2100) según el mejor (A y C) y peor (B y D) escenario (SSP5-2.5 y SSP5-8.5). Realizado con el Atlas Interactivo del Grupo I del IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>)



El gran desafío que plantea el cambio climático desde que comenzaron las negociaciones en Naciones Unidas es cómo garantizar a los habitantes de todo el mundo, en particular de los países menos desarrollado y vulnerables, un crecimiento económico con eficiencia y estabilidad para tener una sociedad equitativa y en desarrollo sustentable y armónico con el medio ambiente.

Referencias

- Arias, P.A. et al., (2021). Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- DMC, (2022). Reporte Anual de la evolución del clima en Chile. Documento elaborado por la Oficina Cambio Climático de la Sección Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. Editora General Claudia Villarroel Jiménez, 46 pp.
- Falvey, M. y Garreaud, R. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006), *Journal Geophysical Research*, 114. doi:10.1029/2008JD010519.
- IPCC, (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Edited by J.T. Houghton, G.J. Jenkins y J.J. Ephraums. Cambridge University Press.
- IPCC, (1995). *Climate Change 1995: The science of climate change*. Edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg y K. Maskell. Cambridge University Press.
- IPCC, (2001). *Cambio Climático 2001: Informe de Síntesis. Resumen para responsables de políticas*. Cambridge University Press.
- IPCC, (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC, (2013). “Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*” [Stocker,

T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Magrin et al., (2014). Central and South America. In: Climate Change 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 [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

Villarroel, C., (2013). *Eventos extremos de precipitación y temperatura en Chile: Proyecciones para fines del Siglo XXI*. Tesis de Máster. Universidad de Chile.



Hielos y Nieves en retirada y su impacto en las aguas

Dr. Gino Casassa Rogazinski

Glaciólogo

Centro de Investigación

Gaia Antártica

Universidad de Magallanes

Co-Nobel de la Paz



25

**“MAJESTUOSA ES LA BLANCA
MONTAÑA”**

Resumen

Se analiza el impacto del calentamiento global en las nieves y glaciares, especialmente en Chile. Se destaca que la altitud de la isoterma cero °C ha aumentado debido al calentamiento, afectando las áreas de nieve y esquí e Chile central. La megasequía desde 2010 ha disminuido las precipitaciones en gran parte de Chile, afectando la acumulación de nieve. Los glaciares chilenos, que constituyen aproximadamente el 80% de todos los glaciares andinos, están retrocediendo y perdiendo masa debido al aumento de la temperatura y a la sequía.

Se destaca la importancia de las nieves y los glaciares como fuentes de agua, con un énfasis en la necesidad de adaptarse a la pérdida de estos embalses naturales. Aunque se cumpla el Acuerdo de París para reducir emisiones y alcanzar el carbono neutralidad hacia 2050, los impactos futuros serán

inevitables. Es positivo el reciente acuerdo de reducción de combustibles fósiles alcanzado durante la COP28, y es preciso realizar acciones globales concretas en este sentido, de modo de poder revertir la tendencia de calentamiento hacia la segunda mitad del siglo para preservar al menos una parte de lo que va quedando de nieves y glaciares en nuestro planeta.

Retiro de las nieves



“Majestuosa es la blanca montaña” destaca la letra de nuestro himno patrio. Si bien es cierto que luego de una buena nevada y especialmente en invierno, ello sigue siendo verdad, lamentablemente en las últimas décadas nuestras blancas montañas se han ido oscureciendo, no solo en los Andes chilenos, sino

a nivel mundial, afectando la disponibilidad de las aguas por derretimiento de las nieves y los hielos. La razón principal: el calentamiento climático global.

La nieve estacional, vale decir la que se deposita en el periodo de precipitaciones, que coincide con el invierno en nuestro país (salvo en el extremo norte), durante la primavera y el verano se derrite y sublima (traspaso directo del estado sólido a vapor). Esta blanca nieve se ha visto fuertemente afectada en nuestro país por el calentamiento y la sequía.

Producto del calentamiento la altitud de la isoterma cero °C ha ido ascendiendo con el aumento de temperatura, por lo que ahora llueve en zonas donde antes nevaba. Este efecto lo conocen muy bien los esquiadores, particularmente en los centros de esquí ubicados a cotas bajas, en prácticamente todas las cordilleras, incluyendo los Alpes australianos, los Alpes europeos, los montes Apalaches en Norteamérica y por cierto en los Andes. En la cordillera central de Chile por ejemplo hace décadas que se dejó de esquiar en la Gran Bajada de Farellones, y son cada vez más escasos los días en que se puede esquiar en Lagunillas y Chapa Verde. La isoterma cero ha ascendido 127 metros en el

periodo 1958-2018 en Chile central (Barría *et al.*, 2019), y para fines de siglo se podría producir un ascenso adicional de 440 metros en los escenarios más desfavorables de emisiones de gases de efecto invernadero, con temperaturas atmosféricas que excederían en unos 4°C las actuales (Carrasco *et al.*, 2005).

En segundo lugar, la megasequía que ha afectado gran parte de Chile desde 2010 ha significado una disminución drástica de las precipitaciones, lo que también ha reducido en consecuencia la acumulación de nieve en cordillera. Aunque este año 2023 hemos tenido un muy bienvenido respiro, con precipitaciones cercanas al año normal en Chile central, no significa lamentablemente que haya terminado este periodo seco, que muy probablemente prevalecerá a futuro en la zona. El calentamiento global unido a la megasequía está constituyendo una verdadera “tormenta perfecta”, o más bien una real ausencia de tormentas que en Chile se expresan como frentes de baja presión que provienen del océano Pacífico y que impactan contra la cordillera de los Andes, depositando su humedad. En efecto, desde el norte al sur de Chile (18°–40°S) se ha verificado en el periodo 1986-2018 una disminución promedio de un 38% de la cobertura areal de nieve en la época seca de verano (Cordero *et al.*, 2019).

Retroceso de los glaciares

Los glaciares, en su calidad de “nieves permanentes”, se ubican en las proximidades de las altas cumbres. Al igual que la nieve estacional, los glaciares están en franco retroceso en todo el planeta, debido al calentamiento global, salvo contadas excepciones. Chile posee aproximadamente el 80% de los glaciares andinos, incluyendo los grandes campos de hielo de la Patagonia y Tierra del Fuego, los que en su casi totalidad están perdiendo masa en forma acelerada, tanto por retroceso de sus frentes y márgenes como por adelgazamiento (Figura 1).

El balance de masa de un glaciar se define como la ganancia de masa durante el periodo de acumulación de nieve (normalmente el invierno), menos la masa que pierde durante el periodo de ablación (normalmente el verano). Si el glaciar pierde más masa de la que gana, entonces su balance será negativo. A nivel global, durante el periodo 2000-2010, en todas las cordilleras del mundo, los glaciares perdieron a nivel global en promedio 0,54 metros equivalente en agua por año, vale decir unos 0,64 metros de espesor de hielo por año, lo que representa un incremento del 64% respecto del balance de masa promedio de

los glaciares a nivel global durante la segunda mitad del siglo XX, en concordancia con el aumento del calentamiento planetario (Zemp *et al.*, 2015). Un glaciar emblemático es el Echaurren Norte, ubicado frente a Santiago, inmediatamente al norte del Embalse El Yeso y la Laguna Negra. Este glaciar piloto, monitoreado por la Dirección General de Aguas, posee el registro más largo de balance de masa de los Andes, y constituye el único glaciar “de referencia” del hemisferio sur (Fariás-Barahona *et al.*, 2019). Desde 1975 el Echaurren Norte ha perdido 32,1 metros de espesor de hielo (Figura 2), con una pérdida de 20,8 metros (vale decir el 65%) concentrada en los últimos 12 años desde que comenzó la megasequía. La combinación de la megasequía con el calentamiento atmosférico ha contribuido también a la fragmentación de este glaciar en 3 cuerpos menores, disminuyendo su área desde 47,6 hectáreas en 1955 hasta 19,7 hectáreas en 2021, vale decir una pérdida de superficie del 41% en 66 años.

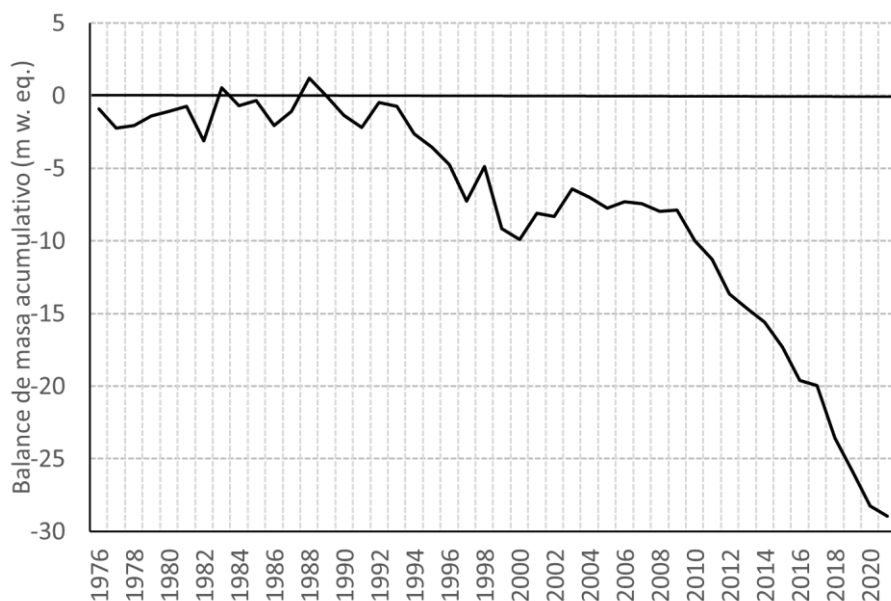


Figure 1. Balance de masa anual (m equivalente en agua) para el glaciar Echaurren Norte.

Mecanismos de retroalimentación positiva

Existen mecanismos, llamados de retroalimentación positiva, que amplifican el retroceso de las nieves y los hielos. El principal es el efecto albedo, o reflectividad de la nieve y el hielo. En efecto, la nieve (cuyo albedo puede alcanzar hasta casi el 100%), y el menor grado el hielo (albedo de 30% a 50%, son los elementos más blancos de la naturaleza, y por lo tanto los que reflejan en mayor proporción la radiación solar. Por ello es indispensable utilizar lentes oscuros en estos ambientes nevados. Con el aumento de la temperatura, el albedo de la nieve decrece, y por tanto la nieve absorbe más radiación solar y se calienta más, resultado en un mayor derretimiento. Este fenómeno es más exacerbado cuando la nieve y los glaciares retroceden de tal manera que aflora el suelo y la roca subyacente, a veces incluso junto a agua líquida, cuyo albedo puede incluso alcanzar valores menores al 10%. El efecto final resulta en una absorción mucho mayor de la radiación solar, que calienta de preferencia el clima local y regional de las altas cordilleras y zonas polares, contribuyendo en gran manera en la mayor pérdida de nieve y hielo.

29

Una segunda retroalimentación positiva se produce debido a la mayor disponibilidad de material particulado producto de la desglaciación en las cordilleras y en las zonas polares, depositándose parte de estas partículas sobre la nieve y el hielo por transporte de viento y caídas gravitacionales (remociones en masa). Si el espesor de las partículas es inferior a 1 pulgada aproximadamente (Espinoza, 2018), se produce una mayor pérdida de nieve y hielo por derretimiento debido a la mayor absorción de calor radiativo del sol, dado que normalmente dicho material particulado es más oscuro que la nieve y el hielo. Por ejemplo, en el sector oriental de Campo de Hielo Norte en la Patagonia chilena, se ha reportado un aumento de del 68% de la superficie cubierta por detritos en glaciares en el periodo 1944-2014 (Farías-Barahona, 2015). En los Andes de Chile central, Shaw *et al.* (2020) concluyeron que el albedo del hielo glaciar disminuyó un 7% en el periodo 1986-2009.

Una tercera retroalimentación se origina producto del gradiente altitudinal de la temperatura atmosférica, que en promedio en el planeta resulta en una disminución altitudinal de 6,5°C/km. Pues bien, debido al calentamiento global, los glaciares están experimentando un relevante adelgazamiento, por lo cual su cota superficial decrece, siendo sometidos a una temperatura mayor a dichas cotas inferiores debido al gradiente altitudinal de temperatura.

Aporte hídrico

Producto de la presencia de nieve estacional y glaciares, las cordilleras son reconocidas como verdaderas “torres de agua” (Schoolmeester *et al.*, 2018). En Chile central, por ejemplo, es bien conocido que los mayores caudales se producen hacia mediados/fines de la primavera, debido al derretimiento de la nieve estacional. Posteriormente, hacia mediados/fines del verano se produce el mayor aporte de los glaciares, que, aunque en caudal absoluto es bastante menor al aporte de la nieve, puede alcanzar hasta 2/3 de la esorrentía en dicha época en un año muy seco (Ayala *et al.*, 2020).

30

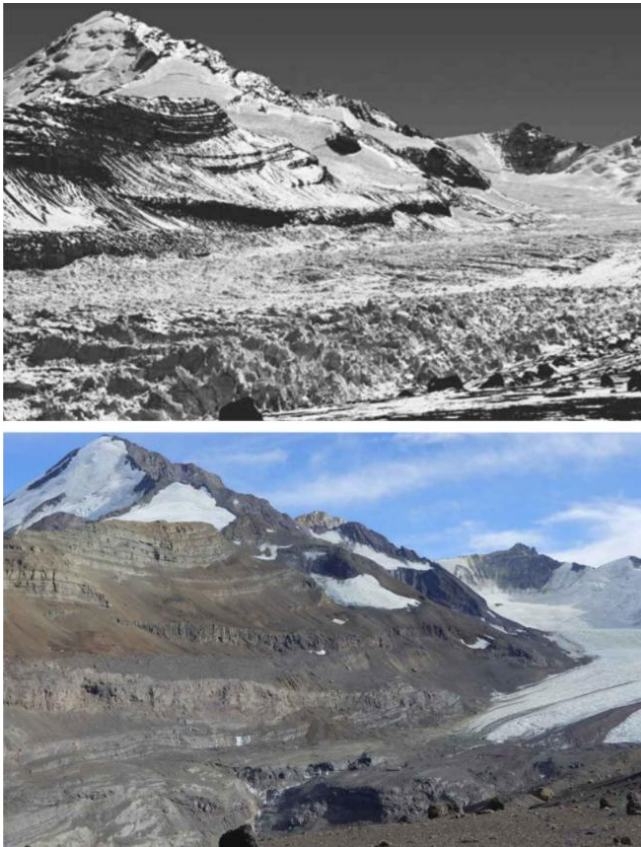


Figure 2. Glaciar Juncal Sur y cerro Federación, 1953 (arriba, foto Louis Lliboutry), y en 2018 (abajo, foto Franco Buglio y Marc Turrel).

Los glaciares son verdaderos reservorios naturales, que acumulan agua en forma sólida durante el periodo de acumulación de nieve, y entregan agua

preferentemente en la época estival, cuando más se necesita, particularmente por el uso agrícola, que en Chile representa del orden del 70% del consumo de agua. Debido al calentamiento global, los glaciares inicialmente aportan más agua de derretimiento. Sin embargo, al disminuir en área los glaciares bajo una cierta superficie crítica, comienzan a aportar menos agua debido a la disminución paulatina del hielo. De esta manera el aporte hídrico de los glaciares ha aumentado a través de los años en las últimas décadas, alcanzando un “caudal punta” (es decir un caudal máximo), para luego decrecer. Para glaciares pequeños, este caudal punta se alcanza en el corto/mediano plazo. Para los glaciares grandes, por ejemplo, aquellos de la cuenca del río Olivares, del entorno del volcán Palomo al interior de Rancagua/San Fernando en la zona central de Chile, y en los campos de hielo de la Patagonia y Tierra del Fuego, este caudal punta aún no se alcanza.

El futuro

Lamentablemente los distintos escenarios futuros no presagian nada positivo. Aunque se cumpla el Acuerdo de París convenido durante la COP21 en 2015, que compromete una substancial reducción de emisiones de gases de invernadero de modo de asegurar que el calentamiento atmosférico global no exceda 2°C, y en lo posible que tampoco supere los 1,5 °C, en las próximas décadas al menos la temperatura aumentará inexorablemente. De hecho, ya al año 2019 la temperatura global había aumentado 1,1 °C respecto de niveles preindustriales (1850-1900). Con el calentamiento continuará la reducción de las nieves y los glaciares, y su impacto asociado en los recursos hídricos. Los impactos serán más graves en zonas áridas y semiáridas, donde la cobertura nival y los glaciares son más escasos. Si bien es cierto los glaciares aportan más agua hasta alcanzar su “caudal punta” y luego disminuyen dichos caudales, en la práctica se traduce en “pan para hoy y hambre para mañana” producto que en el escenario actual de incremento de gases de efecto invernadero el destino de los glaciares lamentablemente ya está definido.

Con una mirada optimista, el reciente acuerdo suscrito por las 198 partes (197 naciones más la Unión Europea) durante la COP28 en Dubai es un paso esperanzador hacia el futuro, puesto que se menciona por primera vez, explícitamente, que los combustibles fósiles (y no genéricamente las “emisiones de gases de efecto invernadero” como se acordó en las anteriores COPs) son un principal agente responsable del calentamiento global, expresando que es

preciso una “transición para abandonar los combustibles fósiles en los sistemas energéticos, de forma justa, ordenada y de manera equitativa, acelerando la acción en esta década crítica, a fin de lograr cero emisiones netas para 2050, de acuerdo con la ciencia.”



Las autoridades en Chile han expresado el plan de terminar con las centrales termoeléctricas a carbón antes de 2050, con el fin de lograr la carbono-neutralidad, ayudado sin duda por los bosques con que ha sido bendecido nuestro país, que permiten absorber del orden del 57% de las emisiones actuales.

El clima sin embargo no responde instantáneamente a una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que existe un retraso de varias décadas e incluso más de un siglo, hasta que pueda ajustarse el clima a las nuevas condiciones de equilibrio. Vale decir, con las emisiones acumuladas hasta el momento, ya hemos comprometido un calentamiento futuro con graves impactos asociados. Solamente un riguroso cumplimiento de los acuerdos globales podrá revertir a partir de la segunda mitad de este siglo la tendencia del incremento del calentamiento global, y con ello la preservación al menos parcial de la nieve y los glaciares tal como los conocemos hoy en día.

Referencias

- Ayala, A. et al. 2020. Glacier runoff variations since 1955 in the Maipo River Basin, semiarid Andes of central Chile. *The Cryosphere* 14, 2005– 2027. doi: 10.5194/tc-14-2005-2020.
- Barría, I. et al. 2019. Simulation of long-term changes of the Equilibrium Line Altitude in the Central Chilean Andes mountains derived from atmospheric variables during the 1958–2018 period. *Frontiers Environmental Sciences* 7:161. doi: 10.3389/fenvs.2019.00161.
- Carrasco, J. F. et al. 2005. Changes of the 0C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrol. Sci. J.* 50, 933–948. doi: 10.1623/hysj.2005. 50.6.933.
- Cordero, R.R. et al. 2019. Dry-season snow cover losses in the Andes (18°–40°S) driven by changes in large-scale climate modes. *Sci Rep* 9, 16945. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53486-7>.
- Espinoza, A. 2018. Influencia de las impurezas en la ablación del glaciar Del Rincón (Región Metropolitana, Chile). Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad Católica del Norte, 75 p.
- Farías-Barahona, D. 2015. The increase of debris cover of glaciers in the eastern side of the Northern Patagonia Icefield in the last 70 years. Abstract, Session C03 Glacier Monitoring from In-Situ and Remotely Sensed Observations, IACS
- Farías-Barahona, D. *et al.* 2019. Geodetic mass balances and area changes of Echaurren Norte Glacier (Central Andes, Chile) between 1955 and 2015. *Remote Sensing*, 11(3), 260.
- Shaw T.E. et al. 2021. Glacier albedo reduction and drought effects in the extratropical Andes, 1986–2020. *Journal of Glaciology* 67(261), 158–169. <https://doi.org/10.1017/jog.2020.102>.
- Schoolmeester, T. *et al.* 2018. The Andean Glacier and Water Atlas – The Impact of Glacier Retreat on Water Resources. UNESCO and GRID-Arendal.
- Zemp, M. et al. 2015. Historically unprecedented global glacier changes in the early 21st Century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745-762, doi: 10.3189/2015JoG15J017.

Cambio Climático

El mayor desafío socioambiental de nuestro tiempo



34

Dr. Luís Abdón Cifuentes

Ingeniero UC,

Pontificia Universidad Católica de Chile

CO-Nobel de la Paz 2007



Hace una década, cuando se hablaba de Cambio Climático, se usaba la imagen de un famélico oso polar equilibrándose en un trozo de hielo. El Cambio Climático se mantenía en el ámbito de lo natural, y había quienes lo descontaban diciendo que era un lujo mitigarlo para salvar especies que solo eran valoradas por una parte reducida de la sociedad. Pero eso ha cambiado radicalmente en la última década. Programa (UNEP) en 1988.

Las catástrofes que ha experimentado Chile y muchos otros países no afectan solo a la naturaleza. Incendios, inundaciones, derrumbes, afectan directamente a las personas. La imagen del oso polar ha pasado a un segundo plano: hoy las consecuencias directas sobre las personas son las que nos preocupan. Parece

que la sociedad se ha dado cuenta repentinamente que está expuesta siempre a los embates del clima, exacerbados por los cambios antrópicos.

Aunque las bases científicas de la interferencia del hombre en el clima se conocen desde el siglo XIX, no fue hasta la segunda mitad del siglo XX que se realizaron mediciones precisas del CO₂ en la atmosfera, y se desarrollaron los primeros modelos globales.

Aunque algunos gobiernos los conocían, no actuaron: el plazo en que estas consecuencias se materializarían no es el mismo plazo de los procesos políticos. Pero los científicos siguieron trabajando y a fines de los 80 el testimonio de Carl Sagan y James Hansen precedió la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

En Chile las cosas fueron más lento. Cuando en 2001 se publicó el Tercer Reporte del IPCC, la noticia pasó prácticamente desapercibida. Las cosas cambiaron para 2007 y el Cuarto Reporte. El IPCC compartió Premio Nobel de la Paz 2007 con Al Gore, que había visitado Chile unos meses antes. Finalmente, la organización de la COP25 en 2019 catalizó la situación, y hoy es difícil encontrar algún actor social o político que no lo incluya dentro de su discurso.

En mi opinión, no existen los “problemas ambientales”, sino los problemas sociales en que el ambiente juega un rol



Incendio forestal verano de 2023 en el sur de Chile

fundamental. Esta distinción es sutil, pero muy importante: el fin último de mitigar el cambio climático, y es el, el ser humano, más bien la civilización. Una disrupción del sistema climático, como se anticipa si no hacemos nada, afectará principalmente a nuestra sociedad. Las organizaciones sociales se debilitarán, y aparecerán conflictos debido a las presiones y la escasez de recursos naturales, que reducirán notablemente la civilización. Ya conocemos los conflictos por escasez de agua, y las migraciones que ellos han producido, con las consecuencias tensiones sociales. Solo cabe esperar que ellas se intensificarán en el futuro.

Por eso el IPCC recibió el Premio Nobel de la Paz. Su contribución principal no es contribuir con conocimiento para preservar el planeta, sino para preservar nuestra sociedad.

La naturaleza es resiliente, y se adaptará a las nuevas condiciones. Algunas especies desaparecerán, otras florecerán, como ha ocurrido a lo largo de la historia. Eso también ha ocurrido con civilizaciones, por eso este fenómeno nos debe preocupar sobremanera.

¿Como lo abordamos? Hay dos estrategias complementarias: la mitigación, es decir la reducción del impacto de la sociedad en el clima, y la adaptación, es decir, afrontar de mejor manera los impactos naturales que el cambio climático aumentará.

El actual cambio climático principalmente aumenta la intensidad y frecuencia de eventos que siempre han ocurrido: olas de calor, inundaciones, sequías, derrumbes, no son nada nuevo. Los hemos enfrentado en el pasado, pero serán crecientemente intensos y frecuentes en el futuro. La forma de enfrentarlos debe comenzar por hacer hoy día las cosas lo mejor posible, y proyectar los mayores impactos futuros. Además, una sociedad más afluente exige crecientemente reducir los riesgos de eventos naturales. Es importante jerarquizar las áreas críticas.

La estrategia dominante es reducir la magnitud del problema. Eso requiere un esfuerzo mundial, y todos sabemos lo difícil que es concordar soluciones que tienen beneficios globales, pero costos locales (nacionales en este caso).

El Acuerdo de París no logra todavía comprometer esfuerzos de mitigación que permitan lograr su meta. Y esos esfuerzos, a merced de las voluntades nacionales, pueden ser relajados frente a situaciones como la guerra en Ucrania.

¿Hay esperanza? Confío que sí. La tecnología y el impulso privado, regulado adecuadamente, es nuestra única opción en el corto plazo que se requiere. Chile es ejemplo de eso: el espectacular crecimiento de la generación eléctrica renovable se debe a su menor costo, y a una regulación que no impide su instalación y operación. El costo del ciclo de vida de los buses eléctricos es menor que su equivalente Diesel. La calefacción con equipos invertir resulta más barato que su alternativa de combustión para generar calor. Todas estas tecnologías debieran haber sido adaptadas antes por motivos de menor impacto local, como contaminación atmosférica y el ruido, pero la realidad muestra otra cosa.

La interferencia antrópica en nuestro clima terrestre es un fenómeno que afectará todas las actividades humanas, directa o indirectamente. Mientras antes lo incorporemos en las decisiones públicas y privadas, menores serán sus consecuencias.



Estadio de Talca después de intensas precipitaciones que afectaron la zona centro-sur de Chile entre el 18 y 23 de agosto de 2023 (cuenta red social X@Barras_LATAM)

El pensamiento eco-sustentable de un hombre Nobel

38



Sergio González Martineaux

Investigador INIA-La Platina Integrante del
IPCC (Task Force Bureau)
Co-Nobel de la Paz 2007

Entrevista en marzo de 2019, cuando la esperanza estaba puesta en Chile

1.- 6xto informe del IPCC ¿qué dice Chile? Creo entender que la pregunta tiene relación con el aporte de Chile a su elaboración. En general, creo que se mantendrá lo obrado por el país para el 5° informe de Evaluación del Clima, esto es, una participación relativamente importante de académicos e investigadores nacionales. Definitivamente, la recepción del Premio Nobel de la Paz 2007 por el IPCC incentivó a universidades y centros de investigación a nominar candidatos al IPCC.

2.- Gloria u ocaso de la COP25, Dic 2019, 30.000 asistentes. Para mí, y habiendo conocido desde adentro, la posición chilena, respecto de ser sede de algún evento relevante a nivel mundial, me llamó sorprendió positivamente el anuncio de que vamos a ser la sede de la próxima COP25 y que se llevará a cabo en el mes de diciembre. Aun siendo más bien escéptico de la negociación mundial sobre el cambio climático, tengo la esperanza que este evento promueva una mayor proactividad de las fuerzas sociales del país para asumir acciones efectivas de contención y adaptación al cambio climático; la ciudadanía, la gente común debe asumir este tema como propio sin esperar que la autoridad de turno le diga lo que debiera o no hacer.

3.- Crisis Ambiental, Tecnoestructuras sustentables en las ciudades y campos. Por definición, las tecnoestructuras nunca alcanzarán la condición de sustentables., por el simple hecho que siempre estarán requiriendo ser

alimentadas con materias y energía proveniente del mundo natural. Lo que sí podemos hacer es pensar en tecnoestructuras que sean sustentables, al menos, en su operación. Un ejemplo de estas puede ser la agricultura urbana, esto es, la producción de alimentos vegetales en estructuras construidas. Eso nos lleva a diseñar tecnoestructuras que sean extremadamente eficientes en el uso de la energía (incluyendo a las personas que viven en ellas) y que esta provenga de fuentes renovables o convencionales, pero asumiendo y neutralizando los impactos ambientales negativos de estas, que siempre los habrá.

4.- ¿Áreas silvestres protegidas? La protección de áreas silvestres, en cualquiera de las diferentes categorías de protección (parque nacional, reserva, monumento, otra) es esencial para preservar las comunidades y especies bióticas preexistentes y asegurar los procesos de evolución natural. Con ello, preservamos los conjuntos genéticos generados naturalmente (de donde estamos extrayendo permanentemente algunos para beneficio humano directo), la contención y control de los procesos naturales de modelación de la superficie planetaria emergente, los paisajes y los ciclos hidrológicos controlados, entre muchos otros servicios ambientales. Entiendo que, por necesidades de financiamiento, deban abrirse controladamente al agroturismo, pero debiera hacerse evitando los impactos ambientales negativos de esta actividad económica.



Sergio González Martineaux con el Diploma que acredita su participación en el Premio Nobel de la Paz 2007 (Q.D.E.P.).

Nobel Peace Prize 2007

4th IPCC Assessment



Dr. Jorge Carrasco Cerda
Meteorólogo
Universidad de Magallanes
Co-Nóbel de la Paz 2007



Dr. Gino Casassa Rogazinski
Glaciólogo
Instituto Antártico Chileno
Co-Nóbel de la Paz 2007



Dr. Luis Abdón Cifuentes Lira
Ingeniero Industrial
Pontificia Universidad
Católica de Chile
Co-Nóbel de la Paz 2007

Index



Index

Editorial	49
Brief Summary of the IPCC Assessment Reports: Chronicle of an Announced Warming	
Dr. Jorge Carrasco Cerda	51
Retreating ice and snow and its impact on the water	
Dr. Gino Casassa Rogazinski	66
Climate Change: The greatest socio-environmental challenge of our time	
Dr. Luís Abdón Cifuentes	75
Interview in March 2019. When hope was placed in Chile	
MSc. Sergio González Martineaux	79

Special Edition: Seminario and Panel Foster on Climate Change, Tourism, Water, and Energy Efficiency
ISBN: 978-956-423-322-2

Director y Editor: Cristian D. Szott Medina. Director Revista Nueva Diplomacia

Acknowledgement:

Project ANID-FONDECYT No 1221122, Hotel Cabo de Hornos, Punta Arenas, Chile. Sala Vitacura

Art Design, Diagramming &

Photography: Cristián D. Szott Medina y Archivo Revista cristian.szott@gmail.com

Contact +569 9045 8523

All rights reserved 2025

Registration of intellectual property: in process

Partial and total reproduction is authorized, citing

<https://www.nuevadiplomacia.cl>

Editorial



The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was established jointly by the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Program in 1988. The UN scientific body evaluates the evidence for observed changes in the climate system, the factors that cause them, and future projections of those changes. It also evaluates climate change's environmental and socioeconomic impacts and formulates strategic responses for mitigating greenhouse gases.

With 34 years since its creation and 32 years since the release of its First Report, the IPCC has provided scientific information on climate change since the early 1990s. Even then, there were indications of an increase in the average global temperature over the last 100 years (1880 – late 1980), with the five warmest years occurring in the 1980s. This and a detectable increase in average sea level were evidence of a long-term trend. The report also revealed that human activities contributed to increasing greenhouse gas (GHG) emissions, which, if not addressed, would lead to additional warming of the Earth's surface air. These first findings have continued to manifest themselves with an increasingly more significant degree of certainty, with the IPCC now indicating in the 2021 Report that global warming is undoubtedly real and of anthropogenic origin. Furthermore, the consequences of climate change are already manifesting with droughts, floods, and a greater frequency of extreme weather events such as those recorded in recent years.

The impacts on the climate system are also already being felt, such as the retreat of glaciers, the acidification of the oceans, and the rise in sea level, among others. Since the first report, it has been predicted that the continued increase in GHG emissions will accentuate warming with irreversible impacts on nature and consequences for humanity.

The 27th Conference of the Parties (COP) on climate change of the United Nations (the political-governmental body of decision-makers) held in 2022 in Egypt did not advance as expected in the commitments for significant action by countries to continue reducing GHG emissions. Each year, without countries meeting their Nationally Determined Contributions (NDC), the Paris Agreement becomes more challenging to meet regarding limiting global warming to 1.5 degrees by the mid-21st century, containing and reducing

impacts and adaptation measures in time. Even the 2-degree limit could be at risk if countries do not complete their respective NDCs.

Several significant results were achieved at the recent COP28 held in Dubai in 2023. One of the main ones was the conclusion of the first Global Stocktake, which assessed progress toward the goals of the Paris Agreement. This assessment highlighted the urgent need to move towards a fossil fuel-free economy. Although this was a significant milestone, some countries expressed frustration at the lack of a clear commitment to phase out fossil fuels by 2030 and criticized the presence of loopholes in the text that could allow continued production of coal, oil, and gas.

Another key outcome was a commitment to triple global renewable energy capacity and double the annual rate of energy efficiency improvements by 2030. However, developing countries were dissatisfied with the need for new financial commitments to support their clean energy transition and adapt to climate change's impacts.

More than three decades of scientific studies and global negotiations have passed. The diagnosis and predictions of science have been and continue to be on the table during international negotiations and agreements. Based on them and on social and economic factors linked to the development of countries, decision-makers, and governments have tried to reduce GHG emissions, encourage development based on clean and sustainable energies, facilitate technology transfer to developing countries, and support adaptation to the impacts of climate change. En la COP29 se destacó tanto los avances como los desafíos persistentes en la lucha contra el cambio climático, en llegar a acuerdos para evitar un mayor calentamiento del planeta, en aumentar significativamente el financiamiento a los países en desarrollo (aunque siempre falta), y en la necesidad de acciones más decisivas y rápidas para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París, pero no siempre los acuerdos y avances son al ritmo que la urgencia requiere.

Brief Summary of the IPCC Assessment Reports

Chronicle of an announced warming



Dr. Jorge Carrasco Cerda

Doctorado en Ciencias Atmosféricas
"Centro de Investigación
Gaia Antártica"
Universidad de Magallanes
Co- Nobel de la Paz 2007

51



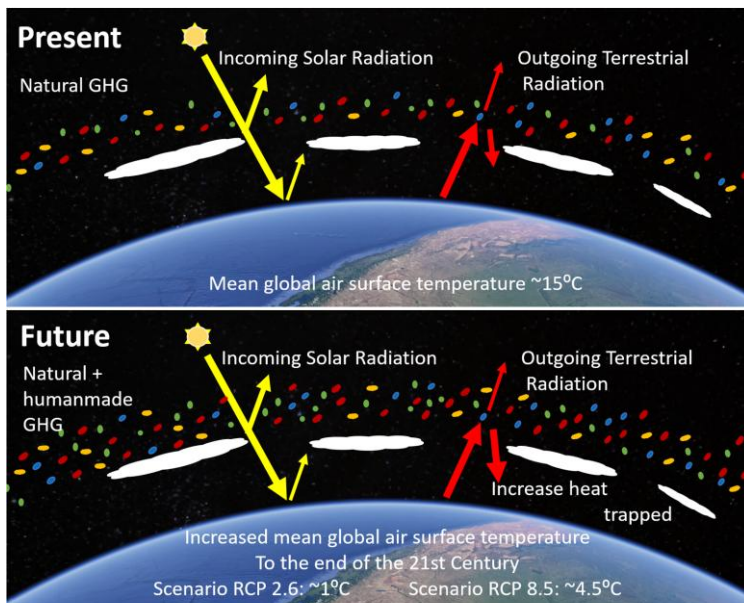
The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was established jointly by the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Program (UNEP) in 1988,

With the aims of i) evaluating the scientific information related to the various components of the climate system that are changing due to increasing concentrations of greenhouse gases (GHG) that modify the Earth's radiation balance and (ii) formulating realistic response strategies to deal with the problem of climate change. From the beginning, the Panel is divided into three Working Groups, each one with a mean objective. Group I assesses the available scientific information on climate change, Group II assesses the environmental and socioeconomic impacts of climate change and adaptation measurements, and Group III formulates strategic responses to mitigate greenhouse gases. In addition, the Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI) was established to develop and define an internationally agreed methodology, and software for calculating and reporting national GHG emissions and removals

was established. Each group prepares assessment reports, updated approximately every 5-6 years.

Climate change is a change in the average weather conditions a given region experiences on a decadal scale, a hundred and a thousand years. It includes changes in temperature, precipitation, humidity, wind patterns, and other environmental variables associated with alterations in atmospheric circulation at local, regional, and global scales due to natural forces such as volcanic activity and Earth-Sun astronomical shifts. However, the leading cause of the current climate change is the increase in the concentration of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere due to an increase in the emissions of these gases from human activities such as industrial fossil fuels and deforestation. These gases trap part of the Earth's heat (or energy), allowing the environment and livable conditions to continue for hundreds of thousands of years. An increase in the GHG concentration means that more heat is retained by the atmosphere, leading to an increase in the tropospheric temperature of the Earth. Climate change is already causing significant impacts on people and ecosystems worldwide. It is expected to have even more severe impacts, including increased flooding,

52



Simplified schematic of the Earth-Atmosphere energy balance and the greenhouse effect

drought, heat waves, and other extreme weather-related events. It will also result in further changes to the global climate, such as reduced crop yields and increased desertification. To address the challenges of climate change, efforts must be made to reduce GHG, protect ecosystems, and invest in adaptation and mitigation strategies. Here, a review of the IPCC Reports is summarized, outlining the main results and findings to show the consistency and growing evidence of climate change since the First report. The First Report was released in 1990. Firstly, the report revealed that the average global temperature had increased 0.3-0.6°C in the last 100 years (1880 - late 1980) and that the sea level had risen about 10-20 cm (IPCC, 1990).

However, the observed change of the global mean temperature was still within the normal range of the climatic variability,

so it could still be considered natural behavior. Likewise, the First Report did not show evidence that the climate would become more variable. However, it did show that increased air temperature could lead to increased episodes of high temperatures and less frequency of cold events. Second, there was a certainty that the effect of natural greenhouse gases (GHG) keeps the Earth warmer and that GHG emissions resulting from human



activities were substantially increasing the GHG concentrations, which in turn would result in an additional global warming of the surface air. Third, some GHGs are more effective than others in changing the climate; thus, carbon dioxide (CO₂) has been the most responsible (by more than 50%) for increasing the greenhouse effect in the past, and it will continue to be so in the future. It is reported that the increasing rate of GHG emissions would increase their concentrations for centuries, forcing further reductions to stabilize concentrations at a certain level. For example, a reduction above 60% of CO₂ emission is needed to return to the 1990 emission levels and about 15-20% for methane. Fourth, under the “Business-as-usual” scenario, air temperatures could rise by 0.3°C (0.2 - 0.5°C) per decade, the highest rate that could occur in the last 10,000 years. Thus, the global mean air temperature of the planet could increase by 1°C by 2025 and 3°C by the end of the 21st century. For scenarios where emissions have had some control, projected global warming would fluctuate between 0.1 and 0.2°C per decade, depending on the degree of GHG reduction. On average, an increase in mean sea level of 3 to 10 cm per decade was estimated, mainly due to the thermal expansion of the ocean and melting of some continental ice.

The Second Report (IPCC, 1995) indicates that CO₂, methane, and nitrous oxide had increased by 30%, 145%, and 15%, respectively (1992 values) and that the increase in GHGs is attributable to human activities, and that the 500 ppmv of CO₂ would be reached at the end of the 21st century. In addition, according to carbon cycle models, a stabilization of the CO₂ concentration at 450 ppmv could be achieved in 40 years if GHG emission levels were reduced to at least the values observed in 1990. The global average temperature on the surface recorded from the end of the 19th century to the beginning of the 1990s had increased between 0.3 and 0.6°C. Rainfall showed an increase in land areas in the high latitudes of the Northern Hemisphere.

Evidence from the observed environmental changes suggested that human influence was already discernible in climate change.

Climate projection according to the intermediate scenario of future climate simulation indicated an average global temperature increase of 2°C for the year 2100, with respect to the year 1990. In the same period, a rise in the mean sea level of 15 to 95 cm was estimated, depending on the ice melting rate.

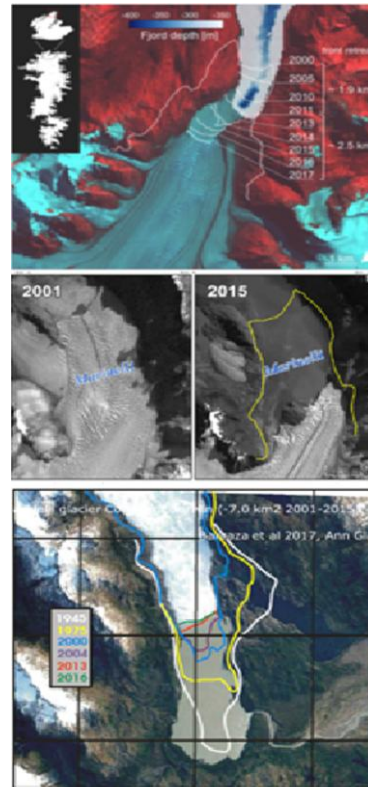
The Third Report (IPCC, 2001) resolved that the global average temperature increase was $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ during the 20th century. The mean sea level would have risen 10 – 20 cm in the same period. Snow cover and sea ice extent have

decreased by 10% since the 1960s. Precipitation has increased by about 0.2-0.3% per decade in tropical continental zones and decreased by 0.3% per decade in continental regions between 10°N-30°N in the northern hemisphere. On the other hand, the frequency of extreme precipitation events occurrence increased from 2 to 4%. The increase in CO₂ had already reached 31% since 1750, the highest in the last 450,000 years. There is larger evidence that most of the observed warming is attributable to human activity, mainly during the second half of the 20th century. The report emphasized that:

Without significant reductions in GHG emissions, global warming would continue and have severe and potentially irreversible impacts on natural and human systems.

The IPCC report released worldwide projections based on certain assumptions of economic, demographic, technological development, environmental policies, and social equity. These projections indicated that the global average temperature could increase between 1.4 and 5.8 °C towards the end of the 21st century. Changes in precipitation regimes would occur with increases in polar latitudes and decreases in mid-latitudes. In addition, increases in extreme weather events such as heat waves and heavy rainfall, drought events, and tropical cyclones were projected through the present century.

The Fourth Report (IPCC, 2007) concluded that the warming of the climate system is unequivocal, as revealed by the evidence and environmental data analysis from the atmosphere and the ocean, by the significant shrinkage of the cryosphere, and the rise in mean sea level, among others. Until 2006 (the last year included in the Fourth Report), the total temperature increased by 0.76°C (0.57 -0.95°C) from 1850-1899 to 2001-2005. The mean sea level rose about



Examples of glacier retreats in Jorge Montt, Marinelli and Tyndall glaciers, austral región of Chile

1.8 (1.3 – 2.3) mm per year during the 1961 – 2003 period, higher between 1993 and 2003 with 3.1 (2.4-3.8) mm per year. In addition, there was an increase in extreme events such as intense rainfall, heat waves, intensity of tropical cyclones, etc. According to climate prediction models, the best estimation for warming at the end of the 21st century (2090-2099) was 0.6 to 4.0°C, depending on the best or worst scenario and intermediate simulations.

The Fifth Report (IPCC, 2014) reaffirmed previous findings and conclusions, emphasizing that the warming of the climate system is unequivocal. It reports that each of the past three decades (1980-2010) has been successively warmer than any previous decade since 1850. Many of the observed changes are unprecedented over decades or millennia. Observational records revealed that GHG concentrations had increased, making the total radiative forcing positive and leading to additional energy uptake by the climate system. The largest contribution to this forcing was caused by the increase in atmospheric CO₂ concentration since 1750. The report indicates that:

Human influence on the climate system is unequivocal and detectable.

Therefore, the atmosphere and the ocean show evident warming; snow and ice covers have decreased, and the sea level has risen. The rise in sea level since the mid-19th century has been more significant than the average rate for the previous two millennia. The global mean sea level rose by 0.19 [0.17 to 0.21] m during 1901-2010. The Report projects that the global surface air temperature will likely exceed 1.5°C by the end of the 21st century, relative to the 1850-1900 period, for all but the most benign future climate simulation scenarios. The Arctic sea-ice extent will likely continue to shrink and thin, and the spring snow cover in the Northern Hemisphere will decline during the 21st century as global



mean surface temperature increases. As well as it was also projected that the global volume of glaciers would continue to decrease.

The Working Group I Sixth Report was published in 2021 (Arias et al., 2021) and generally confirms the findings, predictions, and conclusions of the Fifth and previous Reports. Once again, the unequivocal human influence on the atmosphere, ocean, and biospheric warming is highlighted. In addition, the Report points out that the several rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere, and biosphere observed in the last two decades are signs that:

Climate change is already manifesting itself in the present and will become more evident in the coming decades.

57

The scale of recent changes and the present state of many aspects of the climate system have been unprecedented in the last hundreds and thousands of years. All regions of the planet are already affected by extreme weather and climate events, such as heat waves, heavy precipitation events, droughts, and tropical cyclones. Advances in knowledge of climate processes incorporated into new climate change simulations, paleoclimate evidence, and the climate system response to increased radiative forcing give the best estimate for the sensitivity of the equilibrium climate at 3°C with a narrower range compared to the Fifth Report. The global surface temperature will continue to increase until at least the middle of this century under the emissions scenarios considered.

Global warming of 1.5°C and 2°C will be exceeded unless significant CO₂ and other GHGs are reduced in the coming decades.

Many changes in the climate system have increased in direct relation to global warming. These include increased frequency and intensity of heat waves, marine heat waves and heavy precipitation, agricultural and ecological droughts in some regions, intense tropical cyclones, and reduction in Arctic sea-ice and snow cover and permafrost. Global warming is projected to continue and intensify the water cycle, including its variability, global monsoon precipitation, and the severity of dry and wet events.

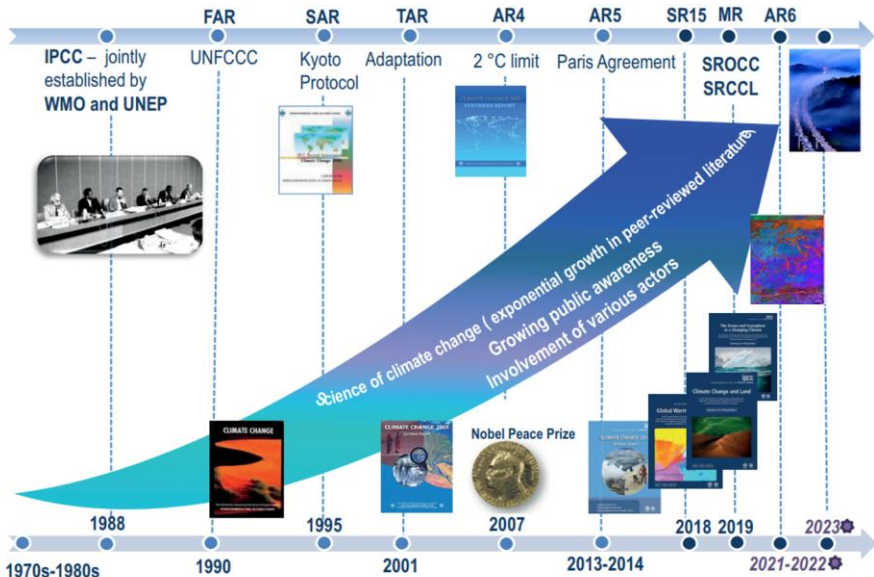
In addition, the latest report evaluates the results of climate models participating in Phase 6 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) of the World Climate Research Program. These models include new representation, higher resolution in global climate models, and improvements in physical, chemical, and biological processes compared to models considered in previous reports. This has improved the simulation of the present mean state of most large-scale environmental indicators of climate change and many other aspects of the climate system. Information about how well the models simulate past warming

and other insights from observations and theory were used to assess global warming projections.

From the First to the Sixth Reports (Arias et al., 2021) and the Special Reports that were produced from 1990 to 2023, the IPCC has evaluated relevant new scientific evidence to go into each report, building a better understanding of the climate system and the evidence that reveals of how the system is changing and will change, and the anthropogenic responsibility in the climate change. The IPCC's six assessment cycles since its beginning have comprehensively and consistently presented the accumulated evidence of a changing climate system,

the Fourth Report published in 2007 was the first to conclude with high statistical certainty that climate system warming is unequivocal.

Evidence has been documented with an increasing level of certainty to reveal that recent climate changes such as the continued loss of ice around the world, the increase in ocean heat content, the rise in sea levels, and deep-ocean acidification, they are unprecedented in a context of hundreds of thousands of years.



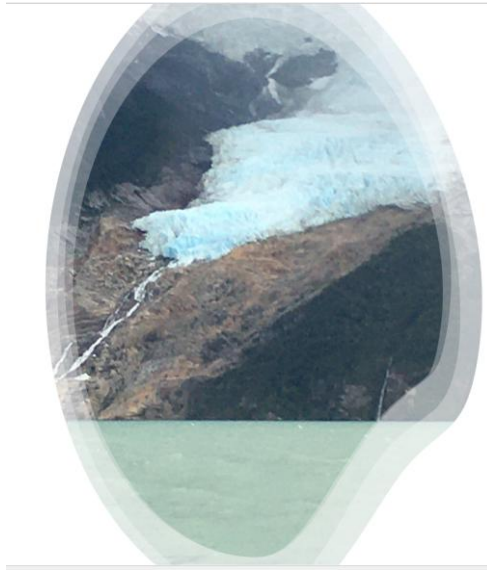
IPCC Contribution to Climate Science and Policy Making. AR refers to Assessment Reports, MR: Methodology Report, SR15: Special Reports on 1.5°C warming, SROCC: Special Report on Oceans and Cryosphere, SRCLL: Special Report on Climate Change and Land.

At the same time, the observation, processing, and data processing capacities have improved and expanded in the last three decades, allowing the detection of observed changes with increasing certainty. Satellite climate records and new improved analyses have been used as an additional line of evidence to assess changes on a global and regional scale. However, there is still room to increase the coverage or continuity of some observation data and access to data that are still protected by internal policies of the countries that can further increase the certainty of the observed changes.

The results of the Sixth Report reaffirm that the observed changes in climate are unequivocal at the global scale and increasingly evident at the regional and local spatial scales. Both the long-term rate of change and the amplitude of year-to-year variations differ between regions and between climate variables, influencing when changes emerge or become apparent compared to natural variations. The evidence for human influence on recent climate change has grown

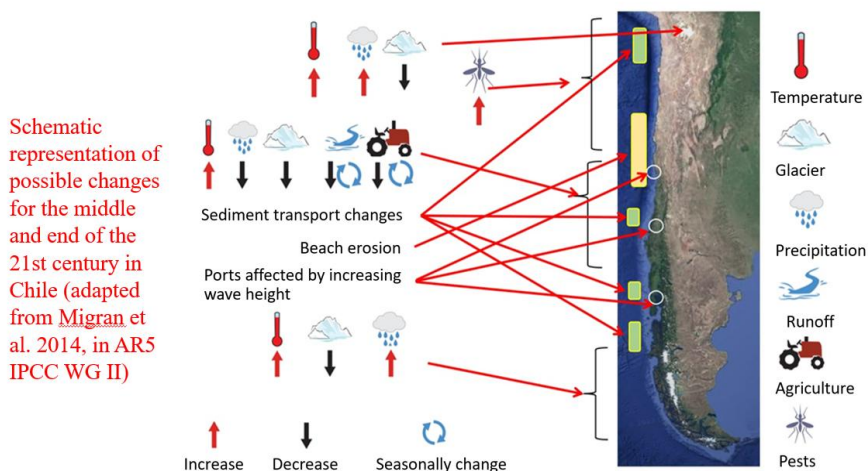
progressively stronger from the Second to the Fifth Reports, and it is even stronger in the latest assessment, even for regional and extreme scales. Human influence in the context of the IPCC refers to human activities that lead to or contribute to a climate response, such as human-induced GHG emissions that subsequently alter the radiative properties of the atmosphere, resulting in warming of the components of the atmosphere, ocean, and land. Other human activities that influence climate include the emission of aerosols and other short-lived weather agents, and land-use change, such as urbanization. Progress in understanding human influence is made from longer-term observational data sets and improved paleoclimate information. Since the Fifth Report, attribution to human influence has become possible across various climate variables and climate impact drivers.

In addition to global surface temperature, a wide range of indicators across all climate system components are changing rapidly, many at levels not seen in



millennia. The observed changes provide a consistent picture of a warming world, many aspects have now been formally attributed to human influence on the atmosphere, ocean, and terrestrial components of the climate system, taken together, assessed as unequivocal for the first time in an IPCC assessment report.

It is virtually certain that rapid and substantial reductions in global GHG emissions can limit the increase in global surface temperature and associated



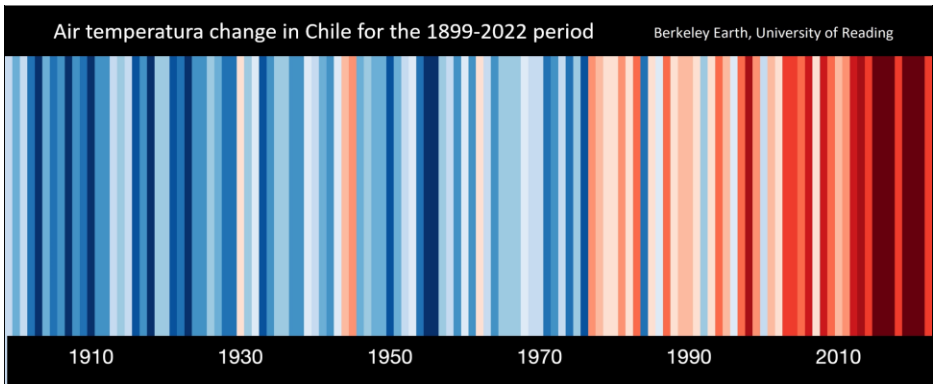
changes. Continued GHG emissions increase the likelihood of potentially irreversible changes to the global climate system, particularly with respect to the contribution of ice sheets to global sea level change.

Chile will be affected by global climate change, although the influence of the Pacific Ocean can mitigate some impacts (Migran et al., 2014).

The country meets seven of the nine vulnerability criteria defined by the United Nations Framework Convention on Climate Change. In other words, Chile has low-lying coastal areas, arid and semi-arid areas, forest areas, territories susceptible to natural disasters, areas prone to drought and desertification, urban areas with atmospheric pollution, and mountain ecosystems.

Studies report an increase in temperatures over the last sixty years, especially in the interior areas of the north and central regions of the country (Falvey and Garreaud, 2009), an advance of the desert to the south of the order of 400 meters per year, together with an increase in extreme temperature and decrease

precipitation events in the central and southern regions of the country (Villarroel, 2013). The average annual temperature in continental Chile (considering the average of 109 stations) shows a linear trend of 0.15°C per decade (period 1961-2021), with 8 out of 10 of the warmest years occurring after 2010 (DMC, 2022). About 89% of the stations in the mountains and valleys show warming, while those that show cooling are located on the north and central coast (Arica-Valparaíso) (DMC, 2022). The annual average of precipitation in continental Chile (considering 260 stations) shows an annual decrease of 4% (8%) per decade during the period 1961-2021 (1980-2021). The 2012-2021 period is the driest, with an average deficit of 23% nationwide (DMC, 2022).

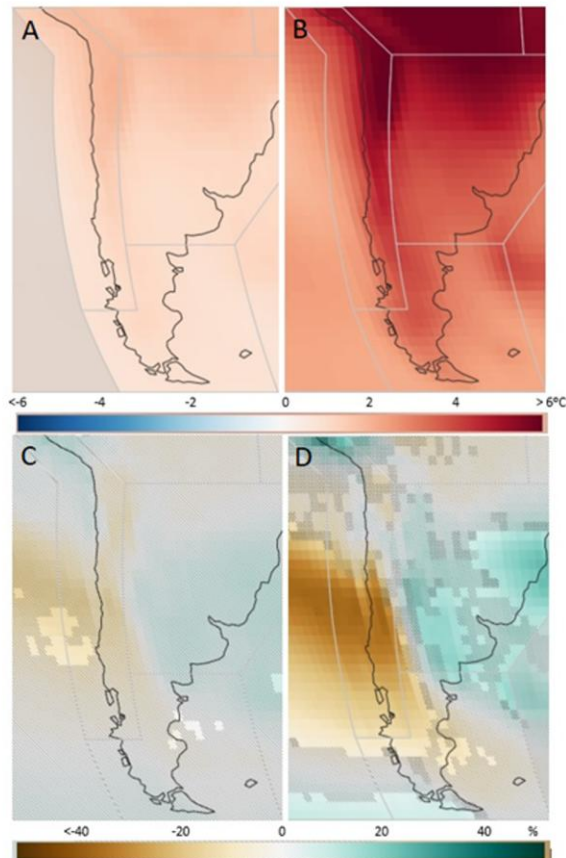


As for the future, projections at the global and national levels indicate that the impacts of climate change will continue and become even more evident towards the end of the 21st century, with an increase in the global average annual temperature that could reach 4 to 5°C at the worst scenario, an increase in the mean sea level of 20 to 90 cm, a greater frequency of droughts and extreme precipitation events, a decrease of at least 20 to 30% of precipitation in subtropical regions, and an increase in these in the southernmost region, among other consequences. Particularly in Chile, the result of the CMIP6 simulations (Interactive Atlas) for the worst scenario (SSP5-8.5) and for the end of the 21st century (2081-2100) resolves an increase in the average annual temperature in the continental territory from 2 to 5°C concerning 1961-1990 average, being higher in the north and the mountains, decreasing towards the south. Annual precipitation decreases 20 to 30% by the end of the 21st century, compared to the 1961-1990 average, in the south-central zone of the country (La Serena - Balmaceda).

Thirty-five years have passed since its creation and 33 years since the IPCC First Report was released, particularly from Group I, which aims to evaluate the available scientific information on climate change. Since then, the global average temperature was reported in the last 100 years (1880 - late 1980), with the five warmest years occurring in the 1980s and a detectable increase in the mean sea level. In addition, the report revealed evidence of an increase in greenhouse gas (GHG) emissions due to human activities, which, if continued, would result in additional warming of the Earth's surface air.

These first findings continued appearing in the coming reports, with an increasing degree of certainty, and today, the IPCC has indicated in its latest 2023 Report that global warming is real and of anthropogenic origin.

Climate simulations for air temperature (°C, top) and precipitation (%), for the end-21st century (2081-2100), according to the best (A y C) and worst (B y D) scenarios (SSP5-2.5 y SSP5-8.5). Constructed with the Interactive Atlas of the IPCC Working Group I (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>)



Evidence related to climate change is already observed, such as droughts, floods, and a greater frequency of extreme weather events, such as those recorded in the last decade.

The “bomb” storm in the United States and the drought in Magallanes are also manifestations of a changing climate. The impacts on the climate system are also already being felt, such as glacier retreats, ocean acidification, and sea level rise, among others. The continuous increase in GHG emissions will accentuate warming, with irreversible impacts on nature and consequences for humanity.

The 27th Conference of the Parties (COP) on Climate Change of the United Nations (the political-governmental body of decision makers) held recently in Egypt did not advance as expected in the commitments of significant action by the countries to reduce GHG emissions further. Each year, without countries meeting their Nationally Determined Contributions (NDCs), the Paris Agreement becomes more challenging to meet regarding limiting global warming to 1,5 degrees by the middle of the 21st century, and thus contain the impacts and taking adaptation measures. Even the 2-degree limit could be at risk if countries do not complete their respective NDCs.

More than three decades of scientific studies and global negotiations have passed, and the diagnosis and predictions of science have been and are on the table for international negotiations and agreements. Based on them and other social and economic factors linked to countries’ development, decision makers and governments have sought ways to reduce GHG emissions, encourage development based on clean and sustainable energy, transfer technology towards developing countries, aid for adaptation to the impacts of climate change and, recently at COP27, the agreement to financial losses and damages in the most vulnerable countries that are and will be affected by natural disasters, among many other initiatives that have emerged from negotiations at the COPs. However, despite all the advances, the concentration of CO₂ has never stopped increasing, and so has the average global temperature of the air and oceans. More is required; international agreements are becoming increasingly urgent to drastically reduce GHG emissions and thus comply with the Paris Agreement. The atmosphere has no borders, nor do the changes that occur in it or their consequences on the climate system. Therefore, to a lesser or greater degree, we are all part of the problem but must all be part of the solution.

Since the negotiations began at the United Nations, the great challenge posed by climate change has been how to guarantee the inhabitants of the whole world, particularly the least developed and vulnerable countries,

economic growth with efficiency and stability to have an equitable society and sustainable and harmonious development with the environment.

References

- Arias, P.A. et al., (2021). Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- DMC, (2022). Reporte Anual de la evolución del clima en Chile. Documento elaborado por la Oficina Cambio Climático de la Sección Climatología de la Dirección Meteorológica de Chile. Editora General Claudia Villarroel Jiménez, 46 pp.
- Falvey, M. and Garreaud, R. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006), *Journal Geophysical Research*, 114. doi:10.1029/2008JD010519.
- IPCC, (1990). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Edited by J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums. Cambridge University Press.
- IPCC, (1995). Climate Change 1995: The science of climate change. Edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. Cambridge University Press.
- IPCC, (2001). Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for policymakers. Cambridge University Press.
- IPCC, (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II y III to the Fourth Assessment Report to the Intergovernmental Expert on Climate Change Principal editors: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Ed.)). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pages.
- IPCC, (2014). “Summary for policymakers. In: Climate Change 2013: Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Magrin et al., (2014). Central and South America. In: Climate Change 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 [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

Villarroel, C., (2013). *Eventos extremos de precipitación y temperatura en Chile: Proyecciones para fines del Siglo XXI*. Tesis de Máster. Universidad de Chile.

Retreating ice and snow and its impact on the water

66

Dr. Gino Casassa Rogazinski

Glaciologist

Centro de Investigación

Gaia Antártica

Universidad de Magallanes

Co-Nobel de la Paz



**“MAJESTIC IS THE WHITE
MOUNTAIN”**

Abstract

The impact of global warming on snow and glaciers is described, with emphasis on Chile. Due to warming, the altitude of the zero °C isotherm has increased, affecting snow and skiing areas in central Chile. The megadrought since 2010 has decreased precipitation in much of Chile, affecting snow accumulation. Chilean glaciers, which make up approximately 80% of all Andean glaciers, are retreating and losing mass due to rising temperatures and drought.

The importance of snow and glaciers as sources of water is highlighted, with an emphasis on the need of adaptation in view of the loss of these natural reservoirs. Even if the Paris Agreement is met in order to reduce emissions and achieve carbon neutrality by 2050, future impacts will be inevitable. The recent agreement to reduce fossil fuels reached during COP28 is a positive step, and concrete global actions must be taken in order to reverse the warming trend

towards the second half of the century. If these goals are met, at least part of the remaining snow and glaciers could be preserved on the planet.

Snow decrease

"Majestic is the white mountain" highlights the lyrics of our national anthem. Although this is still true after a good winter snowfall, unfortunately, in recent decades, our white mountains have been darkening, not only in the Chilean Andes but worldwide, affecting the availability of snow and water from melting snow and ice. The main reason is global climate warming.

67

Seasonal snow, which is deposited during the rainfall period, coincides with the winter season in our country (except in the extreme north), which melts and sublimates (direct transfer from the solid to vapor state) during spring and summer. White clean snow has been strongly affected in our country by warming and drought.

As a result of warming, the zero-isotherm altitude has been rising as a result of temperature increase, so now it rains in areas where it used to snow. This effect is well known to skiers, particularly at low-level ski resorts, in virtually all mountain ranges, including the Australian Alps, the European Alps, the Appalachian Mountains in North America, and also in the Andes. In central Chile, for example, skiing in the Gran Bajada of Farellones stopped decades ago, and the skiing days at Lagunillas and Chapa Verde are increasingly scarce. Studies indicate that in central Chile, the zero degrees C isotherm has risen 127 meters in the period 1958-2018 (Barria *et al.* 2019), and by the end of the century, there could be an additional rise of 440 meters in most unfavorable scenarios of greenhouse gas emissions, with atmospheric temperatures that would exceed the current ones by about 4°C (Carrasco *et al.*, 2005).

Additionally, the mega-drought that has affected a large part of Chile since 2010 has resulted in a drastic decrease in precipitation, including reduced snow accumulation in the mountains. Although the year 2023 we have had a very welcome respite, with rainfall close to normal conditions in central Chile, it does not, unfortunately, mean that this dry period has ended, with most likely dry conditions prevailing in the future in the area. Global warming, along with the mega-drought, is forming the "perfect storm"; in other words, a reduction of storms originating from the Pacific Ocean, which impact the western Andes mountains, depositing its moisture as snowfall. Results show that from the north

to the south of Chile (18° – 40° S), an average decrease of 38% of the areal snow cover in the dry summer season was verified in 1986-2018 (Cordero et al., 2019).

Glacier retreat



The glaciers, in their condition of "perennial snows", as well as the seasonal snow, are retreating all over the world due to global warming, with few exceptions. Chile has approximately 80% of the Andean glaciers, including the large Patagonia and Tierra del Fuego icefields, almost all of which are losing mass at an

accelerated rate due to frontal and margin retreat and also thinning (Figure 1).

Glacier mass balance is defined as the mass gain during the snow accumulation period (usually winter) minus the mass loss during the ablation period (usually summer). If the glacier loses more mass than it gains, then its balance will be negative. At a global level, during the period 2000-2010, in practically all mountain ranges of the world, glaciers lost a global average of 0.54 meters of water equivalent per year, that is about 0.64 meters of ice thickness per year, which represents an increase of 64% with respect to the global average mass balance of the glaciers during the second half of the 20th century, in accordance with the global increase of near-surface air temperature (Zemp *et al.*, 2015). An emblematic glacier is Echaurren Norte, located east of Santiago, immediately north of the El Yeso dam and Laguna Negra. This pilot glacier, monitored by the General Water Directorate, has the longest mass balance record in the Andes and is the only "reference" glacier in the southern hemisphere (Fariás-Barahona *et al.*, 2019). Since 1975, Echaurren Norte has lost 32.1 meters of ice thickness (Figure 2), with a loss of 20.8 meters (that is 65%) concentrated in the last 12 years since the mega-drought began. The combination of the mega-drought with atmospheric warming has also contributed to the fragmentation of this glacier

into three smaller bodies, decreasing its area from 47.6 hectares in 1955 to 19.7 hectares in 2021, that is, a loss of surface area of 41% in 66 years.

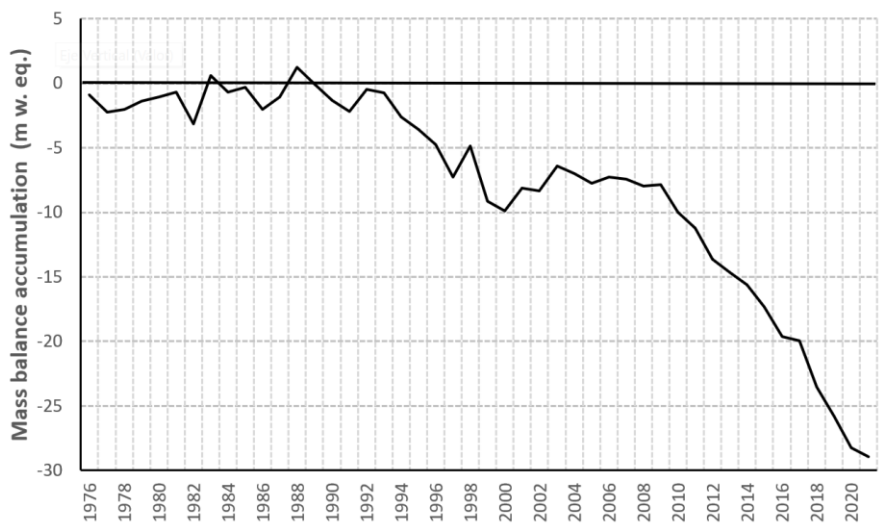


Figure 1. Annual mass balance (m water equivalent) at Echaurren Norte Glacier.

Mechanisms of positive feedback

Positive feedback mechanisms amplify the reduction of snow and ice. The main one is the albedo effect or reflectivity of snow and ice. Indeed, snow (with an albedo that can reach almost 100%) and, to a lesser degree, ice (albedo of 30% to 50%) are the whitest elements in nature, reflecting a large proportion of solar radiation. Thus, it is essential to wear dark glasses in these snowy environments. With increasing temperatures, the snow albedo decreases, with snow areas absorbing more solar radiation and heating more, resulting in a higher melting. This phenomenon is more exacerbated when the retreatment of snow cover and glaciers exposes the soil and underlying rock, sometimes with the presence of liquid water, whose albedo can even reach values less than 10%. The final effect results in much larger solar radiation absorption that preferentially heats the local and regional climate in high mountain ranges and polar zones, contributing significantly to the loss of snow and ice.

The second positive feedback occurs due to the increment of particulate matter resulting from the deglaciation of mountain ranges and polar areas. Part of the

particles deposited over snow and ice are transported by wind and gravitational falls (mass removals). If the thickness of the particles is less than about 1 inch (Espinoza, 2018), a larger loss of snow and ice will occur due to enhanced absorption of solar radiation since these particles are normally darker than the glacier and snow surface. For example, in the eastern sector of the Northern Patagonia Icefield, an increase of 68% of the surface covered by debris in glaciers has been reported in the period 1944-2014 (Farías-Barahona, 2015). In the central Chilean Andes, Shaw *et al.* (2020) concluded that the albedo of glacier ice decreased by 7% during the 1986-2009 period.

A third feedback mechanism originates from the altitudinal gradient of the atmospheric temperature, which results in an average altitudinal temperature gradient of 6.5°C/km. Due to global warming, the glaciers are experiencing a significant thinning, so their surface level decreases, being subjected as a consequence to higher temperatures at lower levels due to the altitudinal temperature gradient.

Water contribution

As a result of the presence of seasonal snow and glaciers, the mountain ranges are recognized as true "water towers" (Schoolmeester *et al.*, 2018). In central Chile, for example, it is well known that the highest water flow occurs towards mid/late spring due to seasonal snowmelt. Subsequently, towards the mid/end of summer, the largest water contribution originates from glaciers. However, it is considerably less than the contribution from seasonal snow, reaching up to 2/3 of the runoff for extremely dry years (Ayala *et al.*, 2020).

Glaciers are natural water reservoirs that accumulate water in solid form during the snow accumulation period and deliver water mainly during the summer season, when it is most needed, particularly for agricultural use, which in Chile represents around 70% of water consumption. Due to global warming, glaciers initially contribute to more meltwater. However, as the glacier masses decrease below a certain critical size, they begin to contribute less water due to the gradual decrease in the ice surface. This way, the water supply from glaciers has had an increasing trend in recent decades, reaching a "peak water flow" and decreasing after that. This peak water flow is reached in the short/medium term for small glaciers. For large glaciers, for example, those in the Olivares River basin, around the Palomo volcano in the interior of Rancagua/San Fernando in

central Chile, and in the icefields of Patagonia and Tierra del Fuego, this peak water flow has not yet been attained.

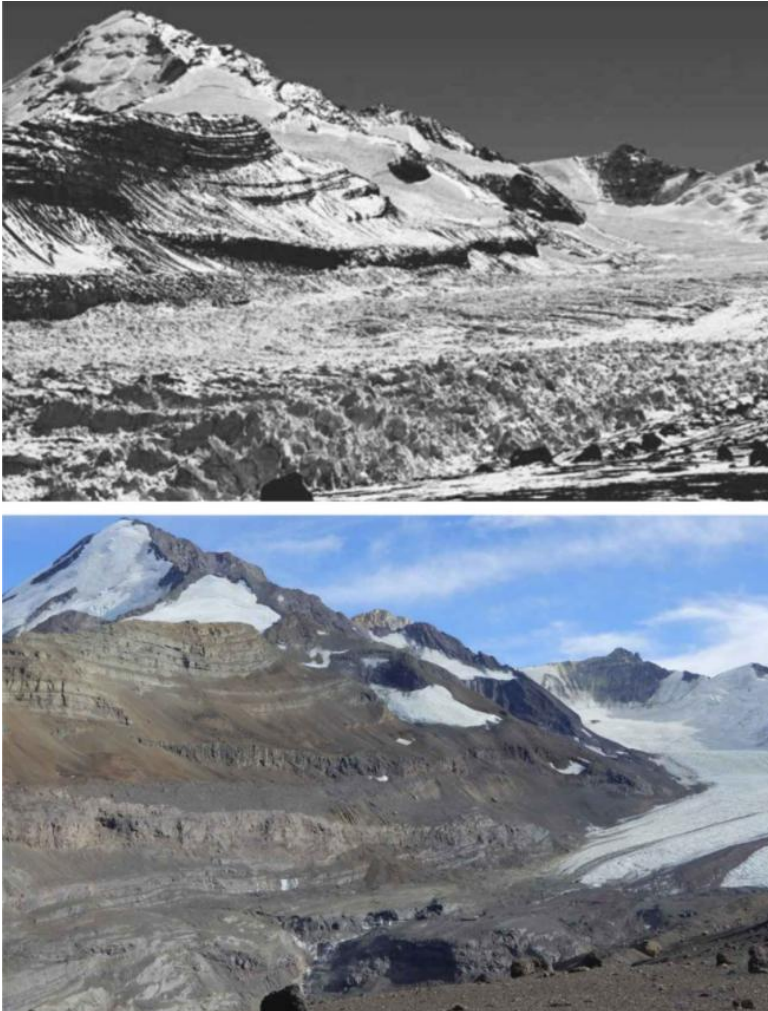


Figure 2. Juncal Southern Glacier and Federation Hill, 1953 (top, photo Louis Lliboutry), and 2018 (bottom, photo Franco Buglio and Marc Turrel).

The future

Unfortunately, the different future scenarios do not show positive conditions. Even if the Paris Agreement agreed during the COP21 in 2015 is fulfilled, which commits to a substantial reduction in greenhouse gas emissions in order to ensure that global atmospheric warming does not exceed 2°C , if possible, does not exceed $1,5^{\circ}\text{C}$, in the coming decades at least the temperature will increase inexorably. In fact, by 2019, global temperature had already increased by 1.1°C compared to pre-industrial levels (1850-1900). With warming, the reduction of snow and glaciers and their associated impact on water resources will continue. The impacts will be more serious in arid and semi-arid areas, where snow cover and glaciers are scarcer. Although glaciers indeed provide more water until they reach their “peak water flow,” and then these flows decrease, in practice, it translates into “bread for today and hunger for tomorrow” under the current scenario of increased greenhouse gases. Thus, the fate of the glaciers is, unfortunately, already defined.

With an optimistic outlook, the recent agreement signed by the 198 parties (197 nations plus the European Union) during the COP28 in Dubai is a hopeful step towards the future since it is explicitly mentioned for the first time that fossil fuels (and not generically “greenhouse gas emissions” as agreed in previous COPs) are a main agent responsible for global warming. The agreement expresses that parties must “transition away from fossil fuels in energy systems, in a just, orderly and equitable manner, accelerating action in this critical decade, to achieve net zero by 2050 in keeping with the science”.



The authorities in Chile have expressed the plan to end coal-fired thermoelectric plants before 2050, to achieve carbon neutrality, undoubtedly helped by the forests with which our country has been blessed, which allow us to absorb the order of 57% of current emissions.

The climate, however, does not respond instantly to a reduction in greenhouse gas emissions; instead, there is a delay of several decades and even more than a century until the climate can adjust to the new equilibrium conditions. With the emissions accumulated so far, we have already committed to future warming with severe associated impacts. Only rigorous compliance with global agreements will be able to reverse the trend of increased global warming starting during the second half of this century, and hopefully, at least a partial preservation of the snow and glaciers as we know them today.

References

- Ayala, A. et al. 2020. Glacier runoff variations since 1955 in the Maipo River Basin, semiarid Andes of central Chile. *The Cryosphere* 14, 2005–2027. doi: 10.5194/tc-14-2005-2020.
- Barría, I. et al. 2019. Simulation of long-term changes of the Equilibrium Line Altitude in the Central Chilean Andes mountains derived from atmospheric variables during the 1958–2018 period. *Frontiers Environmental Sciences* 7:161. doi: 10.3389/fenvs.2019.00161.
- Carrasco, J. F. et al. 2005. Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrol. Sci. J.* 50, 933–948. doi: 10.1623/hysj.2005.50.6.933.
- Cordero, R.R. et al. 2019. Dry-season snow cover losses in the Andes (18°–40°S) driven by changes in large-scale climate modes. *Sci. Rep.* 9, 16945. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53486-7>.
- Espinoza, A. 2018. Influencia de las impurezas en la ablación del glaciar Del Rincón (Región Metropolitana, Chile). Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad Católica del Norte, 75 p.
- Farías-Barahona, D. 2015. The increase of debris covers of glaciers in the eastern side of the Northern Patagonia Icefield in the last 70 years. Abstract, Session C03 Glacier Monitoring from In Situ and Remotely Sensed Observations, IACS.

- Farías-Barahona, D. et al. 2019. Geodetic mass balances and area changes of Echaurren Norte Glacier (Central Andes, Chile) between 1955 and 2015. *Remote Sensing*, 11(3), 260.
- Shaw T.E. et al. 2021. Glacier albedo reduction and drought effects in the extratropical Andes, 1986–2020. *Journal of Glaciology* 67(261), 158–169. <https://doi.org/10.1017/jog.2020.102>.
- Schoolmeester, T. et al. 2018. The Andean Glacier and Water Atlas – The Impact of Glacier Retreat on Water Resources. UNESCO and GRID-Arendal.
- Zemp, M. et al. 2015. Historically unprecedented global glacier changes in the early 21st Century. *Journal of Glaciology*, 61(228), 745–762, doi.10.3189/2015JoG15J017.

Climate Change

The greatest socio-environmental challenge of our time



Dr. Luís Abdón Cifuentes

Engineer UC,

Pontificia Universidad Católica de Chile

CO-Nobel de la Paz 2007

75



A decade ago, when talking about climate change, the image of a starving polar bear balancing on a patch of ice was used. Climate change remained in the natural realm, and some discounted it, saying it was a luxury to mitigate it to save species only valued by a small part of society. However, that has changed radically in the last decade.

The catastrophes that Chile and many other countries have experienced since 2000 do not only affect nature. Fires, floods, and landslides have been directly affecting people. The image of the polar bear has taken a backseat. Today, the direct consequences on people are what concern us. It seems that society has suddenly realized that it is always exposed to the onslaught of the climate, exacerbated by anthropic changes.

Although the scientific bases of man's interference in the climate have been known since the 19th century, it was not until the second half of the 20th century that precise measurements of CO₂ in the atmosphere were made, and the first global models were developed. Although some governments knew about them, they did not act, probably because the period in which these consequences would materialize differs from the political processes and projections. However, scientists continued to work, and in the late 1980s, the testimony of Carl Sagan and James Hansen preceded the creation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).



In Chile, things were slower. When the Third IPCC Report was published in 2001, the findings, warnings, and conclusions went practically unnoticed in the media; the report's content was not newsworthy of being broadcast. Things changed when the Fourth IPCC Report, published in 2007, was awarded the Nobel Peace Prize, along with former United States Vice President Al Gore, who had visited Chile in May of that year. Finally, the organization of COP25 in 2019, which would be held in Santiago de Chile, catalyzed the issue of climate change in the media, and today, it is not easy to find any social or political actor who does not include it in their speech.

In my opinion, there are no “environmental problems” but rather social problems in which the environment plays a fundamental role. This



Forest fire summer 2023, southern Chile

distinction is subtle but very important. The ultimate goal of mitigating climate change is human beings rather than civilization. A disruption of the climate system, as predicted, if we do nothing, will primarily affect our society. Social organizations will weaken, and conflicts will appear due to pressures and scarcity of natural resources, significantly impacting civilization. We already know the conflicts over water scarcity and the migrations that it causes, with social consequences that can intensify in the future.

That is why the IPCC received the Nobel Peace Prize. Its main contribution is not to provide knowledge to preserve the planet but to preserve our society.

77

Nature is resilient and will adapt to new environmental conditions. Some species will disappear, and others will flourish, as has happened throughout the Earth's history. This has also happened with civilizations, so this phenomenon should worry us a lot.

How do we address it? There are two complementary strategies: mitigation, which reduces society's impact on the climate, and adaptation, which better enables coping with the natural impacts that climate change will cause.

Current climate change mainly increases the intensity and frequency of events that have always occurred, such as heat waves, floods, droughts, and landslides, which are nothing new at all. We have faced them in the past, but they will be increasingly intense and frequent in the future. To confront them, we must begin by doing the best possible today and projecting the most significant future impacts. Furthermore, a more affluent society increasingly demands that the risks of natural events be reduced. It is important to prioritize critical areas.

The dominant strategy is to reduce the magnitude of the problem. That requires a global effort, and we all know how difficult it is to agree on solutions with global benefits, but local and many cases national costs. Unfortunately, the Paris Agreement still fails to commit mitigation efforts to achieve its goal. At the mercy of national will, these efforts can be relaxed in conflict situations such as the war in Ukraine.

Is there hope? I trust so. Technology and private impulse, properly regulated, are our only required options in the short term. Chile is an example of this. The spectacular growth of renewable electricity generation is due to its lower cost and a regulation that does not prevent its installation and operation. The life cycle cost of electric buses is lower than their diesel equivalent. Heating with inverter equipment is cheaper than its combustion alternative to generate heat.

All these technologies should have been adapted before for reasons of less local impact, such as air pollution and noise, but reality shows otherwise.

Anthropic interference in our Earth's climate will affect all human activities, directly or indirectly. The sooner we incorporate it into public and private decisions, the fewer and more manageable its consequences will be in the future.

78



Stadium of Talca after the heavy precipitation during the storm that affected the central and southern sector of Chile on 18-23 August 2023 (Cuenta red social X@Barras_LATAM)

The eco-sustainable thinking of a Nobel man



Sergio González Martineaux
Investigador INIA-La Platina Integrante
del IPCC (Task Force Bureau)
Co-Nobel de la Paz 2007

79

Interview in March 2019, when hope was placed in Chile

1.- 6th IPCC report, what does Chile say? I understand that the question is related to Chile's contribution to its preparation. In general, what the country has done for the 5th Climate Assessment report will be maintained, a relatively important participation of national academics and researchers. The fact that the IPCC received the Nobel Peace Prize in 2007 encouraged universities and research centers to nominate candidates for the IPCC.

2.- **Glory or decline of COP25**, Dec 2019, 30,000 attendees. I have known from inside the Chilean position regarding hosting a relevant event at a global level; I was positively surprised by the announcement that we will host the next COP25, which will take place in December. Even though I am rather skeptical of the global climate change negotiation, this event will promote greater proactivity of the country's social forces to effectively contain and adapt to climate change. Citizens, ordinary people, must assume this issue as their own without waiting for the authority in power to tell them what they should or should not do.

3.- **Environmental Crisis, Sustainable Technostructures in cities and farms.**

By definition, technostructures will only reach the condition of sustainability if they are fed with materials and energy from the natural world. We can think about sustainable technostructures, at least in their operation. An example of

this may be urban agriculture, that is, the production of plant foods in built structures. This leads us to design technstructures that are extremely efficient in using energy (including the people who live in them) and that this comes from renewable or conventional sources, but assuming and neutralizing the negative environmental impacts of these, which always there will be.

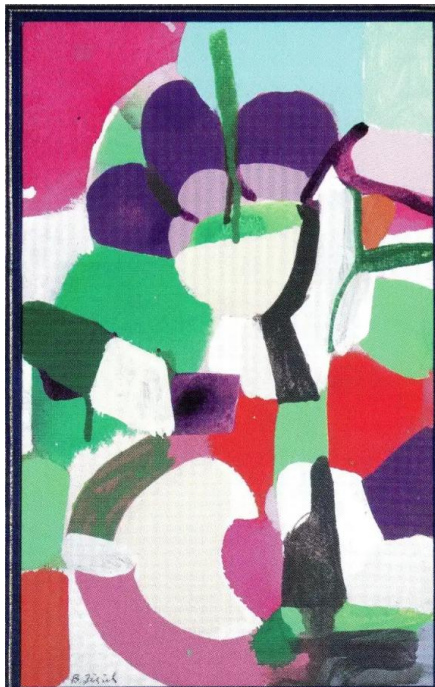
4.- **Protected wild areas?** Protecting wild areas in any of the different protection categories (national park, reserve, monument, other) is essential to preserve pre-existing biotic communities and species and ensure the processes of natural evolution. With this, we preserve the naturally generated genetic sets (from which we are permanently extracting some for direct human benefit), the containment and control of the natural modeling processes of the emerging planetary surface, landscapes, and controlled hydrological cycles, among many other services. Environmental. Due to financing needs, I understand that they must open up to agrotourism in a controlled manner, but this should be done while avoiding the negative environmental impacts of this economic activity.



Mr. Sergio González Martineaux, with his diploma, credits his participation in the 2007 Nobel Peace Prize. (Rest in peace).







Den Norske Nobelkomité
har overensstemmende med
reglene i det av

ALFRED NOBEL

den 27. november 1895
opprettede testamente tildelt
Intergovernmental Panel on
Climate Change

Nobels Fredspris
for 2007

Oslo, 10. desember 2007

Ole Danbolt Mjøs

perpetrator
Ingr. Hani J. H. H. H.

David L. Fries





Image and composition 1A
preservation of glaciers and ice.



Glaciar Balneario

www.diplomaciadigital.cl
www.nuevadiplomacia.cl

