

CAPÍTULO 4: LO QUE DICE LA CIENCIA AUTORIZADA (IPCC)

Aunque ya a mediados de la década de los años 60, la investigación sobre el clima había señalado que estaban ocurriendo cambios en los factores climáticos, el fenómeno del cambio climático alcanzó relevancia científica y política a partir de 1988, con la creación del Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)¹⁷ en una iniciativa conjunta de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, o UNEP, por sus siglas en inglés). El IPCC trabaja con los aportes voluntarios de miles de científicos de todo el mundo, analizando, interpretando e integrando los datos y el conocimiento que ellos generan en sus investigaciones, apoyado financieramente por las Naciones Unidas. A lo largo de sus 35 años, el IPCC ha elaborado seis (6) informes de evaluación, a través de los cuales se ha hecho evidente la evolución indiscutible del proceso de cambio climático global que está ocurriendo actualmente en el planeta. Es de destacar que el segundo informe, publicado en 1995, sentó las bases para el establecimiento, dos años después, del Protocolo de Kioto, por la Organización de Naciones Unidas, a través de la Convención Marco sobre Cambio Climático. Sucesivos informes han avanzado en la determinación de los factores impulsores, procesos, escenarios prospectivos y en el impacto que tienen sobre el sistema climático y sus resultados son objeto de consideración y discusión en el sistema de Naciones Unidas y la mayoría de la comunidad de naciones del mundo.

La revisión del conocimiento disponible que realiza el IPCC a través de centenares de científicos expertos que constituyen sus grupos de trabajo I, II y III, para la preparación de sus informes de Evaluación periódicos, le otorga la legitimidad y el valor científico-técnico con el que cuenta en la actualidad.

En el último informe de evaluación (AR6) sobre el cambio climático, el IPCC (2021; 2022; 2023) reconoce enfáticamente que el calentamiento de la atmósfera, el océano y la tierra debido a la influencia humana es inequívoco. Se han producido cambios rápidos y generalizados en la atmósfera, el océano, la criósfera y la biósfera. La escala de los recientes cambios en el sistema climático en su conjunto, así como el estado actual de muchos aspectos del sistema climático, no tienen precedentes a lo largo de muchos siglos a muchos miles de años (IPCC, 2021).

¹⁷ <https://www.ipcc.ch/about/>

Continúa el IPCC (2021) informando que en 2019 las concentraciones atmosféricas de CO₂ fueron más altas que en cualquier momento en, al menos, 2 millones de años –alcanzando actualmente 421 ppm¹⁸ frente a los 315 ppm hace 65 años–. Similarmente, las concentraciones de CH₄ y N₂O fueron más altas que en cualquier momento en, al menos, 800.000 años. Desde 1750, los aumentos de las concentraciones de CO₂ (47%) y CH₄ (156%) superan con creces –y los aumentos de N₂O (23%) son similares– a los cambios naturales multimilenarios entre períodos glaciares e interglaciares durante, al menos, los últimos 800.000 años.

El cambio climático causado por las actividades humanas ya influye en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Desde la publicación del informe de evaluación AR5, en 2014, hay muchas más evidencias de que los fenómenos extremos –como olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y huracanes (ciclones) tropicales– están evolucionando hacia una mayor severidad, lo cual se debe a la influencia humana. Es prácticamente seguro que ha aumentado la frecuencia y la intensidad de los episodios de calor extremo (incluidas las olas de calor) en la mayoría de las regiones terrestres desde la década de 1950, mientras que los fenómenos de frío extremo (incluidas las olas de frío) se han vuelto menos frecuentes y menos intensos.

El IPCC (2023) confirma un resultado que es preocupante para la comunidad científica y los gobiernos de la mayoría de países: las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,07°C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0,8°C a 1,2°C. Es probable que el calentamiento global llegue a 1,5°C entre 2030 y 2050 si continúa aumentando al ritmo actual. En muchas regiones y estaciones del año se está experimentando un calentamiento superior al promedio mundial anual y, particularmente en el Ártico, el calentamiento llega a entre el doble y el triple.

El calentamiento causado por las emisiones antropogénicas desde el período preindustrial hasta la actualidad durará de siglos a milenios y seguirá causando nuevos cambios a largo plazo en el sistema climático, tales como:

- Un aumento del nivel del mar, acompañados de impactos asociados; no obstante, es improbable que esas emisiones por sí solas causen un calentamiento global de 1,5°C.

¹⁸ De acuerdo con: UNEP (2023). <https://data.unep.org/climate/essential-climate-variables-ecv/atmospheric-co2-concentration>

- Se prevé que las temperaturas extremas en tierra aumenten más que la temperatura media global en superficie: el aumento de las temperaturas de los días de calor extremo, en las latitudes medias se prevé en hasta aproximadamente 3°C con un calentamiento global de 1,5°C y hasta aproximadamente 4°C con un calentamiento global de 2°C.
- En algunas regiones se prevé que los riesgos debidos a las sequías y los déficits de precipitación sean mayores con un calentamiento global de 2°C que con uno de 1,5°C. Se calcula que los riesgos de episodios de precipitaciones intensas serán mayores con un calentamiento global de 2°C que con uno de 1,5°C en varias regiones de latitudes altas o a gran altitud en el hemisferio norte, en el este de Asia y en el este de América del Norte.
- Más aún, el calentamiento global antropogénico en escalas de tiempo multidecenales se detendría sólo si se alcanzaran y mantuvieran emisiones antropogénicas globales netas de CO₂ iguales a cero y se redujera el forzamiento radiativo neto distinto del CO₂ (IPCC,2021).

4.1 Síntesis de los resultados del IE6 (AR6) de evaluación del IPCC

A continuación, se reproducen las conclusiones sólidas más importantes que reporta el Sexto Informe de Evaluación del IPCC – IE6 (AR6, en inglés), sintetizados a partir del análisis de las tres publicaciones que lo integran (IPCC, 2021; 2022; 2023):

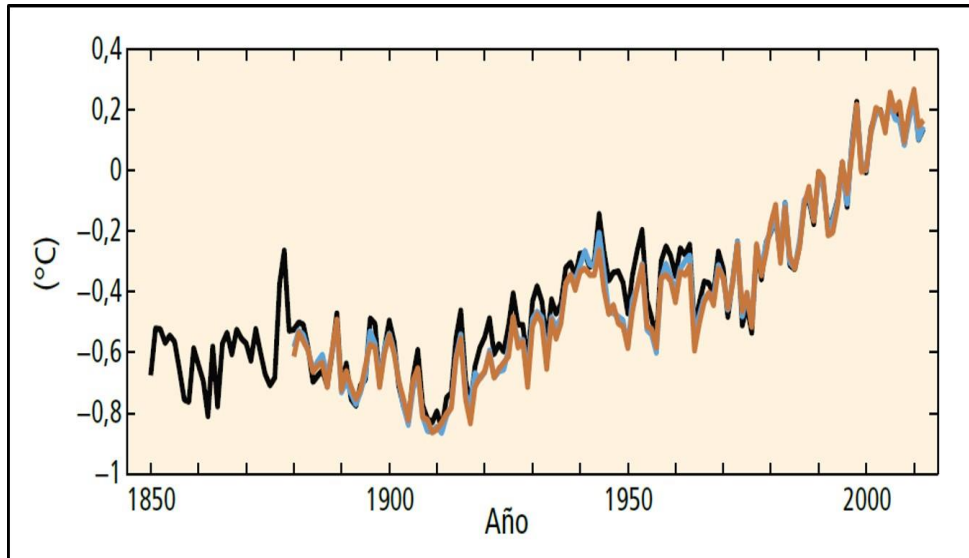
A. Cambios observados en el clima: causas y efectos

- La influencia humana en el sistema climático es clara, y *las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia*. Los cambios climáticos recientes han tenido impactos generalizados en los sistemas humanos y naturales. Desde el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) se ha comprobado que los impactos de los cambios recientes en el clima en los sistemas naturales y humanos ocurren en todos los continentes y en los océanos. Los cambios observados en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la biósfera brindan evidencia inequívoca de un mundo que se ha calentado. En las últimas décadas, los indicadores clave del sistema climático se encuentran cada vez más en niveles no vistos en siglos o milenios, y están cambiando a un ritmo sin precedentes en al menos los últimos 2000 años.
- *El aumento de la temperatura promedio global en la superficie del planeta en las dos primeras décadas del siglo XXI (2001–2020) fue 0,99 [0,84–1,10] °C más alta que entre*

1850 y 1900. Cada una de las últimas cuatro décadas ha sido sucesivamente más cálida que todas las décadas anteriores desde 1850. Durante los últimos 50 años, la variación observada ha aumentado a un ritmo sin precedentes en al menos los últimos 2000 años, como se observa en la Figura 8 (IPCC, 2021).

Figura 8.

Tendencias del incremento de la temperatura promedio global en la superficie del planeta



Fuente: IPCC (2021)

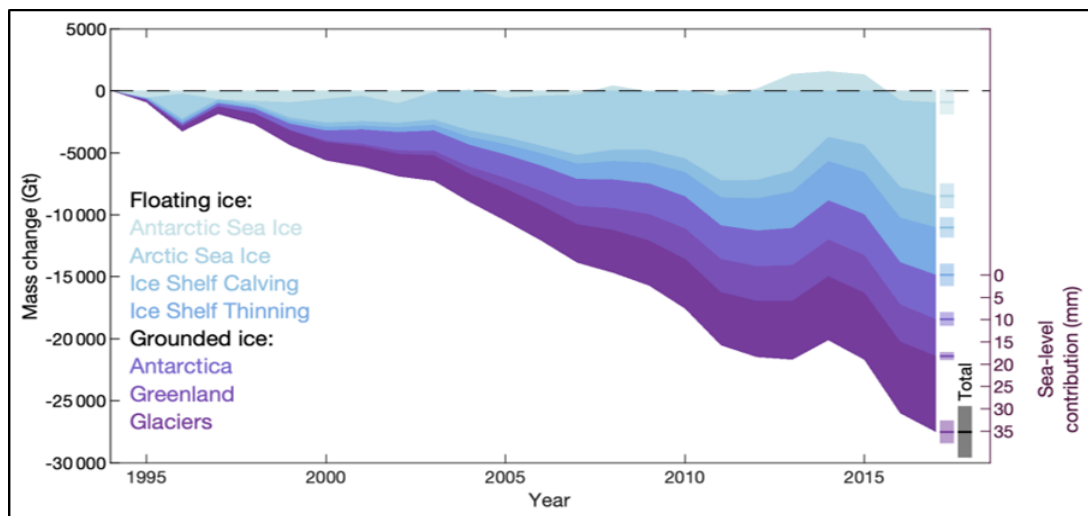
- El calentamiento a corto plazo y el aumento de la frecuencia, gravedad y duración de los fenómenos extremos pondrán a muchos ecosistemas terrestres, de agua dulce, costeros y marinos en riesgo alto o muy alto de pérdida de biodiversidad (variable según el ecosistema que se trate).
- Los riesgos a corto plazo de pérdida de biodiversidad son de moderados a altos en los ecosistemas forestales, algas marinas y ecosistemas de pastos marinos y alta a muy alta en el hielo marino del Ártico y ecosistemas terrestres y arrecifes de coral de aguas cálidas. El aumento continuo y acelerado del nivel del mar invadirá los asentamientos y la infraestructura costeros y comprometerá los ecosistemas costeros de baja altitud a la inmersión y la pérdida.
- Si continúan las tendencias de urbanización en áreas expuestas, *esto exacerbará los impactos, con más desafíos donde la energía, el agua y otros servicios están limitados.* El

número de personas en riesgo por el cambio climático y la pérdida de biodiversidad asociada aumentará progresivamente. Los conflictos violentos y, por separado, los patrones migratorios, en el corto plazo serán impulsados por las condiciones socioeconómicas y la gobernanza más que por el cambio climático.

- Es muy probable que la superficie media anual del *hielo marino del Ártico haya disminuido durante el período 1979-2017 en un rango de 3,5% a 4,1% por decenio*. La extensión del hielo marino del Ártico ha disminuido en cada estación y en cada decenio sucesivo desde 1979, siendo en verano cuando se ha registrado el mayor ritmo de disminución en la extensión media decenal (Figura 9).

Figura 9.

Cambio global de la masa de hielo entre 1994 y 2017 dividido en diferentes componentes; flotantes (azules) y terrestres (púrpuras)



Fuente: Slater *et al.* (2021)

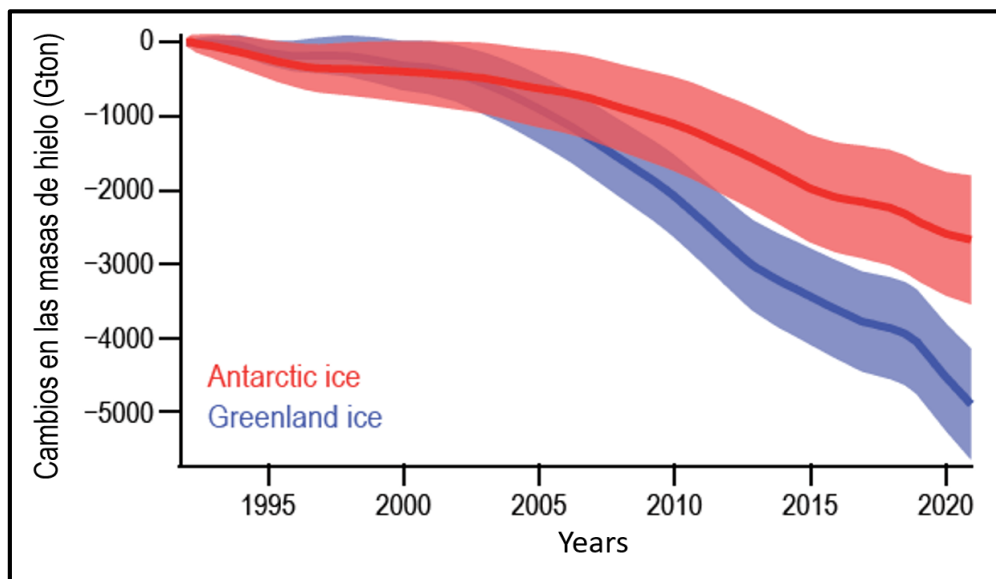
La situación de las masas de hielo es igualmente reportada por IPCC (2021) para la Antártida y Groenlandia, tal y como se muestra en la Figura 10.

¹⁹ Nota: Las barras sombreadas a la derecha indican el cambio de masa acumulado y la incertidumbre estimada para cada componente de hielo individual (azules, violetas) y su suma (negro). La contribución equivalente del nivel del mar debido a la pérdida de hielo en tierra de la Antártida, Groenlandia y los glaciares de montaña se muestra en el eje y del lado derecho.

- La mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de GEI antropogénicos, como se ilustra en las figuras 3 y 4 en el capítulo anterior. Específicamente, cada uno de los tres últimos decenios ha sido sucesivamente más cálido en la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850. Es probable que el período 1983-2012 haya sido el período de 30 años más cálido de los últimos 1.400 años en el hemisferio norte, donde es posible realizar esa evaluación. Los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un calentamiento de 1,01°C, durante el período 1880-2019 (IPCC, 2021).

Figura 10.

Cambios de masa acumulados de la capa de hielo de la Antártida (AIS) y la capa de hielo de Groenlandia (GrlS). Los valores que se muestran están en gigatoneladas (Gton) y provienen de mediciones satelitales para el período 1992-2020



Fuente: IPCC (2021)

B. El aumento de los GEI y sus tendencias

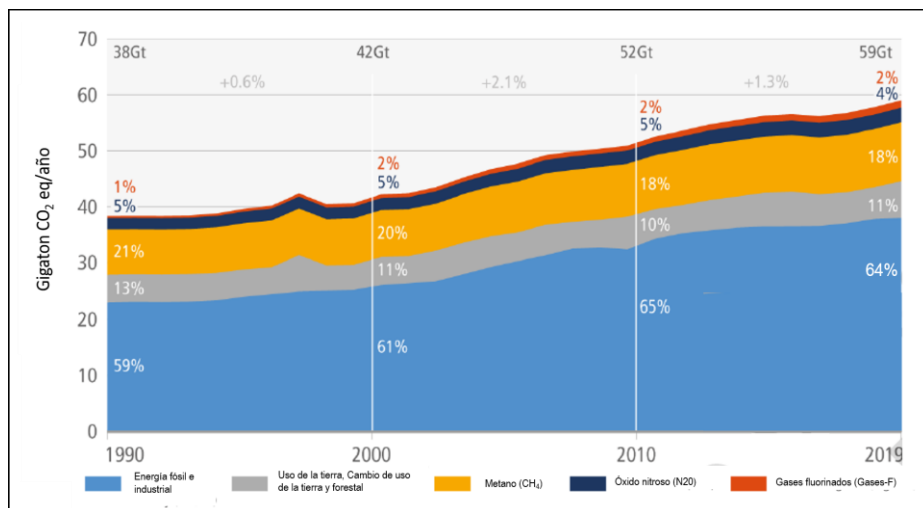
- Las emisiones antropogénicas netas totales de GEI han seguido aumentando durante el período 2010-2019, al igual que las emisiones netas acumuladas de CO2 desde 1850. Las emisiones anuales promedio de GEI durante 2010-2019 fueron más altas que en cualquier década anterior, pero la tasa de crecimiento entre 2010 y 2019 fue menor que entre 2000 y

2009. Las emisiones antropogénicas netas de GEI han aumentado desde 2010 en todos los sectores principales a nivel mundial. Una parte cada vez mayor de las emisiones puede atribuirse a las zonas urbanas.

- Las emisiones antropogénicas globales netas de GEI fueron de $59 \pm 6,6$ GtCO₂-eq en 2019, aproximadamente un 12% (6,5 GtCO₂-eq) más que en 2010 y un 54% (21 GtCO₂-eq) más que en 1990. El promedio durante la década 2010-2019 fue de $56 \pm 6,0$ GtCO₂-eq, 9,1 GtCO₂-eq/año más que en 2000-2009. Este es el mayor aumento registrado en las emisiones promedio por década. La tasa de crecimiento anual promedio se desaceleró del 2,1%/año entre 2000 y 2009 al 1,3%/año entre 2010 y 2019 (Figura 11).
- El crecimiento de las emisiones antropogénicas ha persistido en todos los principales grupos de GEI desde 1990, aunque a ritmos diferentes. Para 2019, el mayor crecimiento absoluto de las emisiones se produjo en el CO₂ de los combustibles fósiles y la industria, seguido del CH₄, mientras que el mayor crecimiento relativo se produjo en los gases fluorados, partiendo de los bajos niveles de 1990.

Figura 11.

Tendencias de emisiones de GEI agregadas por grupos de GEI expresados en GtCO₂-eq convertidos en base a 6 potenciales de calentamiento global con un horizonte temporal de 100 años (GWP100)



Fuente: IPCC (2022).

- Las reducciones de emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles y los procesos industriales, debido a las mejoras en la intensidad energética del PIB y la intensidad de carbono de la energía, han sido menores que los aumentos de emisiones debido al aumento de los niveles de actividad global en la industria, el suministro de energía, el transporte, la agricultura y los edificios.
- *El cambio climático futuro, inducido por las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero, afectará al ciclo global del carbono, lo que, a su vez, influirá en la fracción de gases de efecto invernadero antropogénico que permanece en la atmósfera, lo que intensificará el cambio climático.* Esta retroinformación se denomina acoplamiento clima-carbono.

C. Detonantes y proyecciones de cambios climáticos futuros

- De subsistir las políticas actuales de mitigación del cambio climático y las correspondientes prácticas de desarrollo sostenible, *las emisiones de GEI mundiales seguirán aumentando durante los próximos decenios.*
- Durante los próximos dos decenios, las proyecciones indican un calentamiento de aproximadamente 0,2°C por decenio. El mantenimiento de las emisiones de GEI en tasas actuales o superiores ocasionaría un mayor calentamiento e induciría numerosos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, que muy probablemente serían mayores que los observados durante el siglo XX.
- La pauta de calentamiento futuro en la que la tierra firme se calienta más que los océanos adyacentes y en mayor medida en latitudes altas septentrionales aparece en todos los escenarios previstos.
- El calentamiento tiende a reducir la incorporación de CO₂ atmosférico por el ecosistema terrestre y por los océanos, incrementando así la fracción de emisiones antropogénicas que permanece en la atmósfera. La incorporación de CO₂ antropogénico desde el año 1750 ha intensificado la acidez de las capas superficiales del océano.
- *El calentamiento antropogénico y el aumento de nivel del mar proseguirían durante siglos, aunque las emisiones de GEI se redujesen lo suficiente para estabilizar sus concentraciones,* debido a las escalas de tiempo en que se desarrollan los procesos y la retroalimentación en los sistemas climáticos. Es muy improbable que la sensibilidad climática en equilibrio sea inferior a 1,5°C.

- Es probable que algunos sistemas, sectores y regiones resulten especialmente afectados por el cambio climático. Los sistemas y sectores son: ciertos ecosistemas (tundras, bosques boreales, montañas, ecosistemas de tipo mediterráneo, manglares, marismas, arrecifes coralinos, y el bioma de los hielos marinos), las costas bajas, los recursos hídricos en algunas regiones secas de latitudes medias, en los trópicos y subtropicos secos y en las áreas que dependen de la nieve y el hielo derretidos, la agricultura en regiones de latitud baja, y la salud humana en áreas de escasa capacidad adaptativa. Las regiones son: el Ártico, África, las islas pequeñas, y los grandes deltas de Asia y África.
- En otras regiones, incluso en algunas con alto nivel de ingresos, ciertas poblaciones, áreas y actividades pueden estar particularmente en riesgo. Algunos fenómenos climáticos de gran escala tienen el potencial de causar impactos muy grandes, especialmente después del Siglo XXI.
- Es muy probable que los impactos aumenten debido a una mayor frecuencia e intensidad de ciertos fenómenos meteorológicos extremos. Sucesos recientes han evidenciado la vulnerabilidad de algunos sectores y regiones, incluso en países desarrollados, a olas de calor, ciclones tropicales, crecidas y sequías, que resulta más preocupante que en las conclusiones de la evaluación previa.

4.2 Impactos del cambio climático sobre algunos ámbitos relevantes

La evaluación del del IPCC (2021;2022;2023) incluye igualmente un análisis de los efectos que el cambio climático tiene en ámbitos como los ecosistemas, el agua, los océanos y la salud humana, cuyas principales conclusiones se reproducen a continuación:

A) Efectos específicos sobre los Ecosistemas

- *La resiliencia de numerosos ecosistemas se verá probablemente superada en el presente siglo por una combinación sin precedentes del cambio climático, perturbaciones asociadas –por ejemplo, inundaciones, sequías, incendios incontrolados, insectos, acidificación del océano– y otros detonantes del cambio global, por ejemplo, el cambio de uso de la tierra, polución, fragmentación de los sistemas naturales y sobreexplotación de recursos.*
- *Durante el presente siglo, la incorporación neta de carbono de los ecosistemas terrestres alcanzará probablemente un máximo antes de mediados del siglo para, seguidamente, debilitarse o incluso invertirse, amplificando de ese modo el cambio climático.*

- *Entre 20% y 30% aproximadamente de las especies vegetales y animales estudiadas hasta la fecha estarán probablemente expuestas a un mayor riesgo de extinción* si los aumentos del promedio mundial de temperatura exceden de entre 1,5 y 2,5°C. De sobrepasar los 3,5°C, las proyecciones de los modelos predicen un nivel de extinciones cuantioso (entre 40% y 70% de las especies consideradas) en todo el mundo. A pesar de que se ha obtenido cierto éxito de conservación en la recuperación de varias especies amenazadas y se han redescubierto algunas especies que se creían extinguidas, es factible que a lo largo de las próximas décadas los ritmos de extinción se incrementen en el orden de 1.000–10.000 veces con respecto a los ritmos registrados como antecedentes (UNEP, 2005).
- Para aumentos del promedio mundial de temperatura superiores a entre 1,5 y 2,5°C y las correspondientes concentraciones de CO₂ en la atmósfera, las proyecciones indican *importantes cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, en las interacciones ecológicas y desplazamientos del ámbito geográfico de las especies*, con consecuencias predominantemente negativas para la biodiversidad y para los bienes y servicios ecosistémicos (por ejemplo, suministro de agua y alimentos).
- Actualmente, *los ecosistemas terrestres eliminan más carbono de la atmósfera, 2,5 – 4,3 Gt/año, de lo que emiten (+1,6 ± 0,7 Gt/año)*, por lo que actualmente son un sumidero neto de -1,9 ± 1,1 Gt/año.
- Las selvas tropicales intactas, el permafrost del Ártico, las turberas y otros ecosistemas saludables con alto contenido de carbono brindan un servicio ecosistémico global vital para prevenir la liberación de carbono almacenado.
- Las extinciones de poblaciones locales causadas por el cambio climático han sido generalizadas entre plantas y animales, detectadas en 47% de las 976 especies examinadas y asociadas con aumentos en las temperaturas anuales más altas.
- Aproximadamente la mitad de las especies han cambiado sus áreas de distribución a latitudes o elevaciones más altas y dos tercios de los eventos fenológicos de primavera han avanzado, impulsados por los cambios climáticos regionales.
- Múltiples líneas de evidencia, combinadas con las tendencias fuertes y consistentes observadas en todos los continentes, hacen que sea muy probable que muchos de los cambios observados en los rangos, fenología, fisiología

y morfología de las especies terrestres y de agua dulce puedan atribuirse a cambios climáticos regionales y globales, particularmente aumentos en la frecuencia y severidad de los eventos extremos.

B) Efectos sobre el Agua

- Hay creciente evidencia de que los cambios observados en el ciclo hidrológico están afectando las poblaciones y los ecosistemas. Una porción significativa de dichos cambios impacta negativamente y de manera desproporcionada a comunidades vulnerables.
- Actualmente, cerca de la mitad de la población mundial (~ 4.000 millones de personas) se estima que experimentan escasez severa de agua parcialmente durante el año, debido a factores climáticos y no climáticos.
- *Los glaciares continúan reduciéndose en todo el mundo, como resultado del cambio climático, afectando la escorrentía y los recursos hídricos aguas abajo.* El cambio climático es el principal motor del calentamiento y descongelación del permafrost en las regiones montañosas de alta latitud y alta elevación. Los sistemas hidrológicos han cambiado en muchas regiones debido a cambios en la precipitación o fusión de la criósfera, que afectan los recursos hídricos, la calidad del agua y el transporte de sedimentos, poniendo en riesgo las poblaciones y los ecosistemas en las regiones boreales y polares.
- La pérdida parcial de los mantos de hielo en tierras polares y/o la dilatación térmica del agua marina podría ocasionar, a escalas de tiempo muy prolongadas, aumentos de nivel del mar de varios metros, importantes alteraciones de las líneas costeras e inundaciones en extensiones bajas, y sus efectos serían máximos en los deltas pluviales e islas bajas.
- La intensificación del ciclo hidrológico debido al cambio climático inducido por el hombre está afectando los aspectos físicos de la seguridad del agua, lo que exacerba las vulnerabilidades existentes relacionadas con el agua causadas por otros factores socioeconómicos.
- Los eventos climáticos extremos que causan inundaciones y sequías de gran impacto se han vuelto más probables y (o) más severos debido al cambio climático antropogénico.
- El cambio climático antropogénico ha contribuido a aumentar la probabilidad y la gravedad del impacto de las sequías (especialmente las sequías agrícolas e hidrológicas) en muchas regiones. Se prevé que los riesgos de sequía e inundación y los daños sociales aumenten con cada grado de calentamiento global.

C) Efectos sobre los océanos

- El cambio climático antropogénico ha expuesto los ecosistemas oceánicos y costeros a condiciones sin precedentes durante milenios, y esto ha impactado enormemente la vida en el océano y a lo largo de sus costas. Los cambios fundamentales en las características físicas y químicas de los océanos, actuando individualmente y en conjunto, están modificando el calendario de las actividades estacionales, la distribución y la abundancia de los organismos oceánicos y costeros, desde los microbios hasta los mamíferos y desde los individuos hasta los ecosistemas, en todas las regiones. La evidencia de estos cambios es evidente a partir de observaciones multidecenales, estudios de laboratorio y mesocosmos, así como metaanálisis de datos publicados.
- Los cambios en el área de distribución geográfica de las especies marinas generalmente siguen el ritmo y la dirección del calentamiento climático: el calentamiento de la superficie desde la década de 1950 ha desplazado taxones y comunidades marinas hacia los polos a un promedio de $59,2 \pm 15,5$ km por década, con una variación sustancial en las respuestas entre taxones y regiones.
- Los eventos estacionales ocurren $4,3 \pm 1,8$ días a $7,5 \pm 1,5$ días antes por década entre los organismos planctónicos y en promedio $3 \pm 2,1$ días antes por década para los peces. A escala local o regional, el cambio climático empeora los impactos sobre la vida marina de factores antropogénicos no climáticos, como la degradación del hábitat, la contaminación marina, la sobrepesca y la sobreexplotación, el enriquecimiento de nutrientes y la introducción de especies no autóctonas.
- Aunque los impactos de múltiples impulsores climáticos y no climáticos pueden ser beneficiosos o neutrales para la vida marina, la mayoría son perjudiciales. El calentamiento exagera la eutrofización costera y la hipoxia asociada, lo que provoca "zonas muertas", que provocan graves impactos en los ecosistemas costeros y de la plataforma marina, incluidas mortalidades masivas, reducción del hábitat e interrupciones de la pesca. La sobrepesca exagera los efectos de múltiples impulsores inducidos por el clima sobre los depredadores en la parte superior de la cadena alimentaria marina.

- Los impactos provocados por el clima en los entornos marinos y costeros han causado cambios medibles en industrias específicas, pérdidas económicas, daños emocionales y actividades culturales y recreativas alteradas en todo el mundo.
- El cambio climático está aumentando la propagación geográfica y el riesgo de patógenos transmitidos por el mar como *Vibrio* sp, que ponen en peligro la salud humana y disminuyen el aprovisionamiento y los servicios ecosistémicos culturales. Los impulsores inducidos por el clima y los impulsores no climáticos que interactúan mejoran el movimiento y la bioacumulación de toxinas y contaminantes en las redes alimentarias marinas, y aumentan la salinidad de las aguas costeras, los acuíferos y los suelos, lo que pone en peligro la salud humana.
- Algunos ecosistemas costeros que forman hábitats, incluidos muchos arrecifes de coral, bosques de algas marinas y praderas de pastos marinos, sufrirán cambios de fase irreversibles debido a olas de calor marinas con niveles de calentamiento global $>1,5^{\circ}\text{C}$ y corren un alto riesgo este siglo, incluso en escenarios de $<1,5^{\circ}\text{C}$ que incluyen períodos de sobrepaso de temperatura más allá de $1,5^{\circ}\text{C}$. Los arrecifes de coral corren el riesgo de sufrir un declive generalizado, pérdida de integridad estructural y transición a la erosión neta a mediados de siglo debido al aumento de la intensidad y la frecuencia de las olas de calor marinas. Debido a estos impactos, es muy probable que la tasa de aumento del nivel del mar supere la del crecimiento de los arrecifes para 2050, en ausencia de adaptación.
- Otros ecosistemas costeros, incluidos los bosques de algas, manglares y pastos marinos, son vulnerables a los cambios de fase hacia estados alternativos a medida que se intensifican las olas de calor marinas. Se espera que la pérdida de bosques de algas marinas sea mayor en el borde cálido de baja latitud de las áreas de distribución de las especies.
- Los crecientes impactos del cambio climático en la vida marina alterarán aún más la biomasa de los animales marinos, el momento de los eventos ecológicos estacionales y los rangos geográficos de los taxones costeros y oceánicos, alterando los ciclos de vida, las redes alimentarias y la conectividad ecológica en toda la columna de agua. Es muy probable que los riesgos derivados del aumento del nivel del mar para los ecosistemas costeros y las personas se multipliquen por diez mucho antes de 2100 sin las medidas de adaptación y mitigación acordadas por las Partes del Acuerdo de París. El aumento del nivel del mar en escenarios de emisiones que no limitan el calentamiento a $1,5^{\circ}\text{C}$

aumentará el riesgo de erosión costera y sumergimiento de las tierras costeras, la pérdida de ecosistemas y hábitats costeros y empeorará la salinización de las aguas subterráneas, lo que pondrá en peligro los ecosistemas costeros y los medios de subsistencia.

D) Impactos en la producción de alimentos (Agricultura)

- Los impactos del cambio climático están estresando la agricultura, la silvicultura, la pesca y la acuicultura, lo que dificulta cada vez más los esfuerzos para satisfacer las necesidades humanas. *El calentamiento inducido por el hombre ha frenado el crecimiento de la productividad agrícola en los últimos 50 años en latitudes medias y bajas.* El rendimiento de los cultivos se ve comprometido por el ozono superficial.
- *Las emisiones de metano han tenido un impacto negativo en el rendimiento de los cultivos al aumentar las temperaturas y las concentraciones de ozono en la superficie.*
- *El calentamiento está afectando negativamente la calidad de los cultivos y los pastizales y la estabilidad de la cosecha.* Las condiciones más cálidas y secas han aumentado la mortalidad de los árboles y las perturbaciones forestales en muchos biomas templados y boreales, lo que tiene un impacto negativo en los servicios de aprovisionamiento.
- *El calentamiento ha alterado la distribución, la idoneidad del área de cultivo y el momento de los eventos biológicos clave, como la floración y la aparición de insectos, lo que afecta la calidad de los alimentos y la estabilidad de la cosecha.* Es muy probable que el cambio climático esté alterando la distribución de especies cultivadas, silvestres, terrestres, marinas y de agua dulce. En latitudes más altas, el calentamiento ha ampliado el área potencial, pero también ha alterado la fenología, lo que puede causar desajustes entre plantas, polinizadores y plagas.
- *Los extremos relacionados con el clima han afectado la productividad de todos los sectores agrícolas y pesqueros, con consecuencias negativas para la seguridad alimentaria y los medios de vida (nivel de confianza alto).* La frecuencia de las pérdidas repentinas de producción de alimentos ha aumentado desde al menos mediados del siglo XX en tierra y mar.
- *Las sequías, las inundaciones y las olas de calor marinas contribuyen a la reducción de la disponibilidad de alimentos y al aumento de los precios de los alimentos, lo que amenaza la seguridad alimentaria, la nutrición y los medios de subsistencia de millones de personas.*

Las sequías inducidas por El Niño de 2015-2016, parcialmente atribuibles a la influencia humana, causaron una aguda inseguridad alimentaria en varias regiones, incluidos el este y el sur de África y el corredor seco de América Central.

- El cambio climático afecta a todos, pero los grupos vulnerables, como las mujeres, los niños, los hogares de bajos ingresos, los grupos indígenas u otros grupos minoritarios y los productores a pequeña escala, corren un mayor riesgo de desnutrición, pérdida de medios de subsistencia, aumento de los costos y competencia por los recursos. La creciente competencia por la tierra, la energía y el agua exacerba los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria.
- Las invasiones de especies han aumentado en las últimas décadas en todo el mundo, especialmente en los ecosistemas de agua dulce, causando a menudo la pérdida de biodiversidad u otros impactos negativos. Una vez establecidos en un nuevo entorno, muchas especies introducidas se han convertido recientemente en invasoras debido al cambio climático.
- Según Malhi (2021), el cambio en el patrón climático o meteorológico de un área aumentará la susceptibilidad de un cultivo a diversas plagas, enfermedades y malezas. Aunque se proyectan mayores rendimientos en países de latitudes altas y medias, se prevé que los rendimientos disminuyan en latitudes más bajas. Sin embargo, hay proyecciones de un aumento del 10 a 25% en las pérdidas debido a la infestación de plagas de insectos con un aumento de la temperatura de un grado. El cambio climático tiene el potencial de aumentar la población de plagas y su migración, lo que puede tener un impacto adverso en los rendimientos agrícolas e incluso en la viabilidad, ya que la población de plagas depende principalmente de factores abióticos como la humedad y la temperatura.

Dentro de los *Impactos proyectados en la agricultura*, el IPCC (2022) señala que:

- *El cambio climático hará que algunas áreas actuales de producción de alimentos no sean adecuadas.* Las áreas agrícolas y ganaderas mundiales actuales se volverán cada vez más inadecuadas desde el punto de vista climático en un escenario de emisiones altas.
- *El aumento de los extremos climáticos potencialmente simultáneos aumentará periódicamente las pérdidas simultáneas en las principales regiones productoras de alimentos.* Los impactos en la disponibilidad de alimentos y la calidad nutricional aumentarán el número de personas en riesgo de hambre, desnutrición y mortalidad relacionada con la dieta.

- *El cambio climático aumentará el número de personas en riesgo de hambre a mediados de siglo, concentradas en el África subsahariana, el sur de Asia y América Central.* El cambio climático expondrá cada vez más a los trabajadores al aire libre y a los animales al estrés por calor, lo que reducirá la capacidad laboral, la salud animal y la producción de carne y lácteos
- *El cambio climático reducirá la eficacia de los agentes polinizadores a medida que se pierdan especies en ciertas áreas o se interrumpa la coordinación de la actividad de los polinizadores y la receptividad de las flores en algunas regiones.* Las emisiones de gases de efecto invernadero tendrán un impacto negativo en la calidad del aire, el suelo y el agua, lo que exacerbará los impactos climáticos directos en los rendimientos.
- El cambio climático alterará significativamente los servicios de suministro de alimentos acuáticos y la seguridad del agua con variaciones regionales. *El cambio climático reducirá la productividad de la pesca y la acuicultura marina, alterando las especies que se pescarán o cultivarán y reduciendo el hábitat de la acuicultura en áreas tropicales y subtropicales.*
- La biomasa animal oceánica mundial disminuirá entre un 5 % y un 17 % con RCP 2,6 y 8,5, respectivamente, entre 1970 y 2100, con una disminución media del 5% por cada 1°C de calentamiento, lo que afectará al suministro de alimentos, el valor de los ingresos y la distribución.

E) Impactos sobre la salud humana

- Las enfermedades relacionadas con el clima, las muertes prematuras, la desnutrición en todas sus formas y las amenazas para la salud mental y el bienestar están aumentando. Los peligros climáticos son un impulsor creciente de la migración y el desplazamiento involuntarios (nivel de confianza alto) y son un factor que contribuye a los conflictos violentos. Estos impactos a menudo están interconectados, se distribuyen de manera desigual entre las sociedades y dentro de ellas, y se seguirán experimentando de manera desigual debido a las diferencias en la exposición y la vulnerabilidad.
- Se alcanzaron nuevos acuerdos internacionales sobre cambio climático (Acuerdo de París), reducción del riesgo de desastres (RRD) (Acuerdo de Sendai), desarrollo sostenible (Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)), urbanización (Nueva Agenda Urbana), migración (Pacto Mundial para la Seguridad, Migración Ordenada y Regular) y refugiados (Pacto Mundial sobre Refugiados) que, de lograrse, reducirían los impactos del

cambio climático en la salud, el bienestar, la migración y los conflictos. Sin embargo, los desafíos para implementar estos acuerdos se destacan por la pandemia de la enfermedad COVID-19, que expuso debilidades sistémicas a nivel comunitario, nacional e internacional en la capacidad de las sociedades para anticipar y responder a los riesgos globales.

- El desarrollo resiliente al clima tiene un gran potencial para generar beneficios colaterales sustanciales para la salud y el bienestar y para reducir los riesgos de desplazamiento involuntario y conflicto. El desarrollo sostenible y resiliente al clima que disminuye la exposición, la vulnerabilidad y la inequidad social y que aumenta la adaptación y mitigación oportunas y efectivas de manera más amplia, tiene el potencial de reducir, pero no necesariamente eliminar, los impactos del cambio climático en la salud, el bienestar, la migración involuntaria y los conflictos.
- Los peligros climáticos están contribuyendo cada vez más a un número creciente de resultados adversos para la salud (incluidas las enfermedades transmisibles y no transmisibles (ENT)) en múltiples áreas geográficas. Los impactos netos son en gran medida negativos en todas las escalas (nivel de confianza muy alto), y hay muy pocos ejemplos de resultados beneficiosos del cambio climático en cualquier escala. Si bien la incidencia de la malaria ha disminuido en todo el mundo debido a factores socioeconómicos no climáticos y respuestas del sistema de salud, se ha observado un cambio a mayores altitudes a medida que el clima se calienta.
- La variabilidad y el cambio climático (incluida la temperatura, la humedad relativa y las precipitaciones) y la movilidad de la población se asocian significativamente y positivamente con: aumentos observados del dengue a nivel mundial; virus chikungunya en Asia, América Latina, América del Norte y Europa (nivel de confianza alto); *Ixodes scapularis*, vector de la enfermedad de Lyme en América del Norte y el vector de la enfermedad de Lyme y la encefalitis transmitida por garrapatas *Ixodes ricinus* en Europa.
- Las temperaturas más altas, las precipitaciones intensas y las inundaciones se asocian con un aumento de las enfermedades diarreicas en las regiones afectadas, incluido el cólera, otras infecciones gastrointestinales y enfermedades transmitidas por los alimentos debido a *Salmonella* y *Campylobacter*.

- La variabilidad y el cambio climáticos contribuyen a la inseguridad alimentaria, que puede conducir a la desnutrición, incluido el sobrepeso y la obesidad, y a la susceptibilidad a las enfermedades en los países de ingresos bajos y medianos. Las poblaciones expuestas a fenómenos meteorológicos y climáticos extremos pueden consumir alimentos inadecuados o insuficientes, lo que provoca desnutrición y aumenta el riesgo de enfermedades.