

MÓDULO 1

EMISIONES Y CALENTAMIENTO GLOBAL

EMISIONES Y CALENTAMIENTO GLOBAL

1.- INTRODUCCIÓN

El clima de la Tierra ha ido cambiando desde el principio de los tiempos, de manera que ha habido ciclos de avance y retroceso glacial. La glaciación Würm (Edad de Hielo), es el último periodo glacial que ha acontecido en la historia geológica de la Tierra. Comenzó hace unos 110.000 años y finalizó alrededor del 9.700 a.C.

La Tierra se encuentra actualmente en un período interglacial dentro de la glaciación cuaternaria, con el último período glacial del Cuaternario terminado hace 12.500 años con el inicio del periodo de clima templado actual conocido como Holoceno.

La mayoría de estos cambios climáticos se atribuyen a variaciones muy pequeñas en la órbita de la Tierra que causan cambios en la cantidad de energía solar que recibe nuestro planeta.

La tendencia actual de calentamiento es de particular importancia porque la mayor parte de ella se debe, en más del 95 por ciento de probabilidad, al resultado de la actividad

humana desde mediados del siglo XX, continuando a un ritmo exponencial durante décadas hasta la actualidad.¹

Los satélites situados en la órbita terrestre y otros avances tecnológicos han permitido a los científicos ver el panorama general, recopilando a lo largo del tiempo una gran cantidad de información sobre el planeta, incluido el clima a escala global, revelando señales de un calentamiento de la Tierra, produciendo cambios en el clima a nivel global.

A mediados del siglo XIX, se demostró que el dióxido de carbono, CO₂, y otros gases absorben calor, por lo que el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero hace que la Tierra responda con un mayor calentamiento.

En 1860, el físico John Tyndall reconoció el efecto invernadero natural de la Tierra y sugirió que pequeños cambios en la composición atmosférica podrían provocar variaciones climáticas.

En 1896, un documento del científico sueco Svante Arrhenius predijo por primera vez que los cambios en los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera podrían alterar sustancialmente la temperatura de la superficie a través del efecto invernadero.

Los núcleos de hielo extraídos de Groenlandia, la Antártida y los glaciares tropicales de montaña muestran que el clima de la Tierra responde a los cambios en los niveles de gases de efecto invernadero.

¹ 5º Informe de evaluación del IPCC

La evidencia antigua, o también llamada evidencia paleoclimática, se puede encontrar en los anillos de árboles, sedimentos oceánicos, arrecifes de coral y capas de rocas sedimentarias, lo que revela que el calentamiento actual se produce aproximadamente diez veces más rápido que la tasa promedio de calentamiento de la edad de hielo.²

Si bien existe consenso entre científicos, organizaciones y gobiernos, en que el cambio climático está ocurriendo y es causado por la actividad humana, una pequeña minoría cuestiona la validez de tales afirmaciones y prefiere poner en duda las abrumadoras evidencias.

La controversia del palo de hockey hace referencia a los debates sobre los aspectos técnicos y repercusión en el calentamiento global de las gráficas de reconstrucciones del registro de temperatura del último milenio.

A nivel político, el debate se centra en el uso de dichas gráficas como método para difundir al público aspectos científicos complejos, y en la solidez de las afirmaciones presentadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, en inglés).

A finales de los años noventa, varios grupos de investigación encontraron evidencias de que el calentamiento actual era excepcional. En 1998 Michael E. Mann, Raymond S. Bradley y Malcolm K. Hughes (MBH) realizaron la primera reconstrucción

² National Research Council (NRC)

cuantitativa de la temperatura a nivel de hemisferio a partir del análisis de un conjunto diverso de medidas. Esta reconstrucción se remontaba hasta 1400 y mostraba un rápido aumento de la temperatura, posteriormente, en su artículo de 1999, extendieron este estudio hasta el año 1000.

La gráfica, donde se observaba el incremento de temperatura, fue utilizada durante la reunión del Tercer Informe de Evaluación del IPCC, en 2001, como representativa de la visión general entre los científicos del clima del incremento más o menos pronunciado de la temperatura a partir de la segunda mitad del siglo XX.

El término palo de hockey fue acuñado por el climatólogo y director del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos Jerry Mahlman para describir el patrón observado en el gráfico; una fase relativamente plana hasta 1900 seguido por un rápido incremento.

En 2003, Willie Soon y Sallie Baliunas arremetieron contra este patrón en un artículo que posteriormente fue calificado como erróneo. También en 2003, Stephen McIntyre y Ross McKittrick publicaron un artículo cuestionando los métodos estadísticos usados en el artículo de Mann et al.. Sin embargo, Hans von Storch considera este artículo como de poca relevancia y cree que su artículo de 2004 es el primero que plantea una crítica significativa a los métodos estadísticos usados por MBH.

En 2006, por requerimiento del Congreso de los Estados Unidos, se formó un grupo de estudio compuesto por científicos que

declaró su apoyo a los descubrimientos de Mann con algunos matices, incluyendo la advertencia de la existencia de algunos errores estadísticos, aunque con poco efecto en los resultados finales.

Más de doce artículos posteriores, usando diferentes métodos estadísticos y combinaciones de registros de proxies, han reproducido reconstrucciones similares a la gráfica original en palo de hockey de MBH, únicamente mostrando algunas diferencias en cómo de plana es la región anterior al siglo XX.

Casi todos ellos apoyan las conclusiones del IPCC de que la década más cálida en los últimos 1000 años fue probablemente la última del final del siglo XX.

Los negacionistas del cambio climático afirman que los cambios recientes atribuidos a la actividad humana pueden verse como parte de las variaciones naturales en el clima y en la temperatura de la Tierra, y que es difícil o imposible establecer una conexión directa entre el cambio climático y cualquier evento climático único, como ocurre con los huracanes.

Si bien esto último es generalmente cierto, décadas de datos y análisis respaldan la realidad del cambio climático y la responsabilidad del factor humano en este proceso. En cualquier caso, los economistas coinciden en que actuar para reducir las emisiones de combustibles fósiles sería mucho menos costoso que lidiar con las consecuencias de no hacerlo.

2. CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global es un fenómeno causado por el aumento de la temperatura media del aire en la superficie terrestre durante los últimos dos siglos.

Desde mediados del siglo XX, los científicos del clima han recopilado observaciones detalladas de fenómenos meteorológicos y de las influencias relacionadas con el clima, indicando que el clima de la Tierra ha cambiado a lo largo del tiempo y que las actividades humanas tienen una influencia creciente sobre el ritmo y la extensión del cambio climático actual.

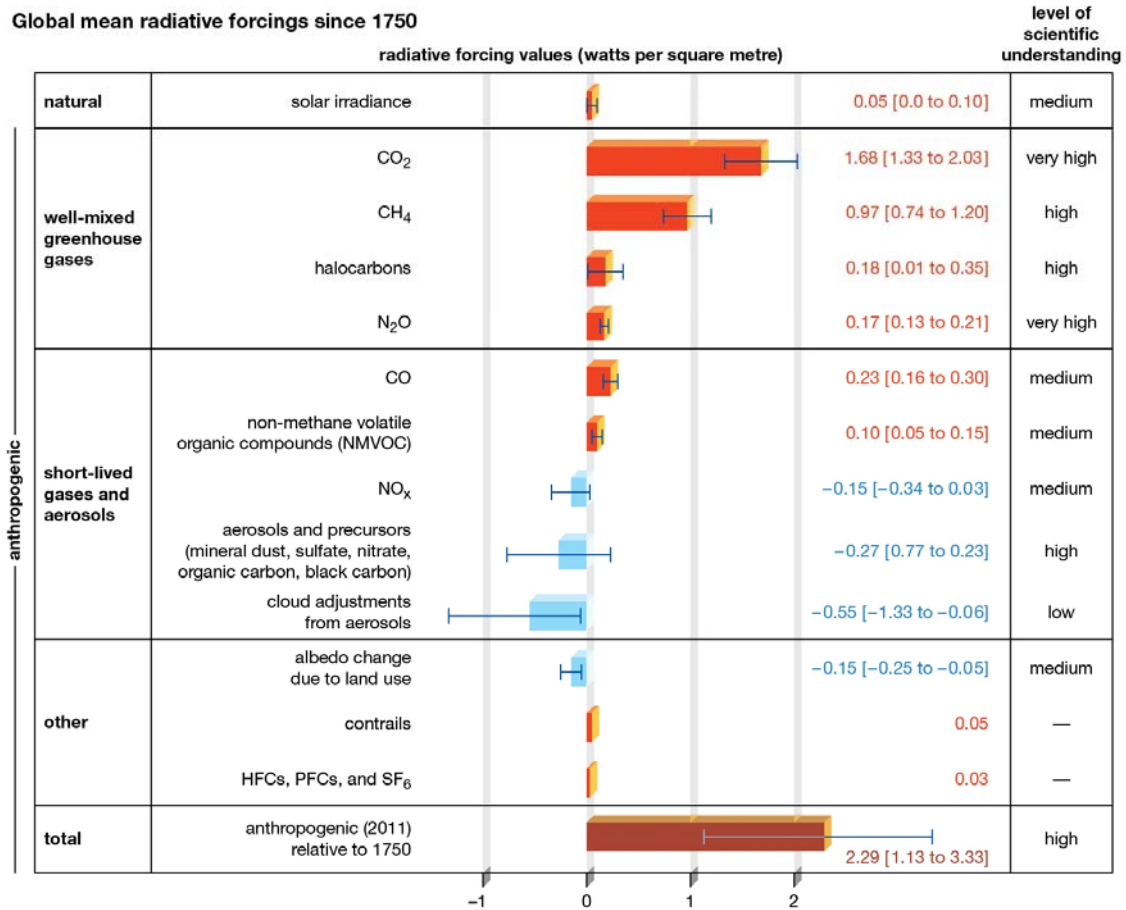
El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en el Sexto Informe de Evaluación (AR6), publicado en 2021, señaló que la mejor estimación del aumento de la temperatura superficial promedio mundial entre 1850 y 2019 fue de 1,07 °C.

Un informe especial del IPCC producido en 2018 señaló que los seres humanos y sus actividades han sido responsables de un aumento de la temperatura promedio mundial de entre 0,8 y 1,2 °C desde la época preindustrial.

La actividad humana afecta las temperaturas de la superficie global al cambiar el forzamiento radiativo³ de la Tierra (ver figura 1). El aumento de los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano que absorben la energía térmica

³ El forzamiento radiativo o forzamiento climático es la diferencia entre la insolación absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio

emitida por la superficie de la Tierra y la vuelven a irradiar, generados por la industria y el transporte, hacen que la atmósfera retenga más calor, lo que aumenta las temperaturas y altera los patrones de precipitación.



Source: Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014: The Physical Science Basis*, "Summary for Policymakers."

Figura 1: Forzamientos radiativos medios globales desde 1750.

Fuente: IPCC, 2014

El informe AR6 produjo una serie de predicciones climáticas globales basadas en el modelado de cinco escenarios de emisión de gases de efecto invernadero que representaron las emisiones futuras, las medidas de mitigación como la reducción

de la gravedad y las incertidumbres en las proyecciones del modelo.

Algunas de las principales incertidumbres incluyen el papel preciso de los procesos de retroalimentación y los impactos de los contaminantes industriales conocidos como aerosoles, que pueden compensar parte del calentamiento.

El escenario de emisiones más bajas, que asumía fuertes recortes en las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de 2015, predijo que la temperatura superficial media mundial aumentaría entre 1,0 y 1,8 °C para 2100 en relación con el promedio de 1850 - 1900. Este rango contrastaba marcadamente con el escenario de emisiones más altas, que predecía que la temperatura media de la superficie aumentaría entre 3,3 y 5,7 °C para 2100 en el supuesto de que las emisiones de gases de efecto invernadero continuaran aumentando a lo largo del siglo XXI. El escenario de emisiones intermedias, que asumía que las emisiones se estabilizarían para 2050 antes de disminuir gradualmente, proyectó un aumento de entre 2,1 y 3,5 °C para 2100.

Muchos científicos del clima están de acuerdo en que se produciría un daño social, económico y ecológico significativo si la temperatura promedio mundial aumentara más de 2 °C en tan poco tiempo. Dicho daño incluiría la extinción de muchas especies de flora y fauna, cambios en los ciclos agrícolas y aumento del nivel del mar.

Durante el año 2015, la gran mayoría de los gobiernos nacionales, habían comenzado el proceso de instituir planes de reducción de carbono como parte del Acuerdo de París, un tratado diseñado para ayudar a los países a mantener el calentamiento global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales para evitar el peor de los escenarios previstos.

El informe AR6 también señaló que el nivel del mar promedio mundial había aumentado unos 20 cm entre 1901 y 2018 y que el nivel del mar aumentó más rápidamente en la segunda mitad del siglo XX, por lo que el nivel promedio global del mar aumentaría en diferentes cantidades para 2100 en relación con el promedio de 1995-2014.

Los escenarios contemplados fueron el de emisiones más bajas en el que el nivel del mar aumentaría entre 28 y 55 cm; en el escenario de emisiones intermedias, el nivel del mar aumentaría entre 44 y 76 cm y en el escenario de emisiones más altas sugirió que el nivel del mar aumentaría entre 63 y 101 cm para 2100.

Los escenarios mencionados anteriormente dependen principalmente de las concentraciones futuras de ciertos gases traza, llamados gases de efecto invernadero, que se han inyectado en la atmósfera inferior en cantidades cada vez mayores a través de la quema de combustibles fósiles para usos industriales, de transporte y residenciales.

El calentamiento global moderno es el resultado de un aumento en la magnitud del llamado efecto invernadero, un calentamiento de la superficie terrestre y de la atmósfera inferior causado por

la presencia de vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y otros gases de efecto invernadero.

Existe un intenso debate sobre el alcance y la gravedad del aumento de las temperaturas en la superficie terrestre, los efectos del calentamiento a lo largo del tiempo en los seres vivos y la necesidad de actuar para reducir el calentamiento futuro y hacer frente a sus consecuencias.

3. EL PALO DE HOCKEY

El gráfico del "palo de hockey" fue el resultado del primer intento integral de reconstruir la temperatura promedio del hemisferio norte durante los últimos 1.000 años, en función de numerosos indicadores de temperaturas pasadas, como los anillos de los árboles. Se muestra temperaturas que se mantuvieron bastante estables hasta la última parte del siglo XX y luego se dispararon repentinamente.

El gráfico de hockey se publicó por primera vez en un artículo de 1999 (pdf) por Michael Mann y sus colegas, que era una extensión de un estudio de 1998 en *Nature*. El gráfico se destacó en el informe de 2001 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). (ver figura 2).

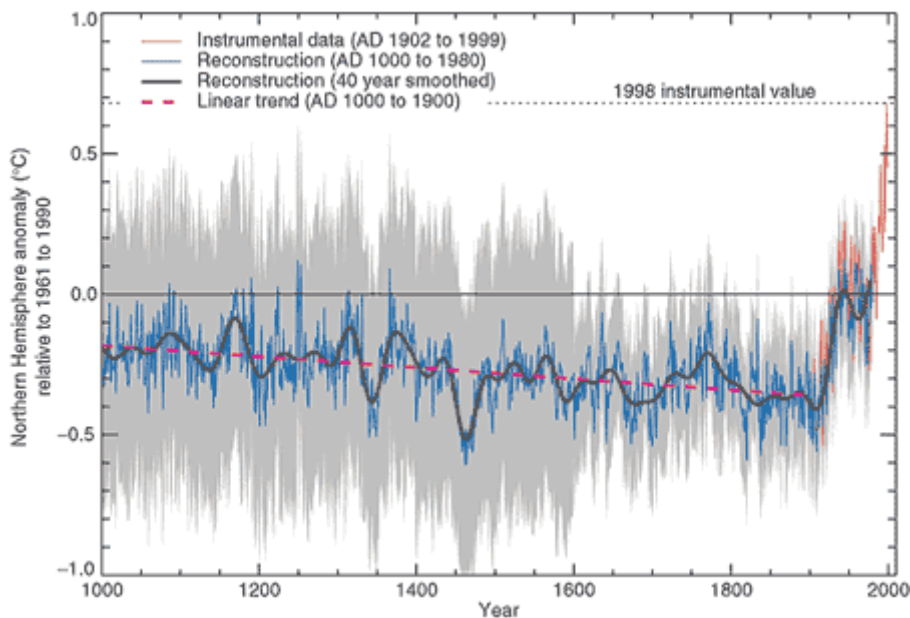


Figura 2: Cambios de temperatura del hemisferio norte estimados a partir de varios registros indirectos que se muestran en azul (Mann et al. 1999). Datos instrumentales mostrados en rojo. Tenga en cuenta la gran incertidumbre (área gris) a medida que retrocede en el tiempo.

Fuente: www.skepticalscience.com/broken-hockey-stick

Proporcionó evidencias de que el aumento de los gases de efecto invernadero debido a la actividad humana está causando el calentamiento, aunque el argumento a favor de esto ya era muy sólido.

El informe IPCC afirma que la conclusión básica de Mann et al. (1998, 1999) fue que el calor de finales del siglo XX en el hemisferio norte no tuvo precedentes durante al menos los últimos 1.000 años, conclusión que ha sido respaldada por una serie de pruebas que incluyen reconstrucciones a gran escala de la temperatura de la superficie y cambios pronunciados en una variedad de indicadores indirectos locales, como el derretimiento de los casquetes polares y el retroceso de los glaciares en todo el mundo.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que, si bien el palo de hockey original puede mejorarse no estaba muy lejos de la realidad. La mayoría de las reconstrucciones de temperatura posteriores caen dentro de las barras de error del palo de hockey original. Algunos muestran mucha más variabilidad antes del siglo XX que el palo de hockey, pero ninguno sugiere que haya sido más cálido en algún momento de los últimos 1.000 años que en la última parte del siglo XX.

Existen grandes incertidumbres sobre la precisión de todas las reconstrucciones de temperatura pasadas, que a veces han sido ignoradas o pasadas por alto por quienes han presentado el palo de hockey como evidencia del calentamiento global.

En la actualidad, Michael Mann y sus colegas han reconstruido las temperaturas del hemisferio norte durante los últimos 2.000 años utilizando un conjunto más amplio de indicadores que el que estaba disponible para el estudio original y mediciones actualizadas del pasado reciente. (ver Figura 3).

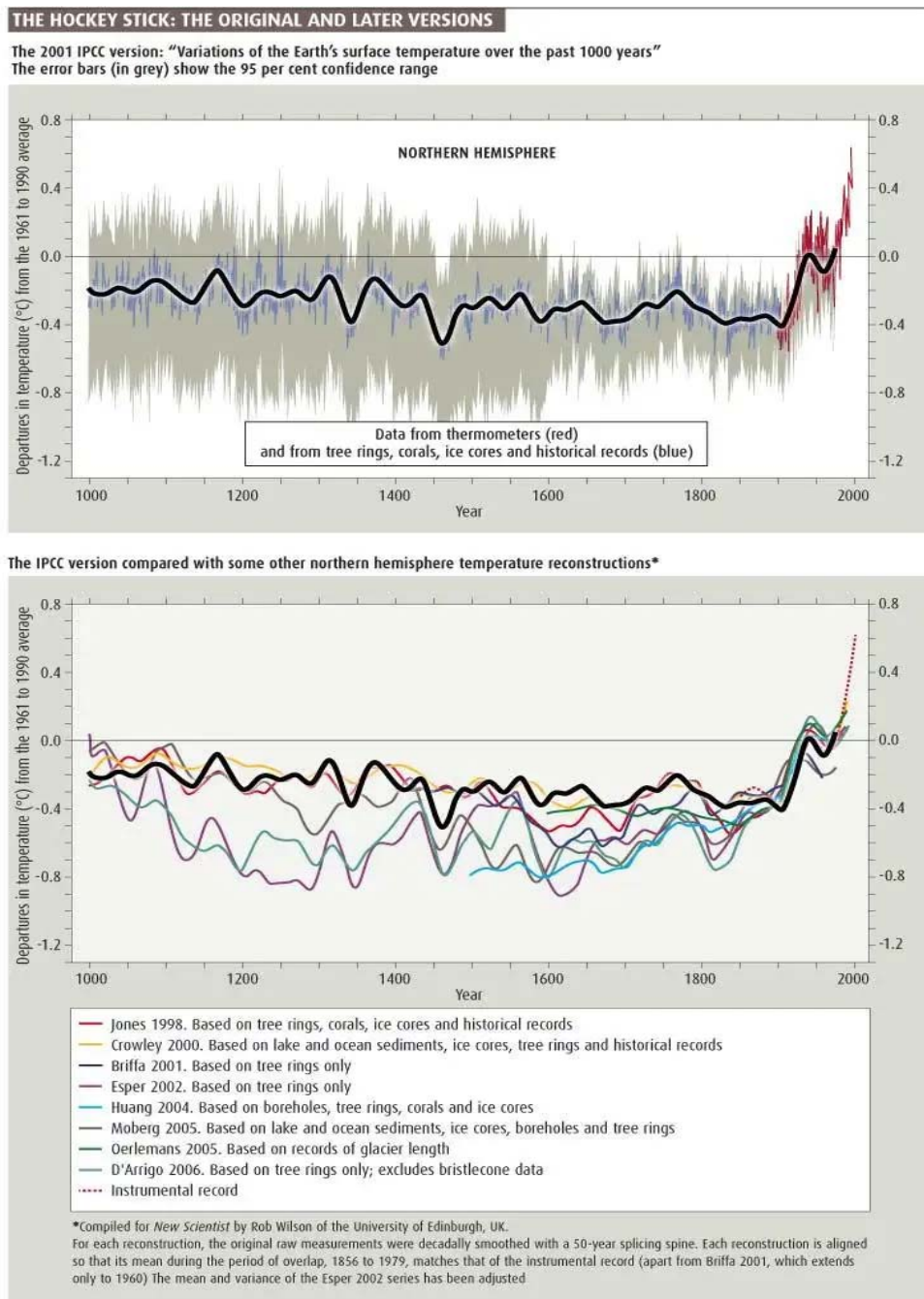


Figura 3: El palo de hockey: Las versiones original y última. Reconstrucciones de temperatura de los últimos 1000 años.

Fuente: IPCC

La nueva reconstrucción se ha generado utilizando dos métodos estadísticos diferentes al utilizado en el estudio original. Al igual que otras reconstrucciones de temperatura realizadas desde 2001, muestra una mayor variabilidad que el palo de hockey original.

La conclusión clave es la misma: hace más calor ahora que durante al menos 1.000 años.

La evidencia independiente, a partir de núcleos de hielo y sedimentos marinos, sugiere que la última vez que el planeta se acercó a este grado de calor fue durante el período interglacial que precedió a la última edad de hielo hace más de 100.000 años.

4. EFECTO INVERNADERO Y EMISIONES

El sol irradia energía solar de la que una pequeña parte se dirige a la Tierra. De esa irradiación que llega a la Tierra, aproximadamente el 45%, rebota y se vuelve a irradiar al espacio. Si la atmósfera se densifica por la formación de gases de efecto invernadero, la energía vuelve a rebotar en la atmósfera y vuelve a la Tierra, lo que provoca un calentamiento generalizado del planeta.

Este fenómeno natural es lo que se denomina efecto invernadero, que está correlacionado con los cambios de temperatura global. Si los gases de efecto invernadero no existieran, la Tierra tendría temperaturas por debajo de los 18 °C bajo cero, no apta para la vida en el planeta.

Por otro lado, un aumento de los gases de efecto invernadero podría provocar un enfriamiento de la estratosfera, *European Environmental Agency* (2015), debido a que la mayoría de los rayos infrarrojos son absorbidos a bajas altitudes, quedando poca radiación para calentar la estratosfera.

En la figura 4, se observa los efectos de la radiación solar en la Tierra: De los rayos solares que inciden en la Tierra, aproximadamente el 30% de esa radiación se refleja al exterior de la atmósfera, un 20% lo absorben las nubes y otros componentes atmosféricos y el 50% lo absorbe la superficie terrestre y la calienta.

La superficie caliente emite radiación infrarroja, en la que parte de esa radiación atraviesa la atmósfera disipándose en el espacio exterior y la radiación restante es absorbida por los gases de efecto invernadero y emitida de nuevo hacia la superficie terrestre.

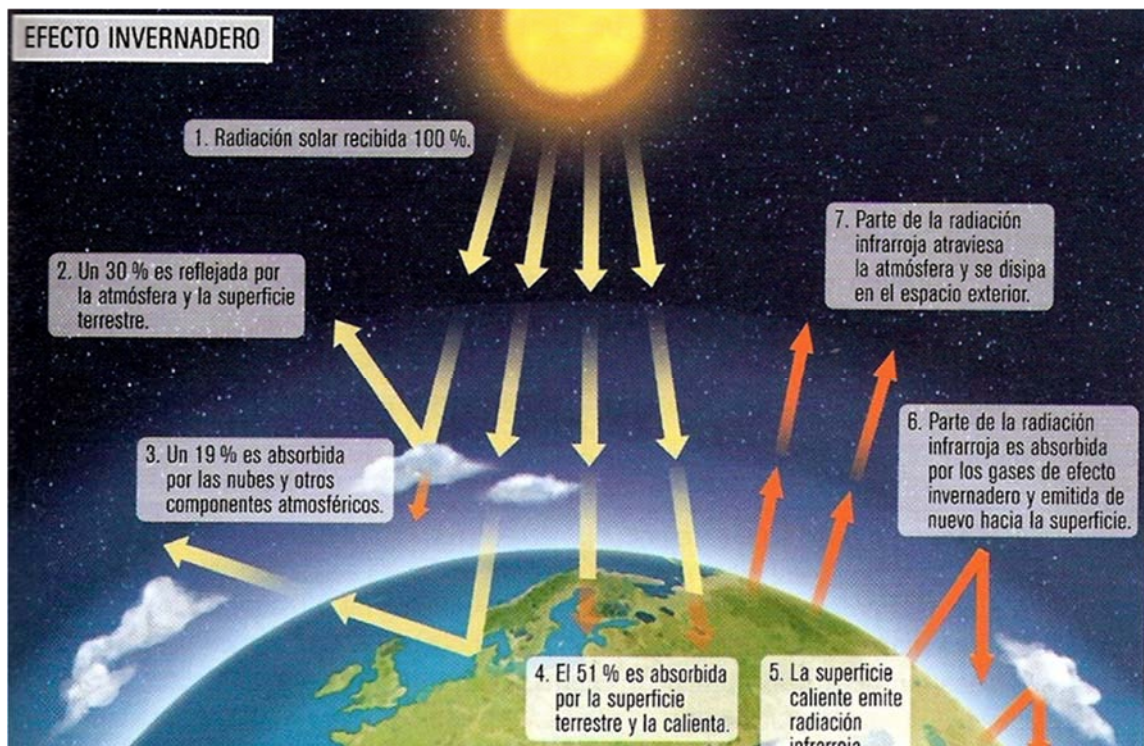


Figura 4: Efectos de la Radiación Solar en la Tierra. Efecto Invernadero.

Fuente: juanpicard.wordpress.com.

A pesar de las acciones de muchas organizaciones medioambientales, no todos los países aceptan el efecto invernadero como un problema medioambiental global y opinan que la teoría aun siendo correcta en cierto modo, exagera las consecuencias derivadas de este efecto invernadero.

El informe *United in Science*⁴, convocado por el Grupo Asesor de Ciencias de la Cumbre de Acción Climática de la ONU, Siegmund et al. (2019), reúne los detalles sobre el estado actual del clima y presenta tendencias en las emisiones y concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero.

En la investigación los científicos destacan la urgencia de una transformación socioeconómica fundamental en sectores clave como el uso de la tierra y la energía para evitar un aumento peligroso de la temperatura global con impactos potencialmente irreversibles.

Existen una serie de hechos estilizados que demuestran la existencia del calentamiento global que da lugar al llamado cambio climático. De estos hechos estilizados, a continuación, se relatan los más destacados:

- **Registro de temperaturas más altas en cinco años:** Según la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), el *Goddard Institute for Space Studies*, Susskind et al., (2019), constataron que la temperatura global promedio para el período 2015 y 2019 estuvo entre las más altas registradas en grandes áreas como Estados Unidos, incluido Alaska,

⁴ El Informe *United in Science* creado por las principales organizaciones de ciencia climática del mundo fuerzas para producir una evaluación unificada para la Cumbre de Acción Climática de las Naciones Unidas subraya las brechas evidentes y crecientes entre los objetivos acordados para abordar el calentamiento global y la realidad real, destacando la urgencia de desarrollar e implementar compromisos y acciones concretos. Otras agencias contribuyentes son: la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Vigilancia de la Atmósfera Global (Global Atmosphere Watch), Proyecto Global del Carbono (Global Carbon Project), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), Tierra Futura (Future Earth), Liga de la Tierra (Earth League) y el Marco Global de Servicios Climáticos.

zona oriental de América del Sur, la mayor parte de Europa, Oriente Medio, norte de Eurasia, Australia y áreas de África subsahariana, como consecuencia de sistemas de altas presiones que han ido creando lo que los expertos denominan un "domo de calor"⁵ .

Actualmente se estima la temperatura global promedio entre 1,0 y 1,2 °C por encima de la época preindustrial situada entre los años 1850 y 1900 y, entre 0,12 °C y 0,28 °C más alta que la temperatura global promedio entre los años 2011 y 2015 (ver figura 5).

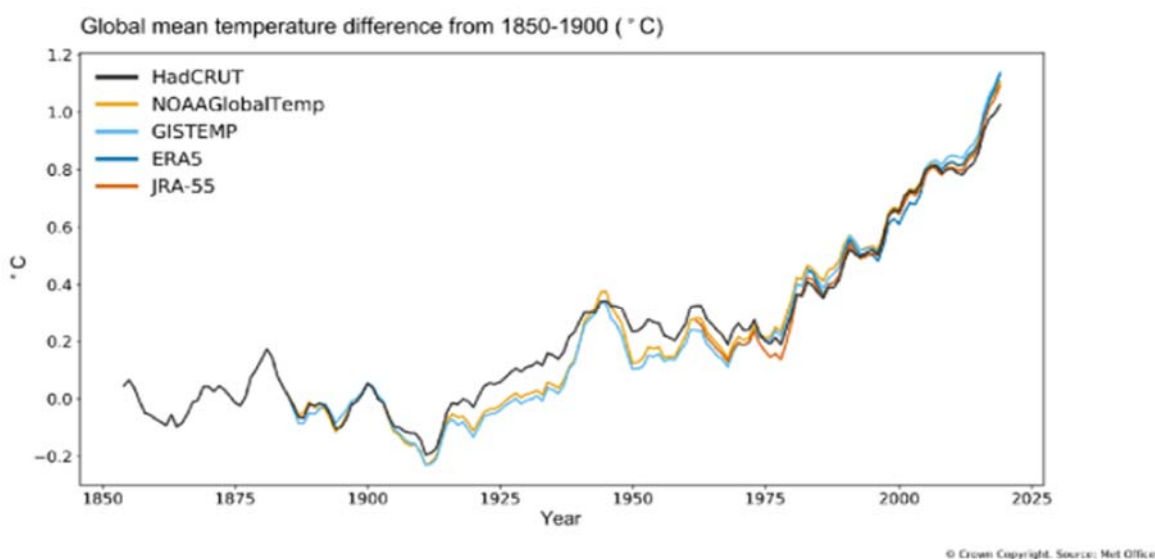


Figura 5: Promedio de cinco años de anomalías de temperatura global comparado con la época preindustrial, de 1854 a 2019 para cinco conjuntos de datos.

Fuente: *United in Science*.

⁵ Domo es una especie de cúpula, así "domo de calor" es una cúpula de calor de alta presión, que es similar a una ola de calor, pero que en diversos aspectos es más intenso que una ola de calor. El "domo de calor" responsable de las altísimas temperaturas, proviene del desierto del Sahara, dirigiéndose hacia el nordeste de Europa continental.

En el periodo que se muestra en el mapa de la figura 6, los puntos amarillos (los más claros) muestran dónde se rompió un registro de temperatura máxima en una fecha determinada; el color rosa indica los lugares más calurosos en el mes que se muestra y el rojo oscuro representa el lugar más caluroso desde que comenzaron los registros.

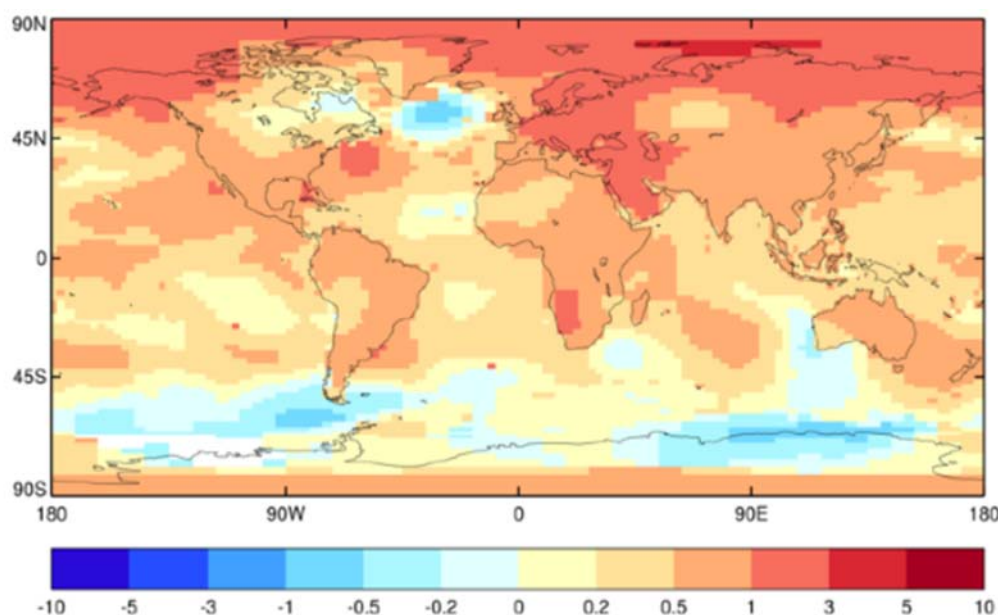


Figura 6: Anomalías de la temperatura promedio de cinco años de 2015-2019 en relación con el promedio de 1981-2010.

Fuente: *National Aeronautics and Space Administration (NASA) GISTEMP⁶ v4.*

Si esta tendencia continúa, se estima que la temperatura global podría aumentar entre 3 y 5 °C para el año 2100.

- **Aceleración en el aumento del nivel del mar:** La tasa observada de aumento medio global del nivel del mar pasó de 3,04 milímetros por año (mm/año) durante el período 1997-

⁶ El análisis de temperatura de la superficie global de *Goddard (GISTEMP)* de la NASA combina las temperaturas del aire de la superficie terrestre en un conjunto completo de datos de temperatura de la superficie global que abarca desde 1880 hasta el presente. Es uno de los principales conjuntos de datos utilizados para monitorear la variabilidad y las tendencias de la temperatura global y regional.

2006 a, aproximadamente, 4 mm/año durante el período 2007–2016.

La tasa acelerada en el aumento del nivel del mar se atribuye al calentamiento que origina el derretimiento del hielo terrestre de Groenlandia y la Antártida Occidental.

- **Acidificación del agua de mar:** En el informe publicado por *United in Science*, el océano se ve también afectado de tal manera que absorbe casi el 25% de las emisiones anuales de CO₂ antropogénico, lo que ayuda a aliviar la concentración de CO₂ en la atmósfera y con ello el efecto invernadero. El CO₂ absorbido reacciona con el agua de mar provocando cierto grado de acidez que va aumentando paulatinamente.

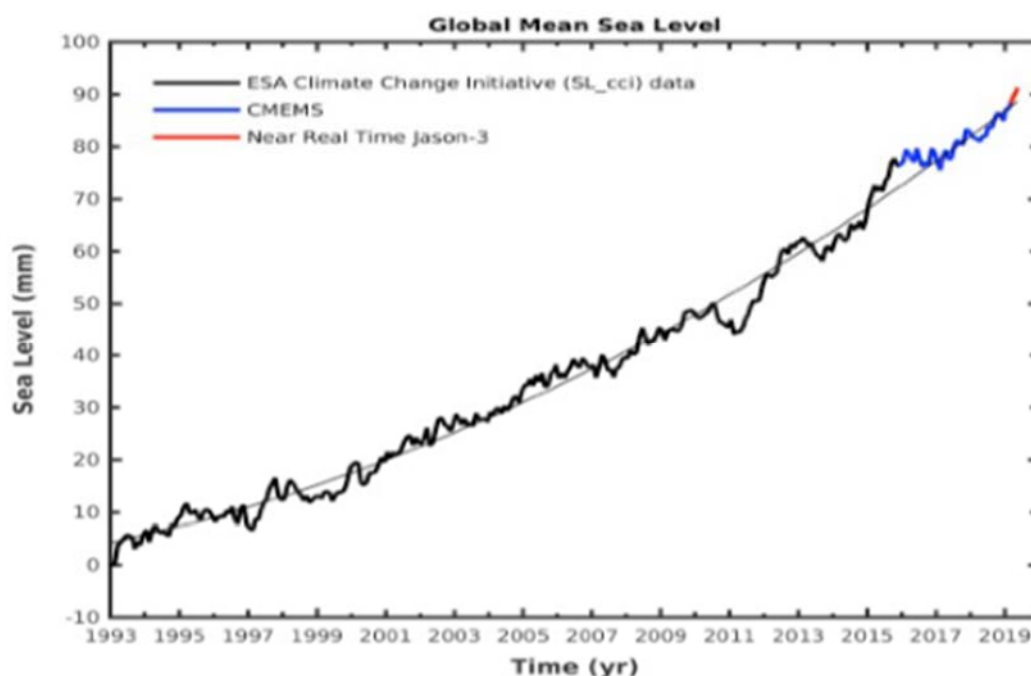


Figura 7: Series temporales del nivel medio del mar global basado en la altimetría desde enero de 1993 hasta mayo de 2019.

Fuente: Iniciativa sobre el cambio climático (CCI) de la Agencia Espacial Europea (ESA) 2015, ampliados por datos del Servicio Marino de Copérnico (CMEMS)

En la figura 7 se muestra la línea serrada negra, que es una función cuadrática que muestra la aceleración media del aumento del nivel del mar.

Las observaciones muestran un aumento general del 26% en la acidez del océano desde el comienzo de la era industrial, siendo el coste ecológico para el océano muy alto, ya que los cambios en la acidez están vinculados a cambios en otros parámetros de la química del carbonato, en detrimento de la vida marina y los servicios oceánicos.

- **Disminución continua del hielo:** La tendencia a largo plazo durante el período 1979-2018 indica que la extensión del hielo marino del verano ártico⁷ ha disminuido, aproximadamente, un 12% por década, situándose en los últimos cinco años muy por debajo del promedio existente en el período 1981-2010. La cantidad de hielo perdido anualmente de la capa de hielo antártica aumentó al menos seis veces entre 1979 y 2017. La pérdida total de masa de la capa de hielo aumentó desde 40 Gigatonnes por año (Gt/año) en el período 1979-1990, a 252 Gt/año en el período 2009–2017, debido, en su mayoría a incursiones de agua proveniente de los océanos relativamente cálida.

⁷ El verano ártico es un indicador de las consecuencias de la alteración climatológica del planeta. Allí se amplifica el calentamiento de origen humano, es decir, hasta el 80% la radiación solar rebota en la superficie blanca del hielo. Pero si no hay hielo, esa radiación es absorbida por el agua marina, lo que redonda en un mayor calentamiento del planeta.

El nivel del mar en la Antártida aumentó, en promedio, desde, aproximadamente, 12,0 - 16,0 milímetros (mm), hasta 15,1 - 20,1 mm.

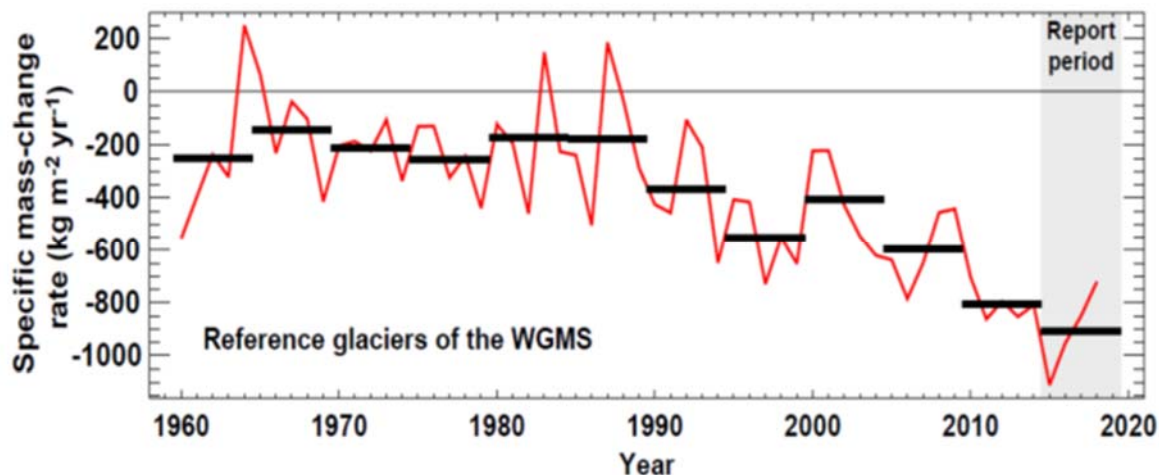


Figura 8: Series temporales promedio de la tasa de cambio de masa específica anual observada de todos los glaciares de referencia WGMS⁸, incluidos los promedios de cinco años.

Fuente: *World glacier monitoring service (WGMS)*.

Los resultados de estas series temporales son solo parcialmente representativos, ya que están sesgados a regiones accesibles como los Alpes europeos, Escandinavia y las Montañas Rocosas, aunque dan una información directa sobre la variación anual en el balance de masa de glaciares en estas regiones (ver figura 8). El aire caliente de la ola de calor existente en Europa en julio de 2019 llegó a

⁸ El Servicio Mundial de Monitorización de Glaciares o WGMS, *World glacier monitoring service*, en inglés, es un servicio internacional creado en el año 1986 para estudiar las fluctuaciones de los campos de hielo y masas de hielo continental de todo el mundo. Depende de la Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas (IACS) y de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UGG) y del Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP).

Groenlandia, aumentando la temperatura, con la fusión de la superficie de la isla a niveles de récord.

- **Intensas olas de calor e incendios forestales:** Las olas de calor fueron el mayor peligro meteorológico en el período 2015-2019, afectando a todos los continentes y estableciendo récords de temperatura.

Los incendios forestales de junio del 2019 en la región del Ártico emitieron 50 megatonnes (Mt) de dióxido de carbono a la atmósfera, más que el CO₂ emitido en el período completo comprendido entre 2010 y 2018 (ver figura 9).

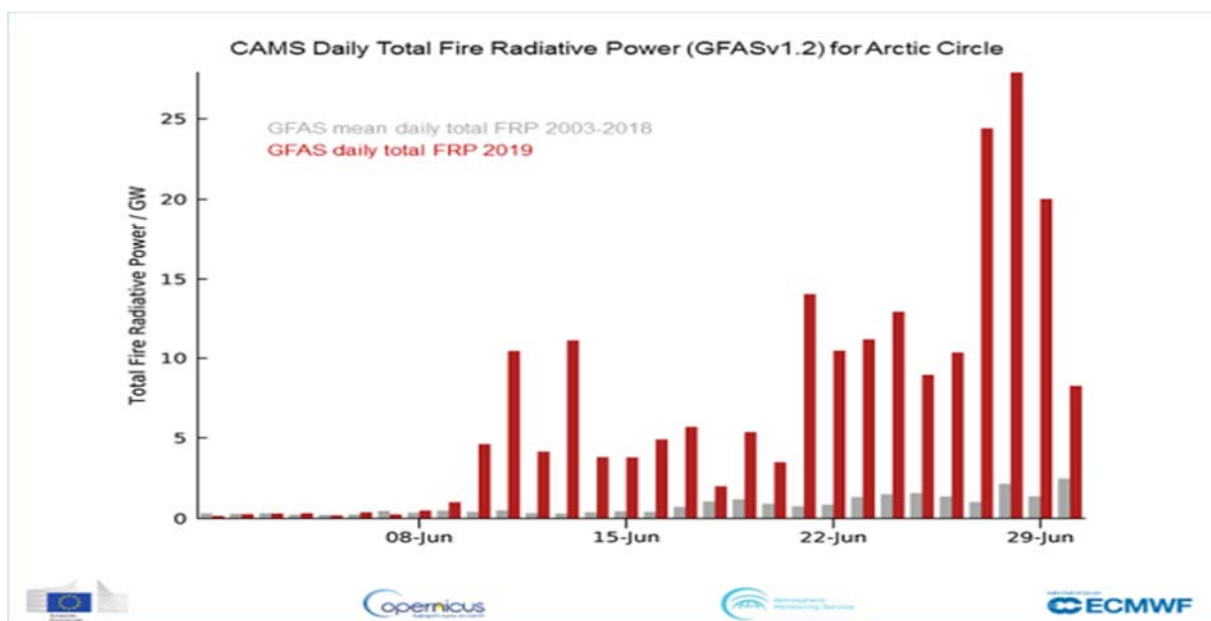


Figura 9: El poder radiactivo de los incendios en Gigavatios: una medida de la producción de calor de los incendios forestales que se muestra en junio de 2019, en rojo y el promedio de 2003-2018, en gris.

Fuente: Servicios de Monitoreo Atmosférico (CAMS) de Copernicus⁹.

⁹ El Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (CAMS) proporciona datos e información sobre la composición atmosférica de forma continua. Describe la situación actual, formula predicciones para los próximos días y analiza sistemáticamente registros de datos retrospectivos correspondientes a los últimos años, además, da soporte a numerosas aplicaciones en diversos ámbitos, como la salud, la vigilancia medioambiental, las energías renovables, la meteorología y la climatología. El CAMS se centra en cinco áreas principales: calidad del aire y composición de la atmósfera; capa de ozono y radiación ultravioleta; emisiones y flujos de superficie; radiación solar y forzamiento climático.

- **Pérdidas económicas asociadas a los ciclones tropicales:** El año 2018 fue especialmente activo, con un mayor número de ciclones tropicales que los acontecidos en cualquier otro año en el siglo XXI. Todas las cuencas del hemisferio norte experimentaron una actividad superior al promedio y el Pacífico nororiental registró su mayor valor de energía ciclónica acumulada¹⁰ (ECA).
Los ciclones tropicales del Océano Índico azotaron Mozambique en marzo y abril de 2019.
- **Aumento de la inseguridad alimenticia:** Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO¹¹), las sequías e inundaciones son un factor negativo relacionado con el hambre en el mundo, sobre todo en cuanto a la seguridad alimenticia y a la nutrición en el mundo (ver figura 10).

¹⁰ La Energía Ciclónica Acumulada (ECA) [en inglés: *Accumulated Cyclonic Energy (ACE)*] es un índice usado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por su sigla en inglés) para expresar la actividad de los ciclones tropicales, así como también la actividad de las temporadas de ciclones, especialmente las del océano Atlántico. La medida usa una aproximación de la energía empleada por un sistema tropical durante su vida y se calcula cada seis horas. La ECA de una temporada es la suma de la ECA de todos los ciclones de dicha temporada y toma en cuenta el número, la intensidad y duración de cada uno de ellos.

¹¹ La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o FAO (*Food and Agriculture Organization*, en inglés), es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre en el mundo.

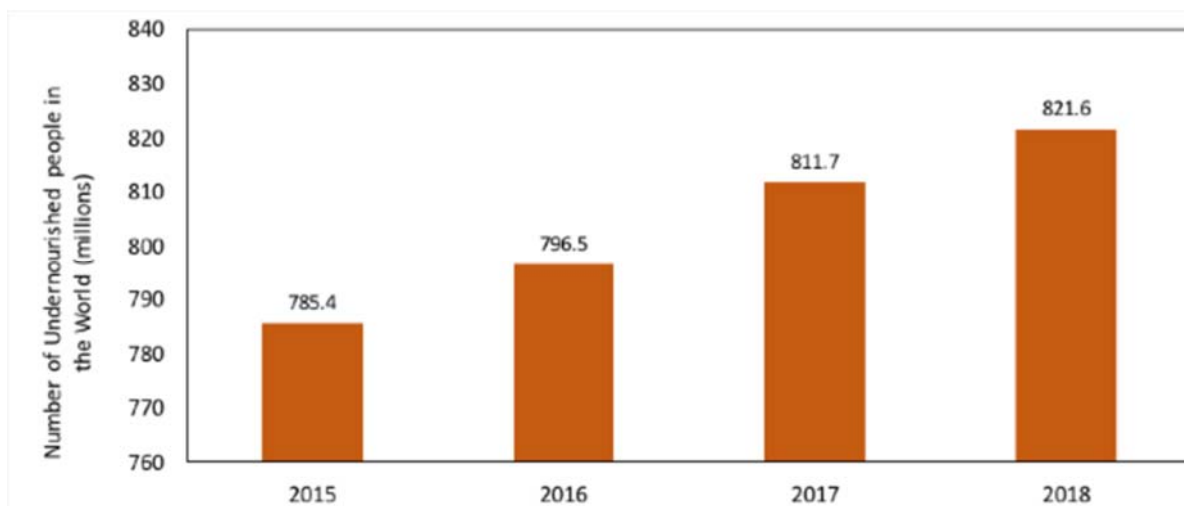


Figura 10: Número de personas desnutridas en el mundo, 2015-2018. Fuente: *Food and Agriculture Organization (FAO)*, *International Fund for Agricultural Development (IFAD)*¹², *United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF)*¹³ y Organización Mundial de la Salud (OMS)¹⁴, 2019.

- **Incremento de enfermedades y muertes relacionadas con el clima:** Según datos y análisis de la OMS, entre 2000 y 2016, se estimó un aumento de unos 125 millones de personas más expuestas a olas de calor. Siendo la duración de la exposición promedio por persona de 0,37 días más, en comparación con el período entre 1986 y 2008 (ver figura 11).

¹² El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola Internacional, IFAD (Fund for Agricultural Development, en inglés) es una agencia especializada de las Naciones Unidas cuyo objetivo es proporcionar fondos y movilizar recursos adicionales para promover el progreso económico de los habitantes en situación de pobreza de zonas rurales, mejorando la productividad agrícola.

¹³ El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia o Unicef (*United Nations International Children's Emergency Fund*, en inglés) es una agencia de la Organización de las Naciones que provee ayuda humanitaria y desarrollo a niños y madres en países subdesarrollados y en vías de desarrollo.

¹⁴ La Organización Mundial de la Salud (OMS) o (*World Health Organisation*, en inglés, WHO) es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención a nivel mundial en la salud

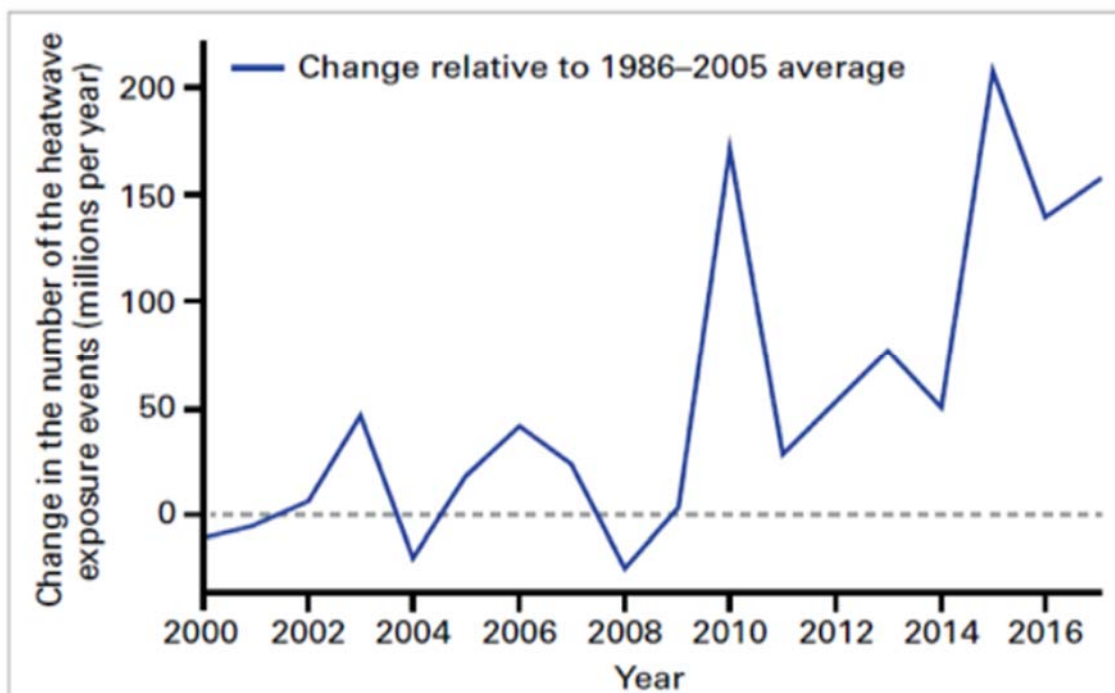


Figura 11: Cambio en el número de personas expuestas a las olas de calor en millones por año de 2000 a 2017, en relación con el promedio de 1986-2005.

Fuente: Watts et al., 2018. *The Lancet Regional Health*.

Los hechos estilizados anteriores están relacionados con las emisiones de CO₂ antropogénico proveniente en su mayoría de la quema de combustibles.

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA¹⁵) la quema de combustibles fósiles, junto a la producción de cemento liberan, aproximadamente, cerca del 90% de todas las emisiones de dióxido de carbono y el 70% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero procedente de la actividad humana.

¹⁵ La Agencia de Protección Ambiental, (*Environmental Protection Agency*, en inglés, EPA), es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente en el aire, agua y suelo.

Durante 2018 las emisiones de CO₂ crecieron, aproximadamente, en un 2%, con 37.000 millones de toneladas de dióxido de carbono, creciendo en la actualidad en más del 1% anual (ver figuras 12 y 13).

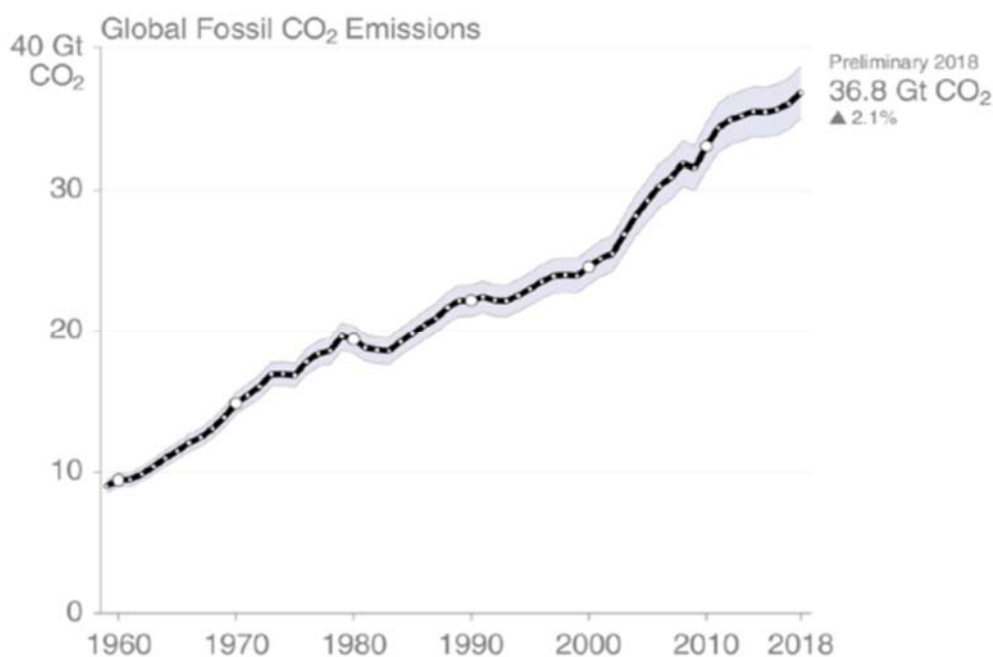


Figura 12: Emisiones mundiales de CO₂ de origen fósil en el período 1960-2018.

Fuente: *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC¹⁶)/Global Carbon Project (GCP¹⁷)/British Petroleum (BP¹⁸)/United States Geological Survey (USGS¹⁹).*

¹⁶ El Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*, en inglés, CDIAC) fue una organización dentro del Departamento de Energía de los Estados Unidos cuya responsabilidad principal era proporcionar al gobierno de los Estados Unidos y a la comunidad de investigación datos y análisis sobre el calentamiento global referidos a cuestiones energéticas. El CDIAC, y su subsidiaria *World Data Center for Atmospheric Trace Gases* se enfocaron en obtener, evaluar y distribuir datos relacionados con el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.

¹⁷ El Proyecto Global de Carbono (GCP, *Global Carbon Project*, en inglés) integra el conocimiento de los gases de efecto invernadero para las actividades humanas y el sistema de la Tierra, incluyendo presupuestos globales para los tres gases de efecto invernadero dominantes: dióxido de carbono, metano y óxido nítrico, así como esfuerzos complementarios en emisiones.

¹⁸ BP plc (*public limited companies*), anteriormente *British Petroleum*, es una compañía de energía, dedicada principalmente al petróleo y al gas natural.

¹⁹ El Servicio Geológico de los Estados Unidos, (USGS, *United States Geological Survey*, en inglés) es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan.

Las emisiones de la combustión de carbón, de petróleo y de gas, así como de cemento, a día de hoy continúan creciendo rápidamente.

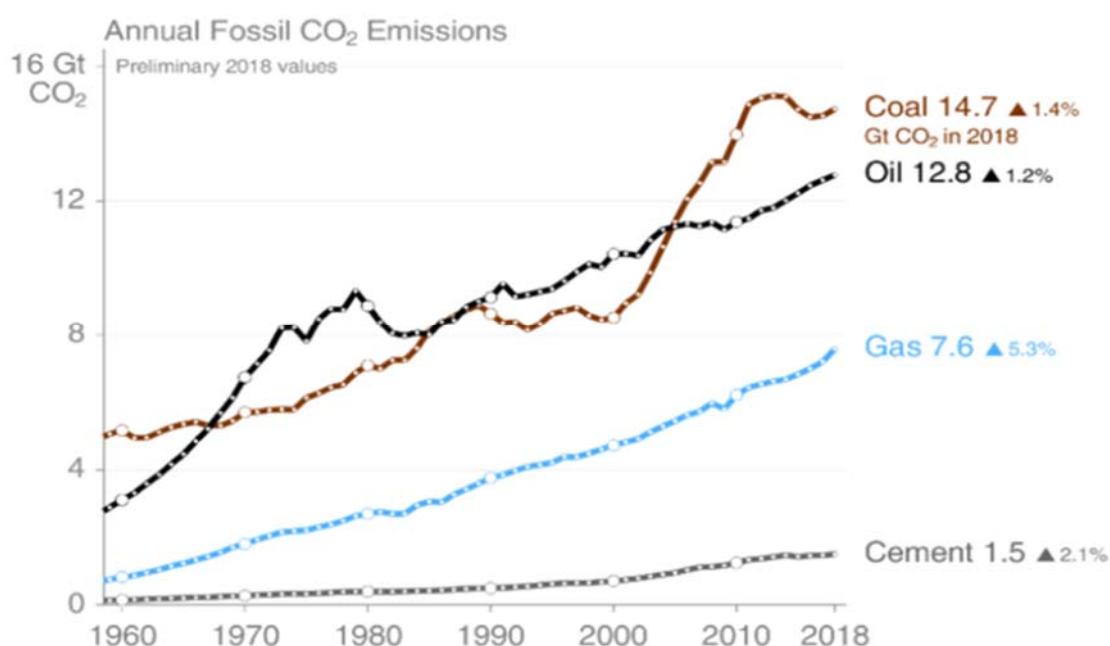


Figura 13: Emisiones anuales de CO₂ de origen fósil en el período 1960-2018. Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC²⁰)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).

A pesar de la tendencia al alza en el mundo, las emisiones de los Estados Unidos y la Unión Europea han disminuido en la última década, y las emisiones de China ha disminuido significativamente en comparación con la década del 2000 (ver figura 14).

²⁰ La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*, en inglés) es el principal instrumento jurídico de respuesta internacional ante el reto del cambio climático. Persigue estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para así impedir perturbaciones peligrosas de carácter antropogénico en el sistema climático.

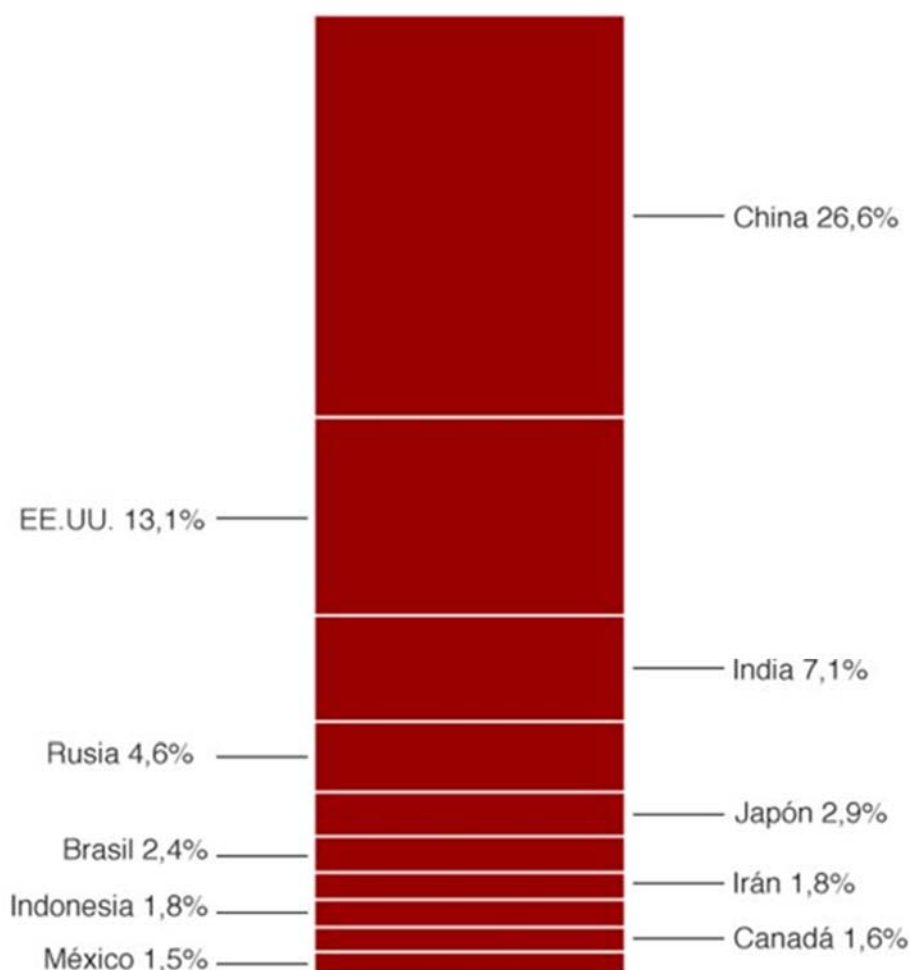


Figura 14: Países emisores de gases de efecto invernadero que suman el 60 % del total de emisiones mundiales.

Fuente: *Joint Research Centre (JRC²¹)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL²²).*

Las emisiones en India están creciendo fuertemente a un ritmo anual superior al 5%, y más de un centenar de países, principalmente en desarrollo, son responsables del 40% restante

²¹ El Centro Común de Investigación (JRC, *Joint Research Centre*, en inglés) es una Dirección General de la Comisión Europea, encargada de proporcionar asesoramiento científico y técnico a la Comisión Europea y a los estados miembros de la Unión Europea en apoyo a sus políticas.

²² La Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (PBL, *Netherlands Environmental Assessment Agency*, en inglés) es el instituto nacional para el análisis de políticas estratégicas en los campos del medio ambiente, la naturaleza y la planificación espacial.

de las emisiones, que continúan creciendo fuertemente (ver figura 15).

La eficiencia energética y la producción de energía renovable han ayudado a la disminución de las emisiones per cápita en la mayoría de los países desarrollados.

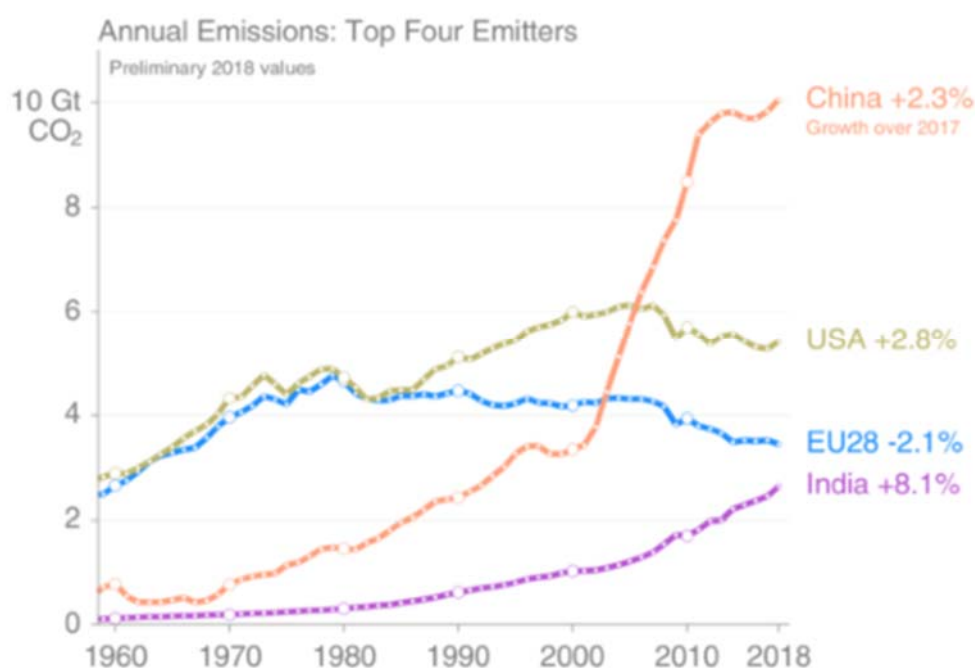


Figura 15: Emisiones anuales: cuatro principales emisores.

Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).

Aunque en la actualidad va creciendo el uso de las energías renovables, el sistema energético mundial sigue dominado por las fuentes de combustibles fósiles, siendo el aumento anual en el uso de energía fósil mayor que el aumento en la energía renovable, lo que significa que el uso de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂ continúan creciendo (ver Figura 16).

Para llegar a unas emisiones cero que pudieran estabilizar el clima, se requieren tecnologías de tratamientos de residuos y emisiones de los combustibles fósiles tales como la captura y el almacenamiento de carbono. Por otro lado, el uso de gas natural está creciendo más del 2% por año desde 2013, y, a pesar de ser el más limpio de los combustibles fósiles, sigue siendo un importante contribuyente al crecimiento mundial de las emisiones de CO₂ y las fugas contribuyen al crecimiento de las emisiones de metano (CH₄).

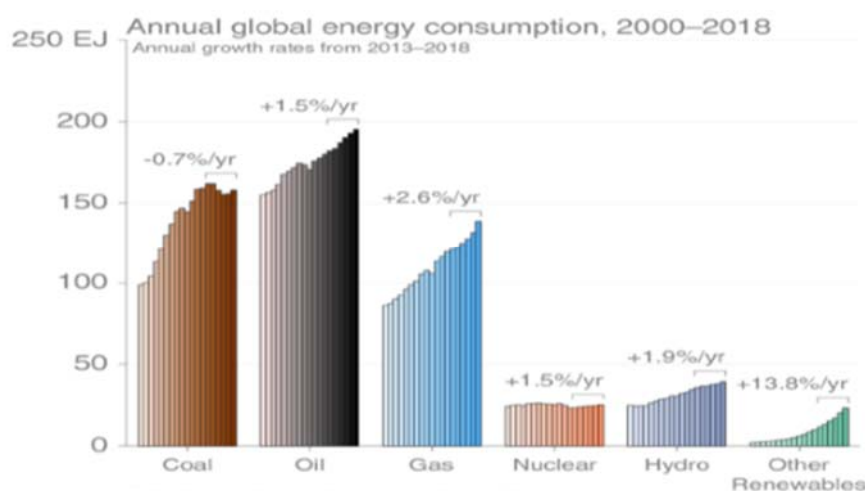


Figura 16: Consumo mundial anual de energía, 2000-2018.

Fuente: *British Petroleum (BP)*.

La figura 17 muestra la contribución histórica a las emisiones de CO₂ de las diferentes fuentes y sumideros²³ en partes por millón²⁴ (ppm).

²³ Un sumidero de carbono o de CO₂ es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO₂ del aire. Los principales sumideros eran los procesos biológicos de producción de carbón, petróleo, gas natural, los hidratos de metano y las rocas calizas. Hoy día son los océanos, y ciertos medios vegetales como bosques en formación.

²⁴ ppm es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del

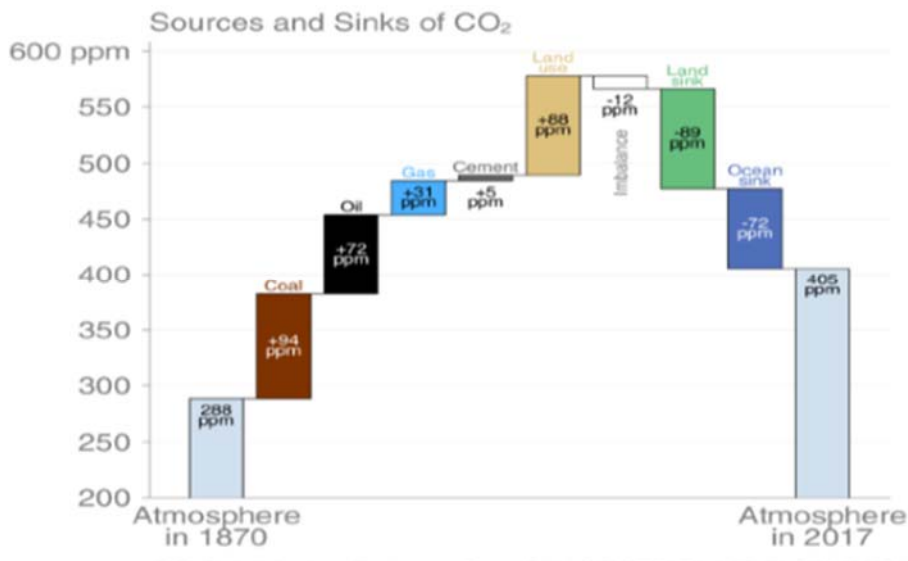


Figura 17: Fuentes y sumideros de CO₂.

Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/Global Carbon Project (GCP)/National Oceanic and Atmospheric Administration-Earth System Research Laboratories (NOAA-ESRL²⁵)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNGCC)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).

Los sumideros naturales de CO₂, como la vegetación y los océanos, eliminan aproximadamente la mitad de todas las emisiones de las actividades humanas, siendo muy recomendable la reforestación de los bosques y la ampliación de los sumideros naturales de CO₂, restaurando los hábitats más favorables.

conjunto. Si se mide la concentración de los contaminantes del aire, se refiere a partes de vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado.

²⁵ El Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (ESRL, *Earth System Research Laboratory*, en inglés) es un laboratorio en la Oficina de Investigación Oceánica y Atmosférica de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Oceanic and Atmospheric Research*, en inglés).

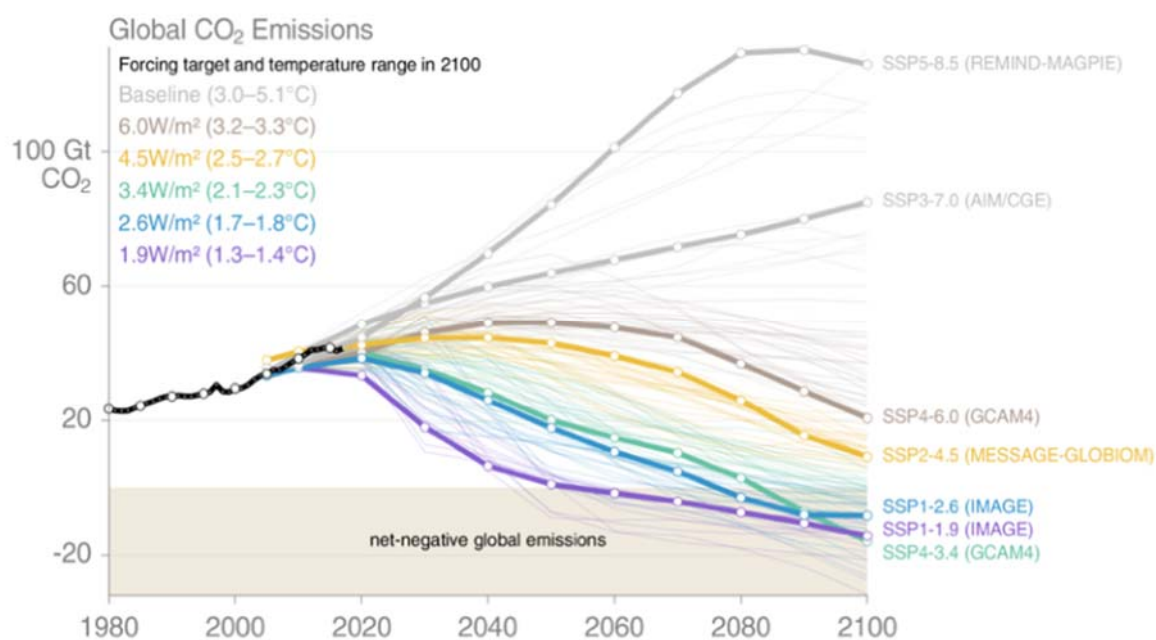


Figura 18: Emisiones globales de CO₂.

Fuente: Riahi et al. (2017), Rogelj et al. (2018), *Shared Socioeconomic Pathways*, (SSP) Database²⁶ (versión 2).

En general, si las tendencias actuales de CO₂ y otras emisiones de gases de efecto invernadero continúan durante la próxima década, es probable que la temperatura global promedio de la Tierra se caliente por encima de los objetivos climáticos firmados en el Acuerdo de París, por lo que sería necesaria una acción inmediata y sostenida para reducir las emisiones de combustibles fósiles.

²⁶ La base de datos SSP tiene como objetivo la documentación de proyecciones cuantitativas de las denominadas Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP, *Shared Socioeconomic Pathways*, en inglés) y escenarios de Evaluación Integrada relacionados, siendo parte de un nuevo marco que la comunidad de investigación del cambio climático ha adoptado para facilitar el análisis integrado de futuros impactos climáticos, vulnerabilidades, adaptación y mitigación.

Las tendencias observadas (ver Figura 18) debidas a las emisiones globales de dióxido de carbono se relacionan a continuación:

- **Las concentraciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) continúan su tendencia al alza:** Los niveles de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) podrían superar 410 partes por millón (ppm) a partir del 2020.

Un análisis global realizado en el año 2017 de los tres GEI principales mostró que las concentraciones atmosféricas promedio de CO₂ estuvieron comprendidas entre 405,5 y 405,7 partes por millón (ppm); las concentraciones atmosféricas promedio de CH₄ estuvieron comprendidas entre 1.857,0 y 1.861,0 partes por billón²⁷ (ppb) y las concentraciones atmosféricas promedio de N₂O estuvieron comprendidas entre 329,8 y 330,0 ppb, constituyendo, respectivamente, el 146% para el CO₂, el 257% para el CH₄ y el 122% para el N₂O, de los niveles preindustriales, es decir, anteriores a 1850.

El CO₂ es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante en la atmósfera y contribuye alrededor del 66% de la fuerza radiante de los gases de efecto invernadero de larga

²⁷ ppb, partes por mil millones (ppb del inglés *parts per billion*) es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada mil millones de unidades del conjunto. Es de uso relativamente frecuente en la medida de la concentración de compuestos químicos muy diluidos, así como de sustancias que se encuentran a nivel de trazas, como las impurezas o los contaminantes.

duración. Esta fuerza radiante se incrementó en un 82% en la última década, especialmente en los últimos cinco años.

Los niveles de concentración de CO₂ atmosférico representan el equilibrio entre las emisiones a la atmósfera y los sumideros en los océanos y la biosfera terrestre (ver Figura 19).

Por otro lado, el metano (CH₄) contribuye con, aproximadamente, el 17% de la fuerza radiante de los gases de efecto invernadero de larga duración, de donde el 40% del metano es emitido a la atmósfera por fuentes naturales y alrededor del 60% es proveniente de fuentes antropogénicas.

El metano promedio global calculado a partir de observaciones in situ en 2017 fue de 7 partes por billón (ppb) más alto con respecto al año anterior.

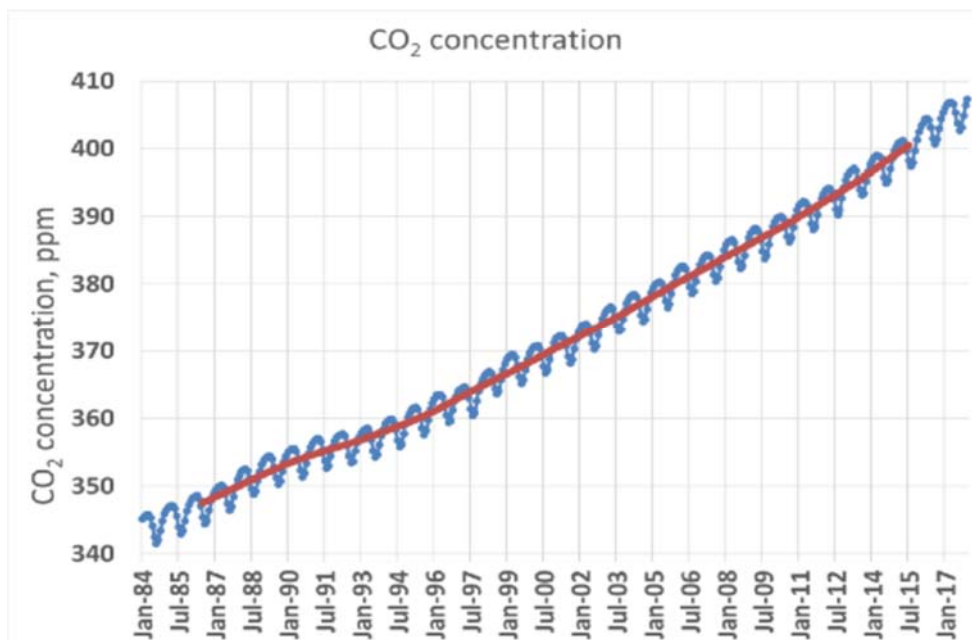


Figura 19: Promedio global de fracción molar²⁸ de CO₂ (ppm) de 1984 a 2017. Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW²⁹)*

Por otro lado, el aumento anual promedio de CH₄ disminuyó desde 12 ppb/año a finales de los años 80 hasta casi situarse en nulo durante el período 1999–2006, para volver a aumentar desde el 2007 (ver figura 20).

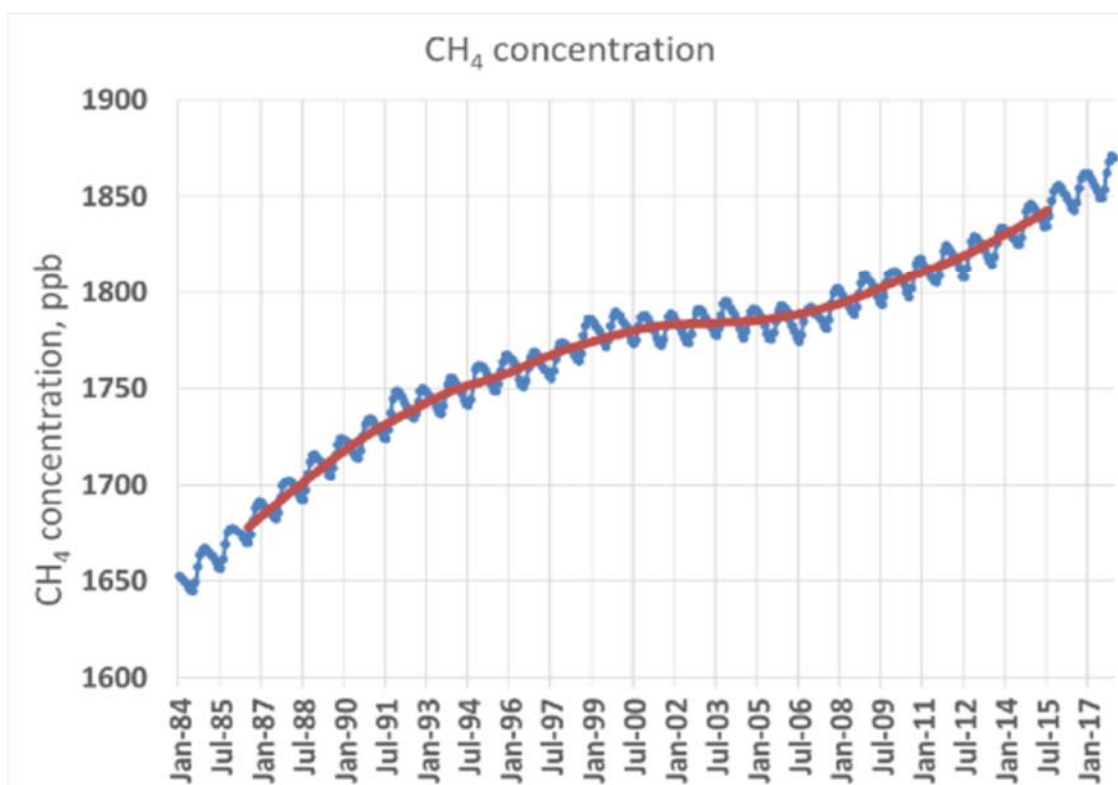


Figura 20: Promedio global de fracción molar de CH₄ (ppb) de 1984 a 2017. Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW)*.

El óxido nítrico contribuye con, aproximadamente, el 6% de la fuerza radiante de los GEI de larga duración, emitiéndose a la atmósfera en un 60% desde fuentes naturales y en un 40%

²⁸ La fracción molar es una unidad química que se usa para expresar la concentración de un soluto en una disolución.

²⁹ La Vigilancia Atmosférica Global (GAW, *Global Atmosphere Watch*, en inglés) es un sistema mundial establecido por la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, para monitorear las tendencias en la atmósfera de la Tierra.

desde fuentes antropogénicas, incluidos los océanos, los suelos, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes y diversos procesos industriales, siendo la fracción molar de N_2O promediada a nivel mundial en 2017 de 0,9 ppb por encima del año anterior (ver figura 21).

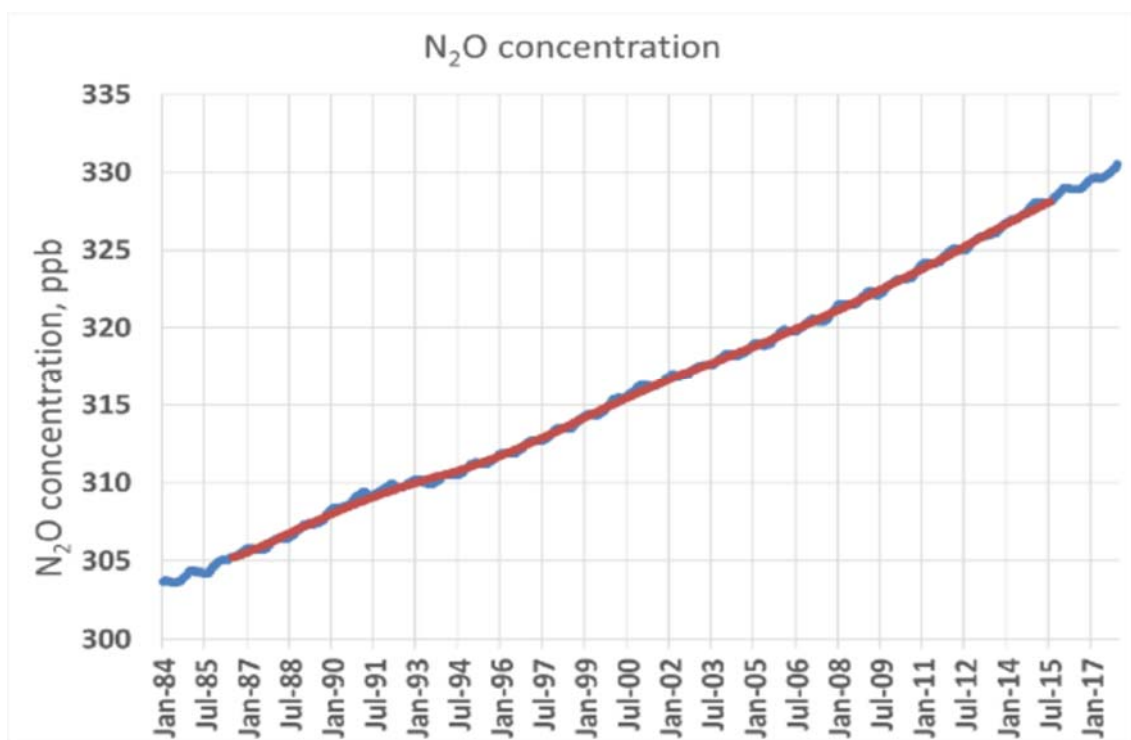
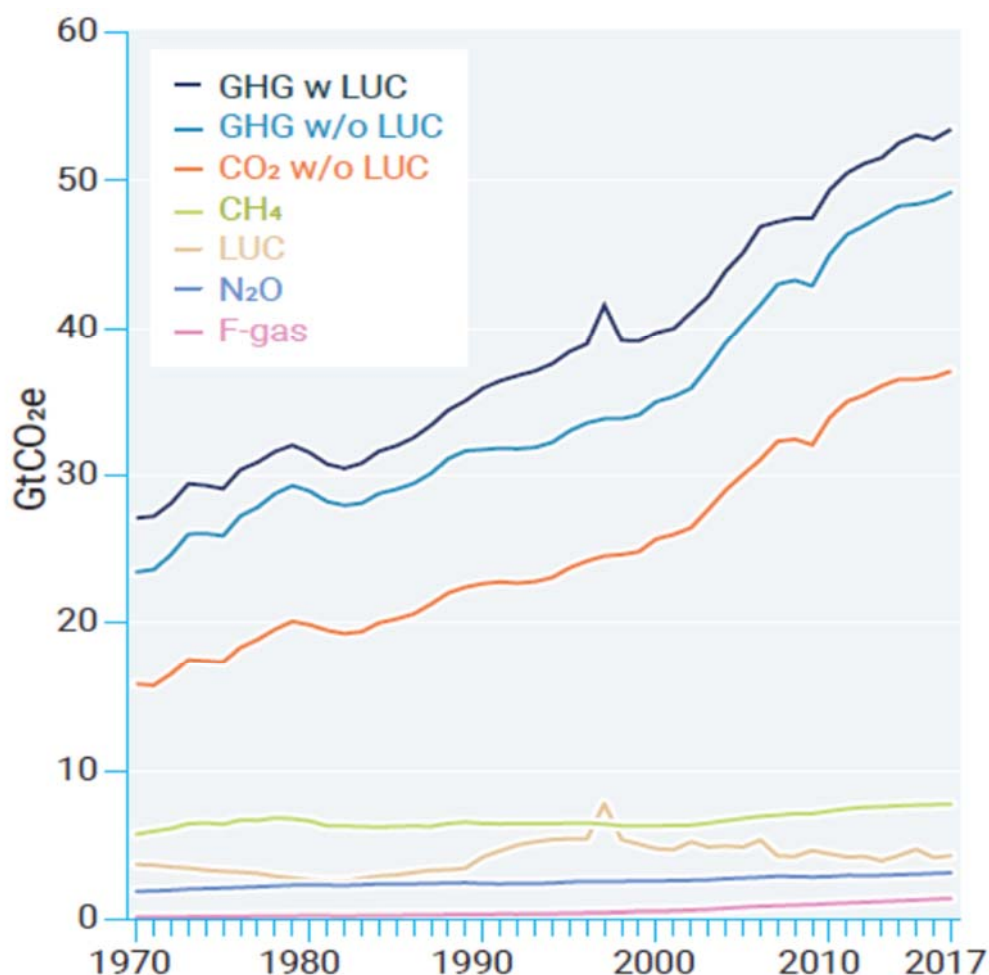


Figura 21: Promedio global de fracción molar de N_2O (ppb) de 1984 a 2017. Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW)*

- **Las emisiones globales no muestran signos de pico:** Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han crecido a una tasa del 1,6 % anual entre 2008 y 2017, alcanzando un récord de 53,5 Gigatoneladas de CO_2

equivalente³⁰ (GtCO_{2e}) en 2017, incluidas las emisiones derivadas del cambio en el uso del suelo.

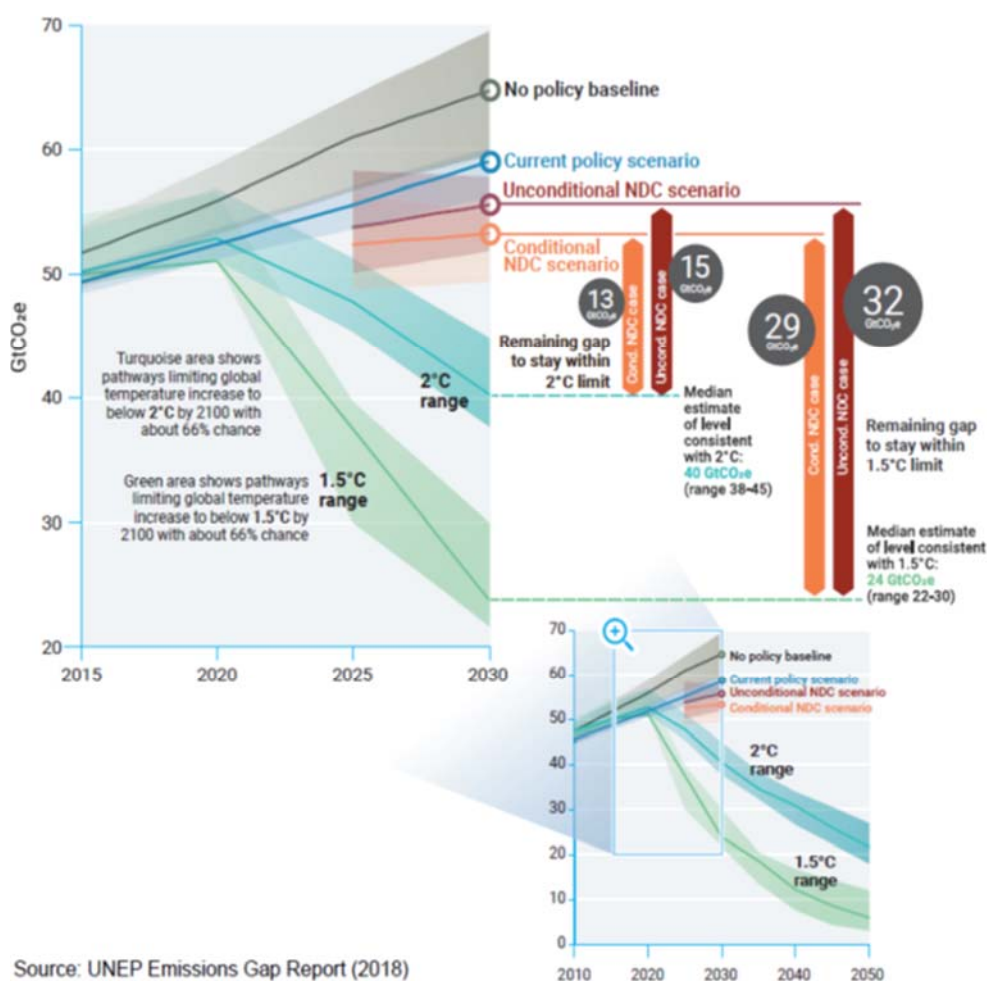
Los resultados preliminares del Informe 2019 sobre la brecha de emisiones indicaron que las emisiones continuaron aumentando en 2018, por lo que se estimó que las emisiones globales no alcancen su punto máximo para 2030 (ver figura 22).



³⁰El equivalente de CO₂ o equivalente de dióxido de carbono (CO₂eq o *Carbon Dioxide Equivalent*, en inglés), es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre dado a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono son convertidos a su valor de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global. Así, un kilo de CO₂ pesa 0,2727 Kg de equivalente carbono, esta referencia sirve para medir sólo el peso del carbono en el CO₂.

Figura 22: Emisiones globales de gases de efecto invernadero por tipo de gas. Fuente: UNEP³¹ *Emissions Gap Report*³² (2018).

- **La brecha de emisiones es más grande que nunca:** La brecha de emisiones para 2030 se prevé estará entre 13 GtCO_{2e} y 15 GtCO_{2e} para un objetivo de disminución de 2 °C, y entre 29 GtCO_{2e} y 32 GtCO_{2e} para un objetivo de disminución de 1,5 °C (ver figura 23).



³¹ El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (UNEP, *United Nations Environment Programme*, en inglés), es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas -ONU- que coordina sus actividades ambientales, ayudando a los países en desarrollar y aplicar políticas y prácticas ecológicamente racionales.

³² Los informes sobre la brecha de emisiones (*Emissions Gap Report*) son evaluaciones anuales basadas en la ciencia de la brecha existente entre las promesas de los países sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones necesarias para lograr un aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C como finalidad en este siglo.

Figura 23: La brecha de emisiones en 2030.

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2018).

Se estima que las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional³³ (NDC) actuales disminuirán las emisiones globales en, aproximadamente, hasta 6 GtCO_{2e} para el 2030 en comparación con la continuación de las políticas actuales. Este nivel debe triplicarse para alinearse con el objetivo de 2°C y quintuplicarse para alinearse con el objetivo de 1,5 °C.

Técnicamente, todavía es posible cerrar la brecha en 2030, International Energy Agency (2003), para garantizar que el calentamiento global se mantenga por debajo de 2 °C y 1,5 °C.

El potencial de reducción de emisiones sectoriales en 2030 se estima entre 30 y 40 GtCO_{2e} (ver figura 24).

³³ Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, *Nationally Determined Contributions*, en inglés) son reducciones previstas de las emisiones de gases de efecto invernadero en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

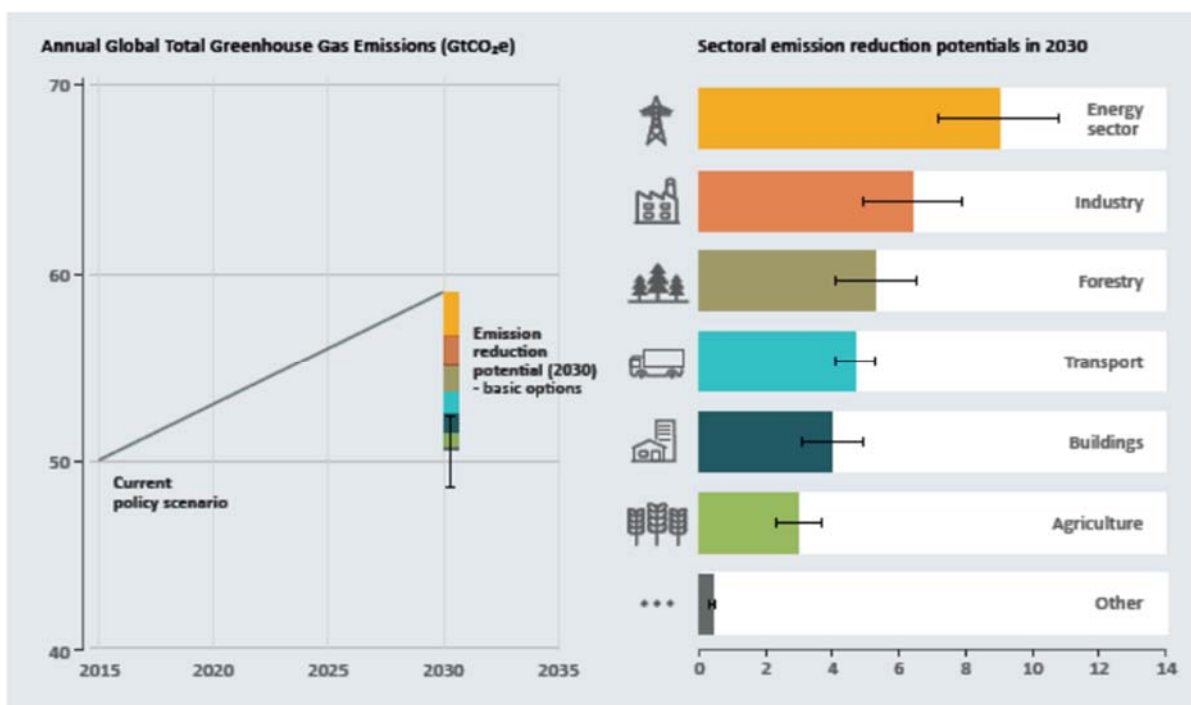


Figura 24: Potenciales básicos de reducción de emisiones totales en comparación con el escenario de política actual para 2030.

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

- **Medidas de reducción estudiadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA³⁴) para cerrar la brecha de emisiones para 2030:** Las medidas para reducir la brecha de emisiones de cara al 2030 afectan a los siguientes puntos:

³⁴ El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (UNEP, *United Nations Environment Programme*, en inglés), es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas que coordina sus actividades ambientales, ayudando a los países en desarrollar y aplicar políticas y prácticas ecológicamente racionales.

a) Energía solar y eólica: Los aspectos principales a considerar serán los siguientes:

- Tarifas de alimentación.
- Subastas.
- Costes de electricidad competitivos.

b) Electrodomésticos y turismos de bajo consumo: Los aspectos principales a considerar serán los que se indican a continuación:

- Estándares mínimos de rendimiento energético³⁵ (MEPS).
- Etiquetas.
- Normas de ahorro de combustible.
- Normas de emisiones de CO₂.

c) Reforestación y reducción de la deforestación: Los aspectos principales a considerar serán:

- Planificación del uso del suelo.
- Producción sostenible.
- Monitoreo y verificación.

El uso de la fijación de precios del carbono incluido impuestos específicos a la energía, para reducir las emisiones de gases de

³⁵ Un estándar de rendimiento energético mínimo (MEPS, *minimum energy performance standards*, en inglés) es una especificación, que contiene una serie de requisitos de rendimiento para un dispositivo que utiliza energía, que limita efectivamente la cantidad máxima de energía que puede consumir un producto al realizar una tarea específica.

efecto invernadero, en general no se aplica a un nivel suficiente para facilitar un cambio real hacia sociedades con bajas emisiones de carbono, estimándose que solo el 10 % de las emisiones globales de los combustibles fósiles tienen un precio consistente que limita el calentamiento global a 2 °C (ver figura 25).

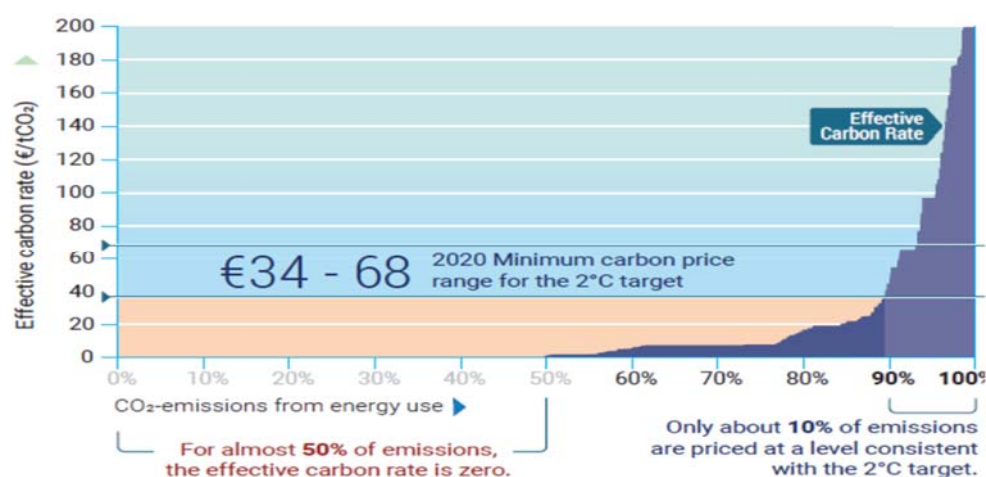


Figura 25: Tasas de carbono efectivas sobre el uso de energía en 42 países de la OCDE³⁶ y del G20³⁷ y el rango mínimo de precios de carbono necesario en 2020 para el objetivo de 2 °C.

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

Si se eliminaran gradualmente todos los subsidios a los combustibles fósiles, se provocaría una reducción de las emisiones globales de carbono de hasta, aproximadamente, un 10 % para 2030.

A escala mundial, el stock de centrales eléctricas de carbón sigue aumentando, al igual que las emisiones de carbono. Las

³⁶ La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), (OECD, *Organisation for Economic Co-operation and Development*, en inglés; (OCDE, *Organisation de Coopération et de Développement Économiques*, en francés) es un organismo de cooperación internacional, compuesto por 37 estados,³⁴ cuyo objetivo es promover políticas que favorezcan la prosperidad, la igualdad, las oportunidades y el bienestar para todas las personas.

³⁷ El Grupo de los 20 (G-20) es un foro internacional de gobernantes y presidentes de bancos centrales, con el objeto de discutir sobre políticas relacionadas con la promoción de la estabilidad financiera internacional, siendo el principal espacio de deliberación política y económica del mundo.

existencias, en combinación con lo que está actualmente planificado y en construcción (ver figura 26), representan una parte significativa del presupuesto de carbono disponible para un objetivo de 2 °C, haciendo inviable un objetivo de 1,5 °C, siendo necesario evitar un mayor bloqueo y facilitar una transición equilibrada del carbón para la producción de energía.

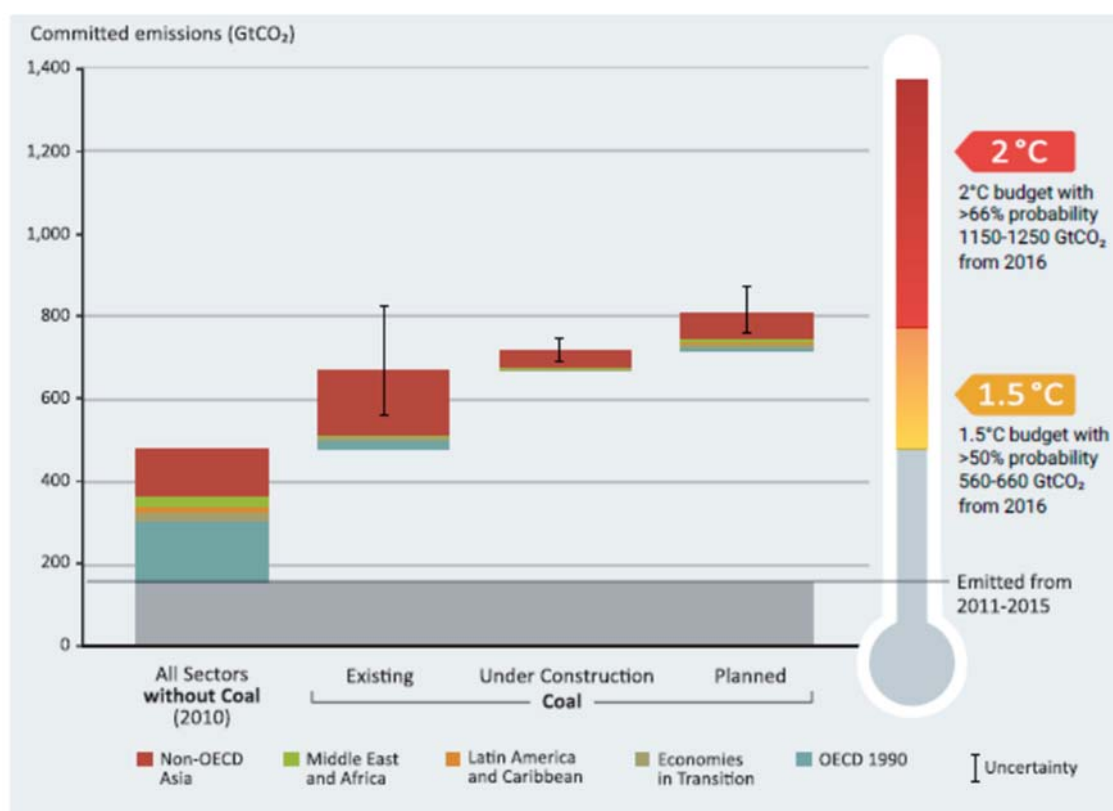


Figura 26: Emisiones comprometidas con la atmósfera de las centrales eléctricas de carbón existentes, en construcción y planificadas, y otros sectores económicos, por región.

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

El aumento del nivel del mar y la acidificación de los océanos son otros indicadores importantes del cambio climático, y ambos se están acelerando con consecuencias importantes para comunidades y hábitats costeros. La tasa de aumento del nivel del mar durante el período 2007-2016 fue de, aproximadamente,

4 mm/año, muy por encima de la tendencia a largo plazo de 3 mm/año.

El uso humano de la tierra afecta directamente a más del 70 % de la superficie terrestre libre de hielo terrestre y, aproximadamente, el 23 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero entre 2007 y 2016 se originan en la agricultura, silvicultura y otras actividades de uso de la tierra.

Los procesos clave que actualmente mantienen el clima estable se están debilitando, arriesgando por el establecimiento de circuitos de retroalimentación, como la pérdida de hielo marino del Ártico o la muerte forestal, que podrían obstaculizar los esfuerzos para estabilizar el clima, incluso a medida que se reducen las emisiones.

La estabilidad del sistema de la Tierra está influenciada por las retroalimentaciones entre el sistema climático y los procesos de regulación del carbono, como los suelos congelados en el permafrost³⁸ o la absorción de carbono por parte de los bosques.

Hay una creciente comprensión de la relación entre estos procesos de retroalimentación del carbono en la biosfera y la estabilización del sistema climático.

Esos procesos están perdiendo fuerza, aumentando el riesgo de que los mecanismos de autoreforzo se vuelvan relevantes y contrarresten los esfuerzos para mitigar el calentamiento global, como ocurre con la reducción de la capacidad de retención de

³⁸ El permafrost es la capa de suelo permanentemente congelado, pero no permanentemente cubierto de hielo o nieve, de las regiones muy frías o periglaciares, como la tundra.

carbono de la tierra y suelos en los trópicos, o la liberación de CO₂ y metano a partir de la descongelación de los suelos de permafrost.

Una buena mayoría de científicos están de acuerdo en que realmente no solo necesitamos mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2 °C, sino por debajo de los 1,5 °C.

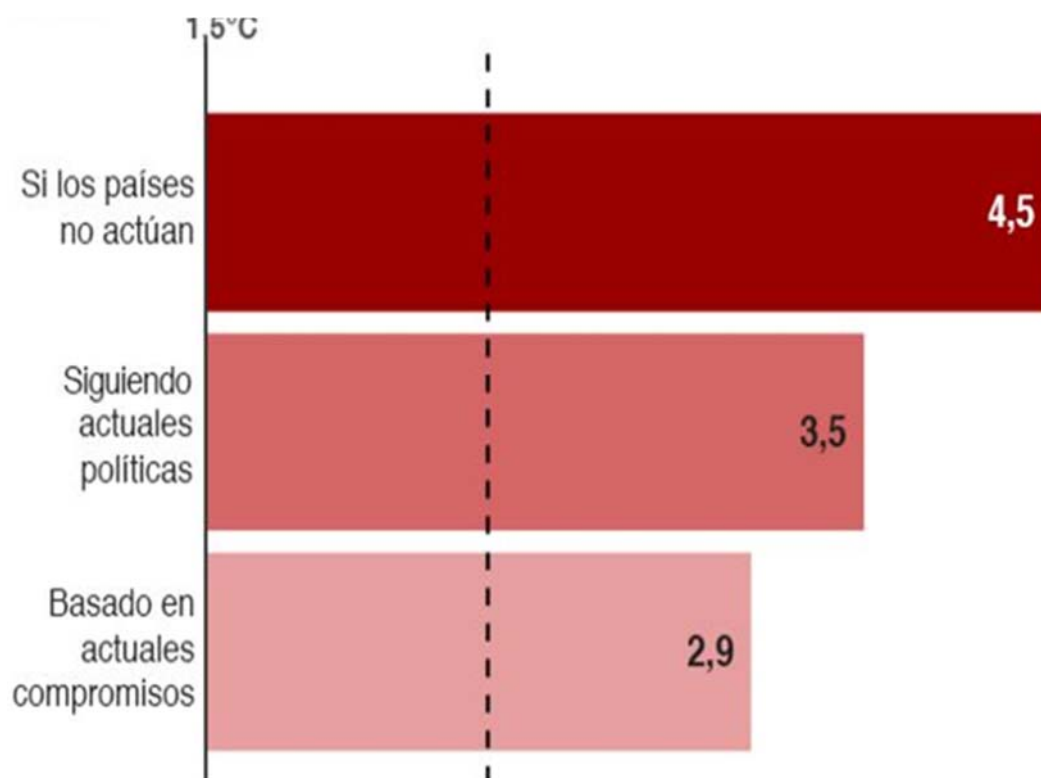


Figura 27: Promedio de calentamiento proyectado para el año 2100 (°C).

Fuente: *Climate Action Tracker*³⁹ CAT (2018).

³⁹ El *Climate Action Tracker* (Rastreador de Acción Climática) es sitio web donde se realiza un análisis científico independiente que rastrea la acción climática del gobierno y la mide en contra del objetivo del Acuerdo de París acordado a nivel mundial de "mantener el calentamiento muy por debajo de 2 °C y realizar esfuerzos para limitar el calentamiento a 1,5 °C".

Hay un reconocimiento cada vez mayor de que los impactos climáticos están golpeando con más fuerza y además con adelanto a los tiempos que se indicaron en evaluaciones climáticas de hace una década.

A medida que se intensifica el calentamiento global (ver figura 27), las ciudades son particularmente vulnerables a los impactos como el estrés por calor y pueden desempeñar un papel clave en la reducción de emisiones a nivel local y global.

Las olas de calor ahora plantean un desafío recurrente en todos los continentes habitados y generan una gama cada vez mayor de amenazas para la vida humana y el bienestar, particularmente en ciudades donde los entornos construidos aumentan la exposición al calor.

Esto es importante porque se espera que cerca del 70 % de la población mundial viva en ciudades para 2050 y se exponga a un calor extremo si no se toman medidas para modificar los entornos urbanos. Un estudio de las 1.692 ciudades más pobladas del mundo encontró que, aproximadamente, el 60 % de la población urbana ya ha experimentado un calentamiento dos veces mayor que durante el período 1950-2015.

Como las ciudades consumen alrededor del 78 % de la energía mundial y producen más del 60 % de todas las emisiones de CO₂, sus acciones son fundamentales para minimizar el aumento de la temperatura media global. En particular, los cambios hacia energías más limpias no solo reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también

reducirán la contaminación del aire y los efectos del calor dentro de las ciudades.

La descarbonización profunda implementada con medidas como, la protección y la mejora de los sumideros de carbono y la biodiversidad, así como los esfuerzos para eliminar el CO₂ de la atmósfera, permitirían cumplir con el Acuerdo de París⁴⁰.

Las posibles soluciones propuestas por la UNEP son:

1) Descarbonización profunda: Las vías para limitar el calentamiento global a 1,5 °C requieren reducir a la mitad las emisiones globales cada década a partir de 2020 y respetar un presupuesto global de carbono de alrededor de entre 420 y 570 mil millones de toneladas de CO₂ neto total emitido a la atmósfera.

Tal descarbonización profunda requiere grandes transformaciones en todos los sistemas sociotécnicos de la sociedad, comenzando con los sectores de la energía, del transporte y de los alimentos como primeros adoptadores fundamentales.

En el sector de la energía, las innovaciones sociales y tecnológicas, junto con fuertes estándares de eficiencia, pueden reducir la demanda de energía sin comprometer los estándares de vida globales, especialmente porque ya existen

⁴⁰ El Acuerdo de París es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global.

sustituciones tecnológicas disponibles para más del 70 % de las emisiones actuales (Ver Figura 28).

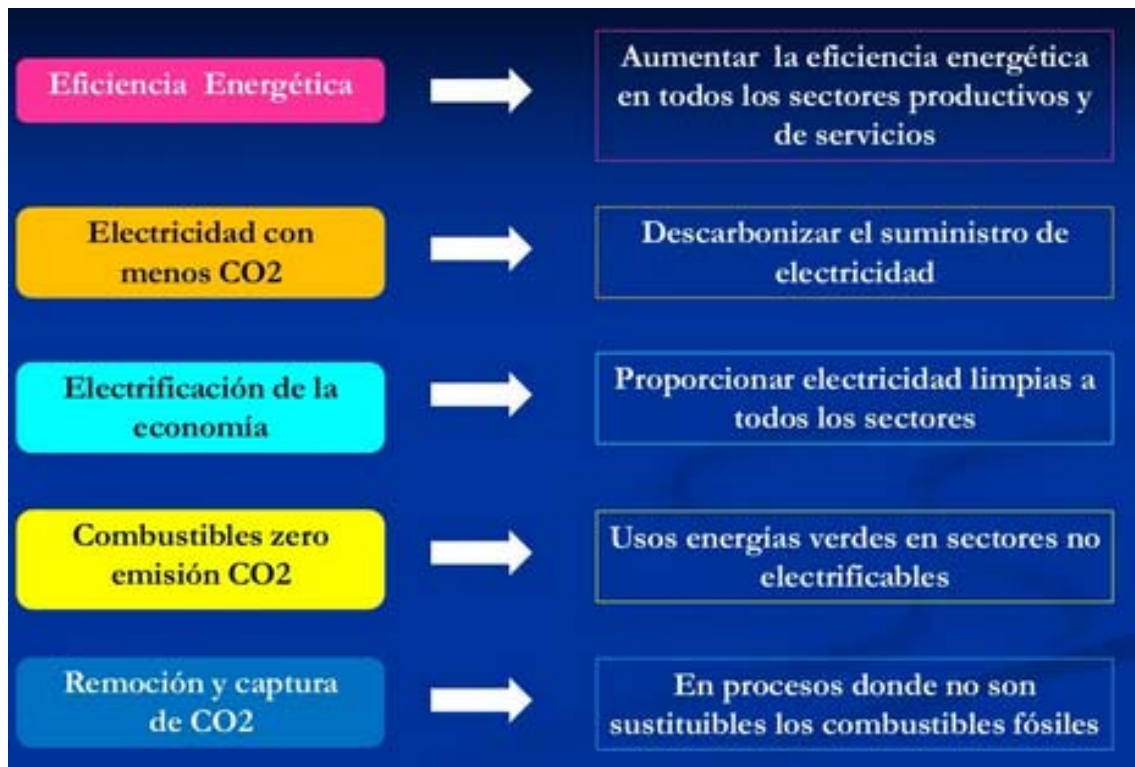


Figura 28: Elementos para alcanzar una descarbonización profunda.

Fuente: Aspeninstitute.

En el sector alimentario, una nueva investigación confirma que una transformación global a dietas más saludables, donde se incluye el consumo reducido de carne y un sistema de producción de alimentos más sostenible es fundamental para lograr el Acuerdo de París, pudiendo evitar hasta 11 millones de muertes por año.

2) Medidas políticas: Las medidas políticas más fuertes y diversas para la descarbonización rápida son elementos

esenciales de la política climática para lograr el Acuerdo de París:

- **Reformas fiscales:** Tanto las reformas tributarias como los sistemas de comercio de emisiones (RCDE UE⁴¹) pueden ser elementos de la transformación necesaria hacia un precio único e intersectorial del carbono, junto con una eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles. Para lograr la aceptabilidad social, las reformas fiscales deberán considerar el equilibrio social y beneficiar a los hogares de bajos ingresos.
- **Instrumentos de políticas sectoriales:** Las nuevas normas y prácticas, incentivos, moratorias en los sectores del tráfico, la construcción y la energía pueden paliar los fallos de mercado e inclinar el desarrollo hacia una senda sostenible.

3) Protección y mejora de los sumideros de carbono y de la biodiversidad: La protección de los sumideros de carbono y la biodiversidad existentes es posible a través de soluciones naturales que promueven la restauración de tierras forestales degradadas a escala mundial y mejores acciones de gestión de la tierra. Dichas acciones podrían proporcionar más de un

⁴¹ El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE), (ETS, *Emissions Trading System*, en inglés), constituye un hito de la política europea de lucha contra el cambio climático y su herramienta principal para reducir de forma rentable las emisiones de gases de efecto invernadero. Este régimen es el principal mercado de carbono del mundo y el de mayor tamaño.

tercio de la mitigación climática necesaria entre ahora y 2030 para estabilizar el calentamiento a menos de 2 °C.

En términos generales, un sumidero de carbono, sumidero de CO₂ o reductor de carbono es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad del dióxido de carbono del aire. Los principales sumideros son los procesos biológicos de producción de carbón, petróleo, gas natural, los hidratos de metano y las rocas calizas, los océanos, y bosques en formación.

El secuestro de carbono es el proceso de extracción del carbono o del CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en un depósito ad hoc.

La fotosíntesis es el principal mecanismo de secuestro de carbono. Las bacterias fotosintéticas, las plantas y la cadena alimentaria, son consideradas como sumideros de carbono.

El concepto de sumidero de carbono se ha difundido con el Protocolo de Kioto, creado para reducir la elevada y creciente concentración de CO₂ del aire para paliar el calentamiento global. Se están explorando diversas formas de mejorar la retención natural de carbono, y se trata de desarrollar técnicas naturales y/o artificiales para capturar y almacenar el carbono. Un sumidero de carbono tiene por objeto reducir las concentraciones de CO₂ en la atmósfera.

El almacenamiento de CO₂ puede aumentar las emisiones de CO₂, pues inevitablemente esta actividad consume energía,

esta energía produce CO₂, pero la cantidad de CO₂ generada en esta actividad es menor que el CO₂ capturado.

4) Eliminación de CO₂: Para alcanzar el objetivo de 1,5 °C, se deben eliminar del aire aproximadamente de 100 a 1.000 millones de toneladas de CO₂ durante este siglo. Se han propuesto una gama de tecnologías con emisiones negativas (NET⁴²) que incluye desde la reforestación y la plantación forestal hasta la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS⁴³) o la captura directa de CO₂ en el aire.

Los NET desempeñan un papel esencial en los escenarios de mitigación con los Acuerdos de París, pero a una escala mucho mayor que la actualmente implementada. Si bien los NET serán indispensables en combinación con otros esfuerzos de mitigación, especialmente para contrarrestar fuentes de emisiones, como las aeronaves o el ganado. Las nuevas evaluaciones indican que pocas de estas opciones de eliminación a gran escala podrían estar disponibles antes de 2050.

5) Carbono Azul: El carbono azul es el carbono capturado por los ecosistemas oceánicos costeros del mundo, como manglares, marismas, salinas, pantanos, praderas marinas, turberas y macroalgas.

⁴² Las tecnologías de emisiones negativas, (NET, *Negative Emissions Technologies*, en inglés), son aquellas tecnologías que retiran CO₂ de la atmósfera, siendo una de las alternativas con más posibilidades para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.

⁴³ La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS) es el proceso de extraer bioenergía de la biomasa y capturar y almacenar el carbono, eliminándolo de la atmósfera.

Nuevas investigaciones en el papel de los ecosistemas costeros vegetales han subrayado su potencial como sumideros de carbono altamente eficientes, y ha llevado al reconocimiento científico del "carbono azul".

El "carbono azul" se refiere al carbono que se fija a través de los ecosistemas oceánicos costeros, a diferencia del carbono que se secuestra a través de los ecosistemas tradicionales terrestres, como los bosques. Los manglares, las marismas salinas, los pantanos, las turberas y las praderas marinas conforman la mayoría de los hábitats vegetados del océano, pero solamente equivalen al 0.05% de la biomasa vegetal en la tierra. A pesar de su pequeña huella son sumideros de carbono altamente eficientes. Las praderas marinas, los manglares y las marismas salinas pueden capturar el dióxido de carbono de la atmósfera secuestrando el C en sus sedimentos subyacentes, en la biomasa subterránea y bajo tierra, y en la biomasa muerta.

Una de las principales preocupaciones con el carbono azul es que la tasa de pérdida de estos importantes ecosistemas marinos es mucho mayor que la de cualquier otro ecosistema del planeta, incluso en comparación con los bosques lluviosos. Las estimaciones actuales sugieren una pérdida de 2-7% por año. Esto significa que los ecosistemas marinos están perdiendo su capacidad de capturar carbono y también perdiendo el hábitat.

El Marco Global para los Servicios Climáticos⁴⁴ se estableció en 2009 con la visión de permitir una mejor gestión del cambio climático, mediante el desarrollo y la incorporación de información, predicción y planificación.

La Agricultura, la Seguridad Alimentaria y el Agua son reconocidos como los Sectores Prioritarios para la adaptación al Cambio Climático (OMM y FAO, 2019). En el área de la Agricultura y la Seguridad Alimentaria, el 85 % de los países, es decir, 100 de los 117, identificaron los llamados "Servicios Climáticos" como parte importante de la planificación y la toma de decisiones. La capacidad de los países para prestar servicios de información climática y de alerta temprana varía según las regiones, dependiendo de varios factores, que van desde las observaciones y el monitoreo de eventos climáticos hasta la agregación y combinación de datos climáticos con datos socioeconómicos.

⁴⁴ El Marco Mundial para los Servicios Climáticos agrupa, de forma global y coordinada, a las organizaciones que ya trabajan en la producción y utilización de información y servicios climáticos. En el Marco desempeñan un papel esencial los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, que ya reúnen e intercambian datos climáticos, investigan, y generan productos de información sobre el clima. En el Marco también se fomentará la relación entre investigadores, proveedores y usuarios de información sobre el clima, con el fin de mejorar las técnicas y de ayudar a conseguir que todos los sectores sociales dispongan de la información adecuada para sus actividades cotidianas y de planificación a largo plazo.

5. CAMBIO CLIMÁTICO

El término "cambio climático" fue propuesto por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1966 para abarcar todas las formas de variación climática en escalas temporales de más de 10 años, independientemente de la causa que lo originara. Durante la década de los 70, se centraron en las causas antropogénicas que provocaban el cambio climático, ya que se hizo evidente que las actividades humanas tenían el potencial de alterar drásticamente el clima.

El cambio climático se incorporó en el título del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático⁴⁵ (CMNUCC). Existe un amplio acuerdo dentro de la comunidad científica de que el cambio climático es real.

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica concuerdan en que el cambio climático está ocurriendo y es casi al 100% debido a la actividad humana.

Se define, pues, cambio climático, también llamado calentamiento global, al aumento de las temperaturas superficiales promedio en la Tierra.

⁴⁵ La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático.

Un abrumador consenso científico sostiene que el cambio climático se debe principalmente al uso humano de los combustibles fósiles, que liberan dióxido de carbono, CO₂, y otros gases de efecto invernadero en el aire. Los gases atrapan el calor dentro de la atmósfera, lo que puede tener una variedad de efectos sobre los ecosistemas: aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos severos y sequías, que hacen que los paisajes estén más predispuestos a incendios forestales.

Una de las principales causas del cambio climático es la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, que emiten gases de efecto invernadero a la atmósfera, principalmente dióxido de carbono. Otras actividades humanas, como la agricultura y la deforestación, también contribuyen a la proliferación de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático.

El objetivo último de la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático (UNFCCC)⁴⁶ es la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero a un nivel que no implique una interferencia peligrosa con el sistema climático, y que permita un desarrollo sostenible.

Las actividades relacionadas con la energía (procesado, transformación, y consumo) representan el 80% de las

⁴⁶ United Nations Climate Change Conference (UNCCC). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático.

emisiones de CO₂ a escala mundial, siendo la gestión energética un elemento clave en el cambio climático.

Dentro de la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático se firmó el Protocolo de Kyoto en el que se establecieron limitaciones a la emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, CO₂, el metano, CH₄, el óxido de nitrógeno u óxido nítrico, N₂O, el perfluorocarbono, PFC, los hidroclorofluorocarburos, HCFC y el hexafluoruro de azufre, SF₆.

El sector energético desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico. Las medidas en el campo de la energía deben ser compatibles con tres principios fundamentales:

- Competitividad
- Seguridad de abastecimiento
- Protección medioambiental

todo ello buscando un crecimiento sostenible.

Asimismo, el sector energético, que comprende la extracción, producción, transporte y uso de la energía, es la fuente más importante de gases de efecto invernadero.

Los principales gases de efecto invernadero producidos por el sector energético son el CO₂ y el CH₄, procedentes de la quema de combustibles fósiles, así como el combustible procedente de las minas de carbón, ya en disminución, y de las instalaciones de hidrocarburos y gas.

Los sectores transformadores de producción de electricidad y de refino, tienen una contribución al efecto invernadero del orden del 30% del total de gases de efecto invernadero.

El convenio sobre contaminación transfronteriza y los protocolos que lo desarrollan han venido marcando durante las últimas dos décadas las directrices a seguir en la lucha contra la contaminación, que por propagarse en la atmósfera repercute en países diferentes a los que la originaron, pudiendo generar entre ellos diversos conflictos.

Los contaminantes, como el dióxido de azufre, SO_2 , los óxidos de nitrógeno, NO_x , o los compuestos orgánicos volátiles (COV), se originan principalmente debido a la utilización de combustibles fósiles. Estos producen efectos de acidificación, eutrofización, y algunos de ellos son precursores de la oxidación fotoquímica.

Dentro de la Unión Europea se han desarrollado directivas para la lucha contra la contaminación provocados por estos gases de efecto invernadero.

Mientras que algunas cantidades de estos gases de efecto invernadero son una parte natural y crítica del sistema de control de temperatura de la Tierra, la concentración atmosférica de CO_2 no se elevó por encima de 300 partes por millón (ppm) entre el advenimiento de la civilización humana hace aproximadamente 10,000 años y 1900. Hoy es aproximadamente 400 ppm, un nivel no alcanzado en más de 400,000 años.

El aumento del nivel del mar debido al derretimiento de los casquetes polares, una vez más, causado por el cambio climático, contribuye a un mayor daño de las tormentas; el calentamiento de las temperaturas oceánicas está asociado con tormentas cada vez más fuertes y frecuentes; la lluvia adicional, particularmente durante eventos climáticos severos, provoca inundaciones y otros daños; un aumento en la incidencia y severidad de los incendios forestales amenaza el hábitat, el hogar y la vida; y las olas de calor contribuyen a las muertes humanas y otras consecuencias.

Como se ha comentado con anterioridad, la mayoría de los científicos del clima coinciden en que la principal causa de la tendencia actual del calentamiento global es la expansión humana del "efecto invernadero", es decir, el calentamiento que se produce cuando la atmósfera atrapa el calor que irradia desde la Tierra hacia el espacio, más el que recibe del Sol.

Los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, atrapan el calor en la atmósfera y regulan nuestro clima. Estos gases existen naturalmente, pero los humanos agregan más dióxido de carbono quemando combustibles fósiles para obtener energía, como el carbón, el petróleo y el gas natural, y talando bosques.

Los GEI actúan como una manta. Cuanto más gruesa sea la manta, más cálido se volverá nuestro planeta. Al mismo tiempo, los océanos de la Tierra también están absorbiendo parte de

este dióxido de carbono adicional, haciéndolos más ácidos y menos hospitalarios para la vida marina.

El aumento en la temperatura global está alterando significativamente el clima de nuestro planeta, lo que da como resultado un clima más extremo e impredecible. Como ejemplo se puede decir que las olas de calor son cada vez más frecuentes y muchos lugares están experimentando períodos cortos de sequías seguidas de lluvias intensas debido al calentamiento y evaporación del agua del mar.

La quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, para generar energía es la actividad que tiene mayor impacto en la atmósfera por encima de cualquier otra actividad humana.

A nivel mundial, la generación de energía es responsable de alrededor de 23.000 millones de toneladas de emisiones de CO₂ por año, más de 700 t/s, toneladas por segundo. El carbón es especialmente dañino para nuestra atmósfera, ya que libera un 70% más de dióxido de carbono que el gas natural por cada unidad de energía producida.

Los bosques ayudan a proteger el planeta al absorber cantidades masivas de dióxido de carbono, siendo este tipo de contaminación la que más parece incidir en el cambio climático. Desafortunadamente, los bosques están siendo destruidos o dañados a un ritmo alarmante.

Al margen de la gestión energética, la tala y la limpieza de tierras para la agricultura o el ganado liberan enormes cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. También disminuye la capacidad de esas regiones para absorber la contaminación por carbono.

El sol emite radiación electromagnética a diferentes longitudes de onda, lo que significa energía a diferentes intensidades, por lo que la atmósfera actúa como un escudo multicapa que protege a la Tierra de la peligrosa radiación solar.

Por otro lado, el ozono, O₃, se encuentra en dos partes diferentes de nuestra atmósfera:

- El ozono a nivel del suelo, también denominado "ozono malo", es un gas irritante para la salud humana, además de ser un componente del smog. Se encuentra en la atmósfera inferior o troposfera y no tiene nada que ver con el "agujero de ozono".
- El ozono de alto nivel, también denominado "ozono bueno", ocurre en la estratosfera y representa la gran mayoría del ozono atmosférico.

La capa de ozono estratosférico absorbe la radiación ultravioleta, UV, evitando que los peligrosos rayos ultravioleta penetren en la superficie de la Tierra y dañe a los organismos vivos.

Los rayos UV no se pueden ver ni sentir, pero son muy poderosos, y cambian la estructura química de las moléculas. La

radiación UV juega un pequeño papel en el calentamiento global porque su cantidad no es suficiente para causar el exceso de calor atrapado en la atmósfera, por lo que esta radiación representa un pequeño porcentaje de la energía del sol, y no se absorbe ni se dispersa en gran medida en la atmósfera, especialmente si se compara con otras longitudes de onda, como la infrarroja. Hay que indicar que el agotamiento del ozono afecta directamente a la salud de los humanos y otros organismos vivos.

Para abordar adecuadamente la crisis climática, se debe reducir urgentemente la contaminación por carbono y prepararse para las consecuencias del calentamiento global que el mundo ya está experimentando.

Desde una perspectiva global, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en su Quinto Informe de Evaluación formó un grupo de 1.300 expertos científicos independientes de países de todo el mundo bajo los auspicios de las Naciones Unidas. El grupo concluyó que existía más del 95 % de probabilidad de que las actividades humanas en los últimos 50 años hayan sido el causante directo del calentamiento global de nuestro planeta.

Las actividades industriales de las que depende nuestra civilización moderna han elevado los niveles atmosféricos de dióxido de carbono de 280 partes por millón a 400 partes por millón en los últimos 150 años.