

CAPÍTULO 2: EL ORIGEN Y LOS MITOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

2.1 La génesis del cambio climático

La ciencia ha demostrado que el cambio climático se origina debido a una alteración en el funcionamiento del efecto invernadero que ocurre naturalmente en el planeta, resultado del aumento de las concentraciones de la cantidad y variedad de algunos de los gases que componen la atmósfera. La atmósfera es una mezcla de varios gases y aerosoles (partículas sólidas y líquidas en suspensión). Su composición es sorprendentemente homogénea, resultado de procesos de mezcla que en ella ocurren. 50% de la masa de la atmósfera está concentrado por debajo de los cinco kilómetros sobre el nivel del mar y donde predominan dos gases: el nitrógeno (78%) y el oxígeno (21%). De manera natural, la atmósfera contiene pequeñas cantidades de otros gases, entre los que se encuentran el argón, el helio, y algunos gases de efecto invernadero, como el vapor de agua (0,7%), dióxido de carbono (0,035%), metano (0,00015%), óxido nitroso (0,0000016%) y otros compuestos fluorados. Las alteraciones provocadas por el intenso crecimiento industrial, el cambio de uso de la tierra, la contaminación y la inacción político-económica hasta ahora evidente, exacerbaban la magnitud del cambio experimentado en el efecto invernadero.

2.2 El efecto invernadero

En la década de 1850, el físico irlandés John Tyndall fue el primero en demostrar el efecto invernadero, al demostrar que el vapor de agua y otros gases atmosféricos absorbían el calor radiante de la Tierra. Luego, en 1896, el científico sueco Svante Arrhenius fue el primero en calcular el poder de calentamiento del exceso de dióxido de carbono (CO₂). De sus cálculos, Arrhenius predijo que si las actividades humanas aumentaban los niveles de CO₂ en la atmósfera se produciría una tendencia al calentamiento (NRC, 2010).

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural mediante el cual se mantiene la temperatura del planeta dentro de un rango específico que permite el desarrollo de la vida, al retener parte de la energía proveniente del Sol. Como hemos señalado antes, la Tierra recibe de forma permanente un flujo energía en la forma de rayos solares; una parte de esos rayos son reflejados al espacio por las nubes, pero la mayor parte de estas ondas luminosas alcanzan

la superficie terrestre. La energía recibida del Sol calienta la superficie de la Tierra y los océanos. A su vez, la superficie de la Tierra emite su energía de vuelta hacia la atmósfera y hacia el espacio exterior en forma de ondas térmicas conocidas como radiación de onda larga (radiación infrarroja).

Sin embargo, no toda la energía liberada por la Tierra es devuelta al espacio; parte de ella queda atrapada en la atmósfera, debido a la existencia de ciertos gases, denominados gases de efecto invernadero (GEI), que tienen la propiedad de absorber y reemitir la radiación proveniente de la superficie de la Tierra. Los GEI atrapan el calor emitido por la Tierra y lo mantienen dentro de la atmósfera, actuando a modo de un "gigantesco invernadero". A este fenómeno se le conoce como efecto Invernadero (Figura 2). Debe acotarse que sin los GEI la Tierra sería demasiado fría para albergar la vida (Royal Society, 2015).

Como puede observarse en la Figura 2, no todo el calor que es absorbido por el efecto invernadero se mantiene en la atmósfera, sino que una parte regresa al espacio exterior. El clima terrestre depende, precisamente, del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra. Los gases de efecto invernadero son, como ya se ha reiterado, claves en este proceso.

Figura 2.

Representación esquemática del efecto invernadero



Fuente: UNEP (2009).

La intensidad del efecto invernadero depende, en gran medida, de las características de la atmósfera que permite y/o impide el paso de la energía radiante y por las formas en las que se presenta la energía. El efecto invernadero se da en cualquier planeta o satélite natural que tenga atmósfera. Si la Tierra no tuviera atmósfera, sería 33°C más fría, o sea, un planeta helado.

Analógicamente, en un invernadero se tiene una superficie envolvente transparente que permite el paso de la radiación solar, pero que impide que el calor producido por esa radiación salga rápidamente del interior. Esto da lugar a que se acumule el calor y que suba la temperatura del espacio interior. Para efectos de entender este fenómeno en nuestro planeta, esa superficie es, precisamente, la atmósfera. En ella, los rayos provenientes del sol son absorbidos por las diferentes partes del sistema climático: la propia atmósfera, los océanos, las zonas glaciares, los suelos y varias formas de vida. También, a través de la atmósfera, un porcentaje del calor absorbido es reflejado de regreso al espacio exterior.

El clima terrestre depende, precisamente, del balance energético entre la radiación solar recibida y la radiación térmica emitida por la Tierra. Las manifestaciones del flujo de energía en la atmósfera son las manifestaciones del clima: temperatura, lluvias, tormentas y vientos.

2.3 Los gases de efecto invernadero (GEI)

De acuerdo con la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), se entiende por gases de efecto invernadero "*aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos (de origen humano), que absorben y reemiten radiación infrarroja*" (Artículo 1 de la CMNUCC, 1992).

Debido a que los GEI tienen la capacidad de retener el calor emitido por la superficie terrestre, actúan a manera de un gigantesco invernadero que mantiene y regula la temperatura en la Tierra. Aunque solo representan 1% de la composición atmosférica, cumplen funciones primordiales, ya que sin su existencia la Tierra sería demasiado fría para albergar la vida (IPCC, 2007; UNEP, 2009; Royal Society, 2015).

Los gases de efecto invernadero son:

- Vapor de agua (H₂O)
- Dióxido de carbono (CO₂)

- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Ozono (O₃)

Por su parte, además de los mencionados, los GEI generados por las actividades humanas son:

- Perfluorometano (CF₄) y perfluoroetano (C₂F₆)
- Hidrofluorocarbonos (HFC-23, HFCS-134a, HFC-152a)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Existen otros gases que, además de destruir la capa de ozono, también tienen la capacidad de retener el calor emitido por la Tierra. Tales gases son:

- Clorofluorocarbonos (CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, etc.)
- Halones (Halon-1211, Halon-1301, Halon-2402, Halon-1202)
- Clorocarbonos: bromuro de metilo (CH₃Br), tetracloruro de carbono (CCl₄) metil cloroformo (CH₃CCl₃)
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC-22, HCFC-141b)

Estos gases tienen diferentes potenciales de retención de calor; es decir, algunos tienen una mayor capacidad que otros para detener la radiación de onda larga emitida por la Tierra. A dicha capacidad se le ha llamado potencial de calentamiento global. El potencial de calentamiento global de un GEI depende de su estructura molecular y de su tiempo de residencia en la atmósfera, antes de ser transformado en otro compuesto (IPCC, 2007; UNEP, 2009; Royal Society, 2015).

Vapor de agua. Es el mayor contribuyente al efecto invernadero natural y es el que está más directamente vinculado al clima y a la vez, el menos controlado por la actividad humana, pues está determinado por el ciclo global del agua en la biósfera. Por el contrario, las concentraciones de los demás gases están sujetas a la influencia fuerte y directa de las emisiones asociadas con la quema de combustibles fósiles y las actividades forestales, agrícolas e industriales.

Dióxido de carbono. El dióxido de carbono (CO₂) es el principal gas de efecto invernadero de larga duración en la atmósfera. Su concentración alcanzó 405,5 ppm en 2017, y de 423,3 ppm⁶

⁶ De acuerdo con: UNEP. World Environment Situation Room: Data, Information and Knowledge on the Environment. <https://data.unep.org/climate/>

en 2023, lo cual representa un incremento superior a 150% sobre su nivel en la era preindustrial (UNEP, 2023). Las emisiones de CO₂ para 2021, excluyendo las causadas por el uso y el cambio de uso de la tierra, se han estimado preliminarmente en 52,8 GtCO₂e, un ligero aumento en comparación con 2019, lo que sugiere que las emisiones globales totales de GEI en 2021 serán similares o incluso superarán los niveles récord de 2019 (UNEP, 2022)

Metano. El metano (CH₄) es el segundo gas de efecto invernadero de larga duración más importante y contribuye en más o menos un 17% al forzamiento radiativo⁷. Cerca de 40% del metano que se emite a la atmósfera procede de fuentes naturales (por ejemplo, fondo del océano, humedales y termitas), mientras que aproximadamente 60% proviene de actividades humanas como la ganadería de rumiantes, el cultivo de arroz, la explotación de combustibles fósiles, los vertederos y la combustión de biomasa. El CH₄ atmosférico alcanzó en 2019 un nuevo máximo de unas 1.877 ± 2 ppb⁸, por lo que se sitúa actualmente en el 260% de su nivel preindustrial (OMM, 2020). Existen fuentes naturales de metano en algunas zonas del fondo de los océanos y por el derretimiento del permafrost en las regiones circumpolares, así como fuentes antropogénicas que incluyen la agricultura (40%), combustibles fósiles (35%), desperdicios orgánicos en la basura (20%) y la obtención y uso de biocombustibles (5%). El gas tiene un potencial de calentamiento global de más de 80 veces superior al del dióxido de carbono en un horizonte de 20 años, y contribuye con 31% del impacto de calentamiento neto de la mezcla de emisiones de todos los gases de efecto invernadero. Las emisiones antropogénicas de metano representan un 60% de las emisiones totales de metano. Sin embargo, el metano tiene un tiempo más corto de vida en la atmósfera que el dióxido de carbono: sólo doce años, en comparación con varios cientos de años del CO₂.

Óxido nitroso. Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera provienen de fuentes naturales (en torno a 60%) y de fuentes antropogénicas (40%), incluidos los océanos, los suelos, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes y diversos procesos industriales

⁷ Forzamiento radiativo: el cambio en el flujo neto, positivo o negativo, radiativo (expresado en W m⁻²) debido a un cambio en un impulsor externo del cambio climático, como un cambio en la concentración de dióxido de carbono (CO₂), la concentración de aerosoles o la salida del sol, contribuyendo así con el aumento o disminución de la temperatura promedio superficial mundial.

⁸ PPB: partes por billón, o partes por mil millones.

En 2017 su concentración atmosférica fue de 329,9 partes por mil millones, es decir, un 122% de su nivel en la era preindustrial. Este gas también contribuye significativamente con la destrucción de la capa de ozono estratosférico que nos protege de los rayos ultravioleta nocivos del Sol. Es el causante de un 6 % del forzamiento radiativo provocado por los gases de efecto invernadero de larga duración.

Los científicos han identificado el potencial de calentamiento global que tienen diversos gases, o la medida en que éstos tienen impactos en el efecto invernadero que provoca el cambio climático. Para establecer este potencial, se utiliza el CO₂ como referencia para el análisis, el gas predominante en el efecto invernadero (IPCC, 2007; UNEP, 2009; Royal Society, 2015).

En este contexto, el potencial de calentamiento global considera el tiempo de vida en la atmósfera de los gases que se estudian, contemplando un horizonte de tiempo de 20, 100 y 500 años, en función de los efectos directos o indirectos que pudiese tener un gas determinado en el calentamiento global de la atmósfera.

El carácter directo o indirecto de un gas de efecto invernadero se da por el hecho de que influya directamente en ocasionar el fenómeno o porque afecta el tiempo que otros gases permanecen en la atmósfera. El Cuadro 1 muestra los gases de efecto invernadero que han sido identificados como causantes del fenómeno, sus potenciales de calentamiento global en 20, 100 y 500 años y su tiempo de vida en la atmósfera.

También existen los GEI indirectos, porque tienen la capacidad de influir en la concentración atmosférica de otros gases de efecto invernadero. Estos gases son:

- *Óxidos de nitrógeno (NO_x)*. Este es un gas producto, principalmente, de la combustión.
- *Monóxido de carbono (CO)*. Este es un gas producto, en su mayor proporción, de la combustión.
- *Dióxido de azufre*. Este es un gas producto, principalmente, de la combustión de combustibles con alto contenido de azufre.
- *Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM)*.

Tabla 1.

Potenciales de calentamiento global (en una base másica) en relación con el dióxido de carbono para algunos gases cuyas vidas medias han sido bien caracterizadas

Gas	Vida Media (Años)	Potencial de Calentamiento Global Horizonte Temporal		
		20 años	100 años	500 años
Bióxido de carbono CO ₂		1	1	1
Metano CH ₄	12	72	25	7,6
Óxido Nitroso N ₂ O	114	289	298	153
CFC-12 CCl ₂ F ₂	100	11,02	10,9	5,2
-22 CHClF ₂	12	5,160	1,810	549

Fuente: IPCC (2007).

Todos estos gases, aunque sólo representan 1% de la composición atmosférica, cumplen funciones primordiales, ya que sin su existencia la Tierra sería demasiado fría para albergar la vida.

2.4 La importancia del dióxido de carbono

Aunque el CO₂ apenas representa una pequeña fracción del volumen de la atmósfera (0,0035%), es el gas más importante dentro de los GEI. El CO₂ es una de las varias formas que adquiere el carbono en el ciclo que tiene lugar continuamente en la biósfera (ciclo del carbono) y tiene que ver con los procesos de la vida en el planeta, ya que éste es permanentemente asimilado y liberado por los seres vivos. El problema es que la actividad humana ha alterado el ciclo del carbono al reducir la capacidad de absorción del mismo (al eliminar los bosques) y al liberar a la atmósfera una gran cantidad de este compuesto, acumulado por miles de años en los yacimientos de hidrocarburos, debido al consumo de energía fósil.

El carbono existe generalmente combinado con otros elementos y puede ubicarse en estado sólido, líquido y gaseoso. Es un elemento que se combina preferentemente con el oxígeno, el nitrógeno, el azufre, el fósforo y el hidrógeno y forma parte todos los compuestos orgánicos. Un ejemplo de esto son los hidrocarburos, un conjunto de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y son considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los

demás compuestos orgánicos. Los hidrocarburos más simples son gaseosos a la temperatura ambiente, pero a medida que aumenta su peso molecular se vuelven líquidos y finalmente sólidos. Sus tres estados físicos están representados por el gas natural, el petróleo crudo y el asfalto.

Al quemar carbón, leña o combustibles, una parte del carbono contenido en ellos reacciona y forma dióxido de carbono, que se libera a la atmósfera, donde permanece hasta ser asimilado de nuevo por medio de la fotosíntesis o absorbido por los ecosistemas acuáticos y terrestres. Es decir, el carbono se encuentra en constante circulación a través de la biósfera (OMM, 2020). Sin embargo, las crecientes emisiones a lo largo de los últimos 70 años han creado un desbalance en dicha circulación, y aunque la biomasa y el océano absorben buena parte del exceso, su acumulación en la atmósfera ha crecido sustancialmente, hasta los 423 ppm en la actualidad (UNEP, 2022).

Tal es el impacto que ha tenido el CO₂ en el ámbito científico relacionado con el cambio climático, que se acuñó el término “huella de carbono” para referirse al mismo en la jerga profesional. La huella de carbono es un indicador del total de emisiones de CO₂ generadas de forma directa e indirecta por una actividad o que son acumuladas durante el ciclo de vida de un producto o servicio (Wiedmann & Minx, 2008). El concepto nació entre los movimientos ambientalistas europeos que perseguían el objetivo del consumo preferencial de alimentos de orígenes locales, ya que estos no incluían las emisiones generadas en el transporte dentro de su ciclo de vida; logrando que el término se expandiera entre los distribuidores de alimentos y hacia el resto de los sectores interesados en la contaminación con GEI. La Huella de Carbono es considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de gases efecto invernadero y en forma muy general, representa la cantidad de gases efecto invernadero emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Espíndola y Valderrama, 2012).

2.5 Las emisiones de gases de efecto invernadero

Como se evidenciará más adelante, la actividad humana ha alterado el volumen y la proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. En particular, el volumen de estos gases ha ido aumentando cada vez de manera más acelerada y, consecuentemente, sus efectos. Esta situación no responde únicamente a procesos naturales, sino más bien a formas de organización social y productiva de la sociedad humana. Estos aumentos han ocasionado que

un fenómeno benéfico para la vida –como lo es el efecto invernadero–, se torne en una amenaza global, en un tema de preocupación para los científicos, los políticos y para la sociedad que se encuentra expuesta a las consecuencias de un cambio global en el clima.

Debido a la relación entre los gases de efecto invernadero y el cambio climático, es importante identificar los sectores emisores de dichos gases y las cantidades que liberan. Lo anterior permite conocer los sectores con mayor influencia en la emisión de gases de efecto invernadero, y teóricamente, sirve de base para el diseño de políticas y acciones de captura o reducción de emisiones.

Estudios desarrollados por investigadores alrededor del mundo permiten identificar las fuentes de origen humano de los gases de efecto invernadero. Las fuentes de CO₂ y N son:

- El uso industrial y doméstico de combustibles que contienen carbono (petróleo, carbón, gas natural y leña),
- La deforestación que provoca la descomposición de la materia orgánica, y
- La quema de la biomasa vegetal.

En el caso del metano, los emisores principales son las actividades agropecuarias, el uso de gas natural, los rellenos sanitarios, el aumento del rebaño ganadero, la quema de la biomasa vegetal y, más recientemente, el *fracking* para la extracción de petróleo y gas.

Sin embargo, el uso indiscriminado e ineficiente de los combustibles es el principal generador de la tendencia incremental en las emisiones de gases de efecto invernadero. Unas tres cuartas partes de las emisiones antropogénicas de CO₂ en la atmósfera durante los últimos 70 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil. El resto se debe principalmente a cambios en el uso de la tierra, especialmente la deforestación.

Las emisiones de gases de efecto invernadero se discriminan en seis categorías, contempladas por el Protocolo de Kioto:

- Energía (Consumo de combustibles fósiles y emisiones fugitivas de metano)
- Procesos Industriales (generación de energía eléctrica, procesamiento y manufactura de productos agroindustriales y de consumo)
- Solventes
- Agricultura

- Uso de suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura
- Desechos y otros contaminantes.

2.6 El aumento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera

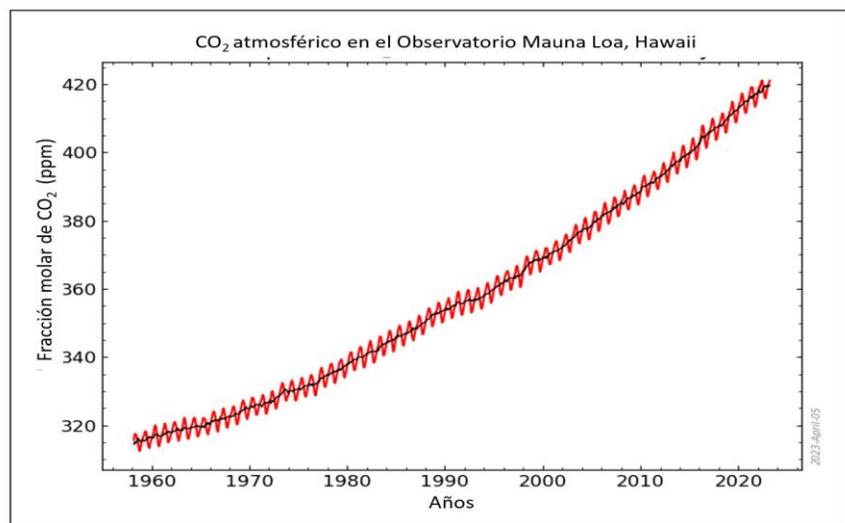
Las investigaciones sobre las concentraciones de gases en la atmósfera han revelado que las cantidades de los gases precursores del efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono, han aumentado progresivamente (Figura 3).

El uso masivo de combustibles fósiles y la intensidad de los procesos industriales han ocasionado, tan sólo durante el siglo XX, mayores concentraciones de gases efecto invernadero en la atmósfera, aunado a la quema de grandes porciones de bosques y vegetación para ampliar las tierras de cultivo. Las actividades humanas resultan en emisiones de cuatro de los principales gases de efecto invernadero: CO₂, CH₄, N₂O y los halocarburos.

El CO₂ ha aumentado globalmente alrededor de 130 ppm (partes por millón) en los últimos 250 años, de un rango de 275 a 285 ppm en la era preindustrial (1000-1750 d.C.) a 423 en la actualidad. El CO₂ ha aumentado por la utilización de los combustibles fósiles en la generación de electricidad, calefacción y aires acondicionados para viviendas, así como por los procesos industriales, incluida la producción de cemento y otros bienes. Asimismo, la deforestación libera CO₂ y reduce su absorción por las plantas.

Figura 3.

Concentraciones de gases de efecto invernadero del año 1958 al 2022

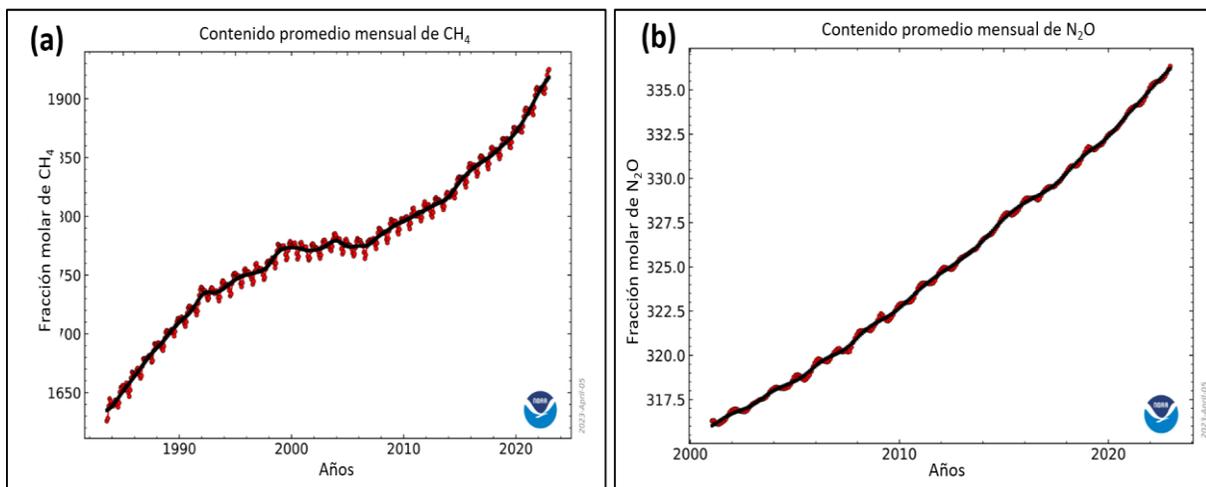


Fuente: IPCC (2021)

En la Figura 4a se puede observar el aumento significativo de **CH₄** como resultado de actividades humanas relacionadas con la agricultura y la ganadería, el gas natural y los rellenos sanitarios, aunque también es liberado por procesos naturales que ocurren, por ejemplo, en los pantanos y en los hidratos de metano en el fondo de los océanos. La cantidad de metano en la atmósfera se ha más que duplicado en los últimos 250 años. Ha sido responsable de aproximadamente una quinta parte del calentamiento global. Sin embargo, el aumento constante de las emisiones se detuvo en la década de 1990. Las emisiones se mantuvieron estables durante casi una década hasta 2007, pero luego se reanudó bruscamente su ascenso. Ello, probablemente debido a la fracturación de esquistos o fracking para la extracción de petróleo-gas y a la intensificación de la agricultura y la ganadería.

Figura 4.

Tendencia del total de emisiones de: (a) NH₄ y (b) N₂O durante el período 1995-2022.



Fuente: NOAA (2022)⁹

Aunque los procesos naturales en la biósfera liberan **N₂O**, las actividades humanas tales como el uso de fertilizantes químicos y la quema de combustibles fósiles, las industrias químicas, siderúrgica, petroquímica, aluminio y cemento, junto con la producción agropecuaria, generan altas cantidades de compuestos nitrogenados, generando un pronunciado incremento de N₂O en la atmósfera (Figura 4b).

⁹ <https://www.noaa.gov/news-release/greenhouse-gases-continued-to-increase-rapidly-in-2022>

Por su parte, Las concentraciones de **halocarbonos** se han incrementado principalmente por las actividades humanas, aunque los procesos naturales también son una fuente, aunque muy baja. Los halocarbonos incluyen los clorofluorocarbonos que son usados como agentes de refrigeración y otros procesos industriales, aunque su uso ha disminuido como resultado de negociaciones internacionales y regulaciones impuestas diseñadas para proteger la capa de ozono, mediante el Protocolo de Montreal de 1987¹⁰.

2.7 Visiones y controversias alrededor del Cambio Climático

En la abundante literatura académica y científica sobre el tema, se observa la consideración de las afirmaciones del IPCC con una actitud crítica y realista, interpretando –en sus análisis y elaboraciones– los hallazgos específicos que el informe detalla. En el ámbito de las organizaciones multilaterales que conforman la Organización de las Naciones Unidas, el apoyo al papel y vigencia de las conclusiones del IPCC es evidente. La ONU y la UNEP, en particular, están promoviendo la difusión masiva de información y conocimientos atinentes al problema, a través de consorcios y alianzas con diversas organizaciones del propio sistema de la ONU y con varias ONG interesadas y preocupadas por el pronóstico de los futuros cambios globales en el sistema climático.

Las conclusiones expuestas por el IPCC, las cuales pueden considerarse como agoreras de un futuro incierto, han sido recibidas en algunos sectores científicos, políticos y económicos con cierto escepticismo, en algunos casos, y en otros pocos como afirmaciones y declaraciones todavía carentes de un soporte empírico suficiente.

Es necesario recordar que, en filosofía, y específicamente en la filosofía de la ciencia, se practica comúnmente el escepticismo, una corriente que considera que el conocimiento verdadero y definitivo es realmente inalcanzable. Hay, sin embargo, dos tipos distintos dentro de los escépticos alrededor del cambio climático. Los escépticos verdaderos utilizan los principios científicos y datos bien establecidos para llegar a hipótesis y teorías comprobables que difieren del consenso científico actual acerca del cambio climático. Este desafío es absolutamente invaluable para avanzar y mejorar nuestra comprensión de este tema. Hasta la fecha, ningún reto de este tipo a los principios básicos del calentamiento global antropogénico ha sido exitoso. No se trata de una conspiración de izquierdas o de lavado de cerebro en centros de investigación o

¹⁰ <https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2016/08/Handbook-for-the-Montreal-Protocol-2017-english.pdf>

universidades, sino lograr que la gente se familiarice con los principios científicos, los datos en bruto (muy abundantes y diversos) y la amplia literatura primaria relacionada con el calentamiento global antropogénico. De hecho, existen preguntas válidas que se pueden plantear sobre aspectos específicos del cambio climático. Estas preguntas son las que impulsan la investigación que se lleva a cabo permanentemente por miles de científicos de todo el mundo.

Vale la pena acotar que, en las dos últimas décadas, los escépticos de la realidad y la importancia del cambio climático antropogénico han frecuentemente acusado a los climatólogos de "alarmismo": de sobreinterpretar o exagerar a la evidencia de los impactos humanos en el sistema climático. Sin embargo, la evidencia disponible sugiere que los científicos han sido conservadores en sus proyecciones de los impactos del cambio climático. Brysse *et al.* (2013) han revisado estudios recientes que muestran que al menos algunos de los atributos clave del calentamiento por efecto de los gases de efecto invernadero atmosféricos han sido más bien subestimados, en particular en las evaluaciones del Grupo de Trabajo I del IPCC; los científicos no han sido alarmistas, sino más bien al revés: han hecho estimaciones cautelosas. Los científicos, escépticos por naturaleza, practican la adhesión a las normas científicas de moderación, objetividad, racionalidad, desapasionamiento y moderación. Por ello es muy significativo que la casi totalidad de los estudiosos del cambio climático (97%) pregonan y afirman que el cambio climático es real (Cook *et al.*, 2013), en contraposición con los que niegan su existencia, quienes por lo general no son científicos, sino cabilderos y/o empresarios con intereses creados alrededor del asunto.

Una categoría diferente de escépticos cuestiona los principios básicos del cambio climático con argumentos equivocados, engañosos y/o ignorantes de las investigaciones más recientes y del consenso científico alcanzado (Cook, 2010). Sus argumentos son bien conocidos en la comunidad científica y han sido refutados con frecuencia. Los escépticos a ultranza por lo general responden a las directrices y orientaciones de sectores económicos con intereses creados, tales como las grandes corporaciones multinacionales emisoras de gases invernadero y de contaminantes de la atmósfera y las aguas. Los argumentos esgrimidos en el cabildeo y los medios de comunicación masiva han dado origen a la creación en el imaginario popular de una serie de mitos, incertidumbres o concepciones desorientadoras acerca de la realidad y relevancia del cambio climático (Whitmarsh, 2009).

Los escépticos a ultranza se han conformado en un grupo que practica la “negación científica”, una estrategia de comunicación basada en una serie de características comunes, las cuales se describen a continuación:

1. *Teorías de la conspiración.* Cuando el abrumador peso de la opinión científica cree que algo es cierto, el negacionista no admite que los científicos han estudiado de forma independiente las pruebas para llegar a la misma conclusión. En su lugar, afirman que los científicos están implicados en una compleja y secreta conspiración.
2. *Falsos expertos.* Son individuos que pretenden ser expertos, pero cuyas opiniones son incompatibles con el conocimiento establecido. Fueron utilizados ampliamente por la industria del tabaco que desarrolló una estrategia para reclutar a los científicos que contrarrestasen la creciente evidencia de los efectos nocivos del humo en los fumadores pasivos. Esta táctica a menudo se complementa con la denigración de expertos verdaderos, tratando de desacreditar su trabajo.
3. *Parcialidad en la selección de evidencias.* Esto consiste selectivamente hacer uso de documentos aislados que desafían el consenso para desacreditar la vía principal de investigación. Un ejemplo de esto, es un artículo que describe anomalías intestinales en 12 niños con autismo, sugiriendo una posible relación con la inmunización. Esto ha sido ampliamente utilizado por los activistas contra la vacunación, a pesar de que 10 de los 13 autores del artículo, posteriormente se retractaron del posible vínculo entre ambas cosas.
4. *Impredicibilidad de los resultados de las investigaciones.* La empresa tabaquera Philip Morris trató de promover un nuevo estándar para la realización de estudios epidemiológicos. Estas estrictas directrices habrían invalidado de un plumazo una gran cantidad de investigaciones sobre el efecto del tabaco sobre la salud.
5. *Declaraciones falsas y falacias lógicas.* Las falacias lógicas incluyen el uso de hombres de paja, que argumentan erróneamente los argumentos contrarios, facilitando la tarea de refutarlos. Por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE.UU. determinó en 1992 que el humo ambiental del tabaco era cancerígeno. Este fue criticado nada menos que como una amenaza para la esencia misma de los valores democráticos y la política pública democrática.

2.8 Mitos popularizados acerca del cambio climático

Los mitos o argumentaciones enmarcados en las posiciones que consideran el cambio climático como una falacia conceptual se han identificado plenamente. Diversos grupos y organizaciones no gubernamentales difunden continuamente comunicados y reportes de prensa en los que intentan desbancar las evidencias y argumentaciones de los científicos especializados en el tema. Bajo la figura de fundaciones sin fines de lucro u organizaciones no gubernamentales, financiadas por conglomerados industriales conservadores en la mayoría de los casos (como el *Hearland Institute*¹¹, la *Marshall Foundation* y la *Heritage Foundation*), así como algunos científicos escépticos –cerca de 5% del total de científicos involucrados en el tema, de acuerdo con Anderegg y Harold (2009)– se han dedicado a criticar y cuestionar continuamente las conclusiones y recomendaciones de los científicos expertos en las ciencias relacionadas con el cambio climático, intentando desvirtuar sistemáticamente el consenso científico alrededor de las conclusiones y evidencias presentadas por el IPCC.

Los principales mitos que se han creado alrededor del cambio climático, y los argumentos científicos que refutan científicamente los mismos, son los siguientes (TRS, 2007; Cook, 2010):

- 1) *El clima de la tierra está cambiando constantemente y no tiene nada que ver con las acciones humanas.* Este argumento, carente de base científica, es refutable por el conocimiento consensual y las evidencias empíricas en las que se sustenta una de las principales conclusiones del IPCC: el cambio climático está ocurriendo por efecto del incremento de los gases de efecto invernadero, especialmente el CO₂, pero incluyendo otros compuestos gaseosos como el N₂ y el CH₄, producto de las actividades antropogénicas (NRC, 2010). Las emisiones volcánicas y la energía solar no son suficientes para explicar los aumentos de la temperatura, tanto en los ambientes terrestres como en los oceánicos.
- 2) *El CO₂ solo representa una pequeña porción de la atmósfera y no puede ser considerado responsable del calentamiento global.* El CO₂, a pesar de su pequeña proporción en la atmósfera, tiene una alta capacidad de absorber calor y de esa manera potenciar el efecto invernadero. Antes de la industrialización iniciada hace 250 años, la concentración de CO₂

¹¹ <http://heartland.org/>

en la atmósfera era de 280 ppm, mientras que actualmente dicha concentración es de 420 ppm en 2022, causada principalmente por las emisiones de CO₂ provenientes de las actividades humanas, especialmente de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo.

- 3) *Los aumentos en los niveles del CO₂ en la atmósfera son resultado del aumento de los incrementos de la temperatura, y no al contrario.* Está demostrado que las causas naturales del cambio climático ocurridos a través de milenios, se iniciaron por los cambios en la órbita terrestre, que a su vez causaron el incremento del CO₂ en la atmósfera y el impacto del efecto invernadero, pero dichos cambios ocurren en escalas de tiempo mucho mayores (centenares o miles de años) y, por lo general no implican cambios abruptos en las variables climáticas, como los que están ocurriendo en los años recientes. Por lo tanto, el calentamiento ocurrido durante los últimos 30 años tiene lugar por efecto del aumento del CO₂ en la atmósfera, más que por causas naturales como los cambios en la órbita terrestre o las erupciones volcánicas (TRS, 2007; NRC, 2010; UNEP, 2009).
- 4) *Los modelos computarizados que predicen el cambio climático futuro no son confiables y se basan en supuestos, no hechos fehacientes.* El reciente desarrollo de las Ciencias de la Tierra, producto de la integración interdisciplinaria de los conocimientos generados por la Ecología, la Climatología, la Geología, la Sociología, las técnicas e instrumentos avanzados de teledetección y la expansión de la capacidad para manejar inmensas bases de datos (simulaciones), han permitido incrementar el entendimiento de los fenómenos climáticos y el poder de predicción de los modelos de simulación del clima. Más aún, los avances en la calibración y despliegue de técnicas de captación y medición de datos –a través de satélites con sensores remotos más precisos y un mayor número de estaciones de observación– facilitan a las diversas iniciativas de modelaje del clima la generación de resultados convergentes con mayor potencia predictiva, desde diversas instituciones de investigación, con objetivos específicos diferenciados y a través períodos y escalas temporales más amplias (décadas).

Recientemente se han generado nuevos modelos de simulación acerca de cómo los diferentes componentes del sistema climático (nubes de vapor de agua, océanos, radiación solar), incluyendo el componente vivo y los contaminantes de la atmósfera, se comportan e interactúan a través del tiempo. Ello ha permitido a los científicos reproducir el curso de los fenómenos climáticos a lo largo de los últimos 100 años, a través de diversos escenarios, sobre la base de premisas racionales basadas en las actividades humanas ya

conocidas y documentadas. Aunque los modelos de simulación permiten actualmente explicar eventos pasados y futuros del clima global, hasta el momento no están suficientemente desarrollados para explicar o proyectar con precisión los detalles del impacto a nivel regional y local (Hunt, Baldocchi, y Van Inghen, 2009).

- 5) *Todo tiene que ver con el Sol, por ejemplo, los vínculos entre los incrementos de temperatura y el número de manchas solares.* La radiación solar es un fenómeno natural, que, como se ha señalado, ha contribuido, junto con las erupciones volcánicas, con el calentamiento de la atmósfera y posterior enfriamiento, como se demostró en las recientes erupciones de 1963, 1982 y 1991, las cuales condujeron a leves enfriamientos, al bloquear parcialmente la entrada de rayos solares por las partículas aerosoles suspendidas de las cenizas volcánicas. Sin embargo, durante las tres últimas décadas, los nuevos telescopios espaciales y las mediciones satelitales directas no muestran cambios apreciables en el calor solar (UNEP, 2009). El incremento del CO₂, debido a la combustión de recursos energéticos fósiles, es la única explicación para el cambio climático en marcha, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX y las primeras décadas del siglo actual.
- 6) *El cambio climático está influenciado por los rayos cósmicos.* Los rayos cósmicos son partículas provenientes del espacio a una altísima velocidad, que agregan carga eléctrica a algunos componentes de la atmósfera, que a su vez podrían relacionarse con la formación de nubes y con el efecto invernadero. El argumento central es que, a mayor actividad del sol, sus campos magnéticos desvían los rayos cósmicos que de otra forma entrarían en la atmósfera, resultando en menor cantidad de formación de nubes y consecuentemente, en una atmósfera más caliente (UNEP, 2010). Sin embargo, hasta ahora sólo se ha demostrado un efecto mínimo lo que, aunado a los niveles estables de actividad solar en las últimas tres décadas, no explica los aumentos de temperatura que hemos observado durante ese mismo período.
- 7) *La escala de los efectos negativos del cambio climático está sobreestimada y no hay necesidad de acciones urgentes al respecto.* Una de las conclusiones más resaltante del último informe de evaluación del IPCC (2022) señala la tendencia de un aumento de 2 a 4°C durante este siglo, lo que significa un cambio del clima de la Tierra muy superior a los experimentados durante los últimos 10.000 años. El cambio climático inducido por el hombre, incluidos los fenómenos extremos más frecuentes e intensos, ha causado efectos

adversos generalizados, impactos y pérdidas y daños relacionados con la naturaleza y las personas, más allá de la variabilidad climática natural. El aumento de los eventos extremos meteorológicos y climáticos ha provocado algunos impactos irreversibles en la medida que los sistemas naturales y humanos se ven empujados más allá de su capacidad de adaptación.

- 8) El impacto resultante se evidenciará en cambios en las variables climáticas del hemisferio norte, creando, por una parte, condiciones más apropiadas para la producción de alimentos en altas latitudes, por ejemplo, en el norte de los EE UU y el sur de Canadá, y sequías extremas en las zonas tropicales.

Existen muchas otras argumentaciones de los negadores a ultranza del cambio climático, así como la respuesta a cada una de ellas pueden consultarse en el sitio web “*Skeptical Science*”, debidamente traducidas al español.¹²

2.9 Evidencias del cambio global en los eventos climáticos extremos

De acuerdo con las conclusiones del Cuarto Informe del IPCC–AR4 (IPCC, 2007), refrendados por el Quinto informe (IPCC, 2014), y afirmadas enfáticamente en el sexto informe (IPCC, 2021; 2023) de proseguir las emisiones de GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría y el sistema climático mundial experimentaría durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX:

- Aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas, así como los fenómenos de sequía intensa, en ciertas regiones de la Tierra.
- Aumentará la intensidad de los ciclones tropicales y menor confianza en que disminuya el número de ciclones tropicales en términos mundiales.
- Desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extratropicales, con los consiguientes cambios de las pautas de viento, precipitación y temperatura.

¹² <http://www.skepticalscience.com/translation.php?lang=4>

- Aumentarán las precipitaciones en latitudes altas, y probablemente disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, como continuación de las tendencias recientemente observadas.

La UNEP (2009, 2021) reconoce que ya no hay duda acerca de que la mayoría del incremento observado en la temperatura promedio global, desde mediados del siglo XX, es debida al incremento observado en los gases invernadero, resultantes de las actividades humanas. Al respecto, identifica igualmente las anomalías climáticas ocurridas entre 2007 y 2013 a lo largo del globo, identificando 62 regiones o áreas específicas, en las cuales se evidenciaron eventos climáticos extremos, entre los cuales se mencionan:

- La peor sequía en México en los últimos 70 años, que afectó 3,5 millones de campesinos y agricultores, 50.000 cabezas de ganado muertas y 8 millones de ha de cultivos arrasados o severamente afectados. La peor sequía en Chile, Argentina, Paraguay y Uruguay en los últimos 50 años, en el centro y sur del país.
- Varias provincias chinas sufrieron las peores sequías en 60 años, afectando casi 4 millones de personas y 10 millones de ha. Sequías similares ocurren en Taiwán, Liaonin-China, Francia y España.
- Inundaciones severas en el nordeste y en el sur de Brasil, afectando 180.000 y 1,5 millones de personas, respectivamente, así como lluvias récord en Ecuador y Bolivia, el Sureste de África y la India, Pakistán, Bangladesh y Vietnam. En 2009 Bangladesh y Filipinas sufrieron inundaciones severas por lluvias torrenciales que afectaron a 12 millones de personas y 200.000 desplazados, respectivamente.
- Ciclones y tifones de gran intensidad en la región intertropical, ocho en el Caribe y Centroamérica y ocho en el Sureste Asiático, además del huracán Katrina (2005) que constituyó que afectó severamente a New Orleans y el superhuracán Sandy que diezmó la ciudad de New York a finales de 2012.
- Olas de calor intenso en el Suroeste de Australia, e incendios forestales o de vegetación que afectaron miles de hogares y 210 muertes.
- Disminución del mar de hielo ártico e inviernos cálidos en las regiones más septentrionales del hemisferio norte, sí como en el sur de Australia y Nueva Zelanda.
- En la primera década del siglo XXI han ocurrido numerosos desastres (WRI,2011):

- ✓ En el verano de 2010, las inundaciones en una quinta parte de la superficie de Pakistán afectaron a más de 20 millones de personas y destruyeron 2,2 millones de hectáreas de cultivos.
- ✓ En el mismo momento, una ola de calor afectó el área de Moscú y sus alrededores, causando la muerte de 10.000 personas e inmensos incendios de turberas y bosques, así como la pérdida de la tercera parte del stock de granos rusos, lo que incidió en el aumento de los precios en todo el mundo.
- ✓ Las lluvias torrenciales en Brasil originaron inundaciones y deslaves que provocaron la muerte de aproximadamente 600 personas.
- Los eventos climáticos extremos afectan no solo las regiones del Sur, sino también a los países desarrollados. Por ejemplo, en los EE UU, la NOAA (2016) reporta la ocurrencia, entre 1980 y septiembre de 2016, de 83 tormentas severas, 34 huracanes tropicales, 26 inundaciones, 23 eventos de sequía, 14 tormentas invernales, 13 incendios forestales incontrolados y 7 heladas fuertes; cuyas pérdidas acumuladas totalizan más de 1.000 billones US\$.
- Más recientemente, el Centro de investigación en la Epidemiología de Desastres (CRED, 2023) ratifica las tendencias observadas en lo que va del siglo XXI, al informar sobre la ocurrencia, durante el año 2022, de 387 desastres reportados, 30.704 muertes, 185 millones de personas afectadas directa o indirectamente y pérdidas económicas que sobrepasan los 228 mil millones de \$. Por ejemplo, las olas de calor provocaron más de 16.000 muertes, solamente en Europa, mientras que las inundaciones en Pakistán afectaron a 33 millones de personas y provocaron 1.739 fallecidos y pérdidas por el orden de 15 mil millones de \$. Las torrenciales lluvias del Monsón afectaron a la India, Bangladesh y China, causando cerca de 2.000 muertes y pérdidas cercanas a los 17.000 millones de \$.
- De otra parte, la pérdida parcial del casquete de hielo en los polos y la expansión térmica de los océanos en escalas amplias de tiempo pueden originar el aumento del nivel del mar y, a su vez, generar inundaciones en vastas áreas del planeta: las pequeñas islas del Pacífico y las tierras bajas costeras alrededor de todos los continentes, que son las zonas de mayor densidad poblacional en el Globo (Alexeev *et al.*, 2013).

En el ámbito regional, un informe reciente de 60 investigadores, bajo los auspicios de la Academia Nacional de Ciencias, reporta el efecto negativo que está teniendo el cambio climático en Venezuela (López, 2023):

- Reducción de la actividad económica; entre 0,97 y 1,3% del PIB nacional se perdió debido al aumento de las temperaturas y los excesos de lluvias o sequías.
- La mayoría de las zonas coralinas del mar caribe Venezuela han sufrido, o están en riesgo de sufrir, blanqueamiento severo en los próximos 5 años, en una proyección cercana a 60%.
- La producción alimentaria de zonas emblemáticas como el Sur del Lago de Maracaibo, las mesetas productivas y valles de los estados andinos y regiones productoras de los estados Lara, Barinas y Guárico han sido afectadas por inundaciones debidas a lluvias torrenciales o sometidas a sequías por la escasez de húmedas para los cultivos y pastos.