

## CAPITULO I

### Fenómeno de Cambio Climático

Cada vez resulta más evidente que las emisiones de gases de invernadero generadas por el hombre están afectando el clima del planeta. Durante el último siglo se registraron incrementos en la temperatura global que no son explicables en su totalidad por causas naturales, trayendo consigo cambios que van desde el aumento del nivel del mar hasta alteraciones en el comportamiento de los animales como podemos observar en la Figura 1.1. También se esperan modificaciones aún más importantes en el futuro. La solución al problema y sus consecuencias deben involucrar a todos los países, tomando en cuenta sus diferentes condiciones y capacidades tecnológicas.

El cambio climático es sin duda un tema muy relevante en la actualidad y en el futuro cercano, ha pasado en pocos años de los foros científicos al debate político, social y económico. Se ha venido planteando de manera catastrofista y muy centrada en el escaso uso que hacemos de las tecnologías alternativas para mitigar los efectos que tienen en el sistema climático los gases invernaderos.



**Figura 1.1 El cambio climático es un fenómeno que afecta al mundo entero.**

Pero poco se habla de que el cambio climático es una componente, y además no es la más importante, de un proceso emergente más amplio que es el Cambio Global conceptualizado como el conjunto de cambios ambientales que la actividad humana está generando sobre los procesos naturales que condicionan el funcionamiento de nuestro planeta.

Sus componentes por orden de prioridad son los siguientes: cambios de usos del suelo, el cambio climático, el cambio en las comunidades biológicas, la contaminación por Nitrógeno (N) y Fósforo (P) y el incremento de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Considerando las recientes discusiones que han tenido lugar en torno al cambio climático, sus impactos y sus consecuencias, tenemos la inminente necesidad de que tanto el gobierno como la población se sensibilicen ante este asunto que es relevante para México.

### **1.1 Principios Físicos**

La atmósfera terrestre es una película muy delgada, constituida por una masa gaseosa de composición homogénea<sup>2</sup>. Todo contaminante gaseoso que reciba se diluye y acaba distribuyéndose en toda su extensión. Cualquier transformación que sufra la atmósfera en las concentraciones de los gases que forman parte de ella afecta a la biosfera y a la humanidad.

El cambio climático es resultado del uso intensivo de la atmósfera como receptora de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los volúmenes de GEI (especialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)), emitidos durante los últimos años de industrialización, superan la capacidad de captura de la biosfera dando como resultado es el aumento de las concentraciones de estos gases, que obstaculizan la re-emisión de energía hacia el espacio exterior y acrecientan el proceso natural de efecto invernadero.

La contaminación atmosférica ha hecho que las concentraciones de CO<sub>2</sub> pasen de 280 ppm (partes por millón) antes de la revolución industrial, a más de 380 ppm. Si hacemos una equivalencia de todos los GEI en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e) obtenemos un valor de 430 ppm<sup>3</sup>, lo cual representa una gran concentración de contaminación en los últimos años, por lo que a mayor concentración de GEI en la atmósfera, mayor será la opacidad de esta a la radiación infrarroja que emite la superficie terrestre y mayor el efecto invernadero, con la que se elevan la temperatura global y el nivel del mar tanto por dilatación térmica de los océanos como por el derretimiento de los hielos terrestres.

En la Figura 1.2 se aprecia la tendencia de incremento de concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, según la información de la División de Monitoreo Global de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA), donde la línea roja representa los valores promedio mensuales y la línea negra representa los mismos datos corregidos por el promedio del ciclo estacional.

---

<sup>2</sup> La composición seca de la atmósfera terrestre es: 78% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), 21% de oxígeno (O<sub>2</sub>), 0.9% de argón (Ar) y 0.03% de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

<sup>3</sup> Observatorio Mauna Loa Hawaii. 2007.

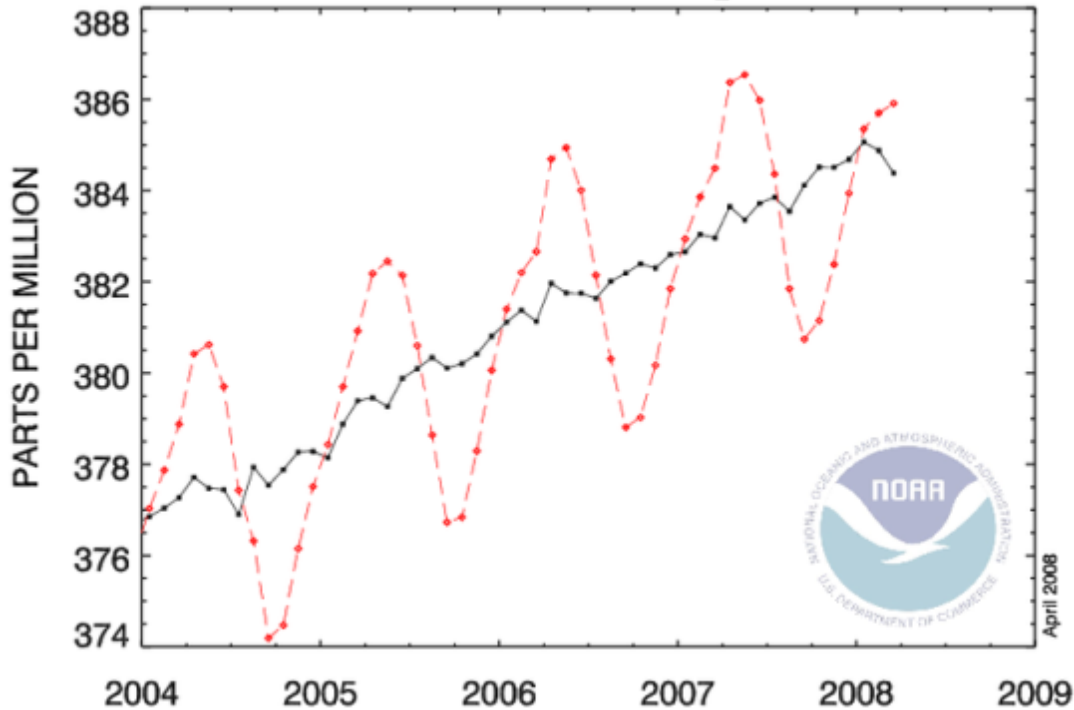


Figura 1.2 Concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> al pasar de los años.  
Fuente: NOAA

El cambio climático es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el mundo hoy en día. Sus efectos son de largo alcance, es decir, trascienden ambientalmente y representa amenazas para muchos procesos en desarrollo. Afectan a cualquier ser vivo en todo el mundo y a su entorno. Uno de los factores que influyen en el cambio climático son las variaciones de gases del efecto invernadero, así como aerosoles en la atmósfera y las variaciones de la radiación solar.

### 1.1.1 Efecto Invernadero

La mayor parte de los gases de efecto invernadero se producen naturalmente, pero en los últimos años la actividad humana también produce estos gases.

La superficie terrestre absorbe radiación solar, la cual es llamada radiación de onda corta. Esta se concentra principalmente en la superficie y la redistribuye por toda la atmósfera y océanos para intentar compensar los contrastes térmicos del ecuador a los polos. La energía recibida es remitida al espacio la cual también es conocida como radiación de onda larga, para mantener en el largo plazo, un balance entre energía recibida y remitida. Los cambios en el clima se deben a la alteración de tal balance, ya sea por cambios en la radiación recibida o remitida, o en su distribución en la Tierra. A los cambios de energía radiactiva se les conoce como forzamientos radiactivos. Cuando éstos son positivos tienden a calentar la superficie de la Tierra. Un enfriamiento se producirá si el forzamiento radiactivo es negativo, como por ejemplo el efecto del niño.

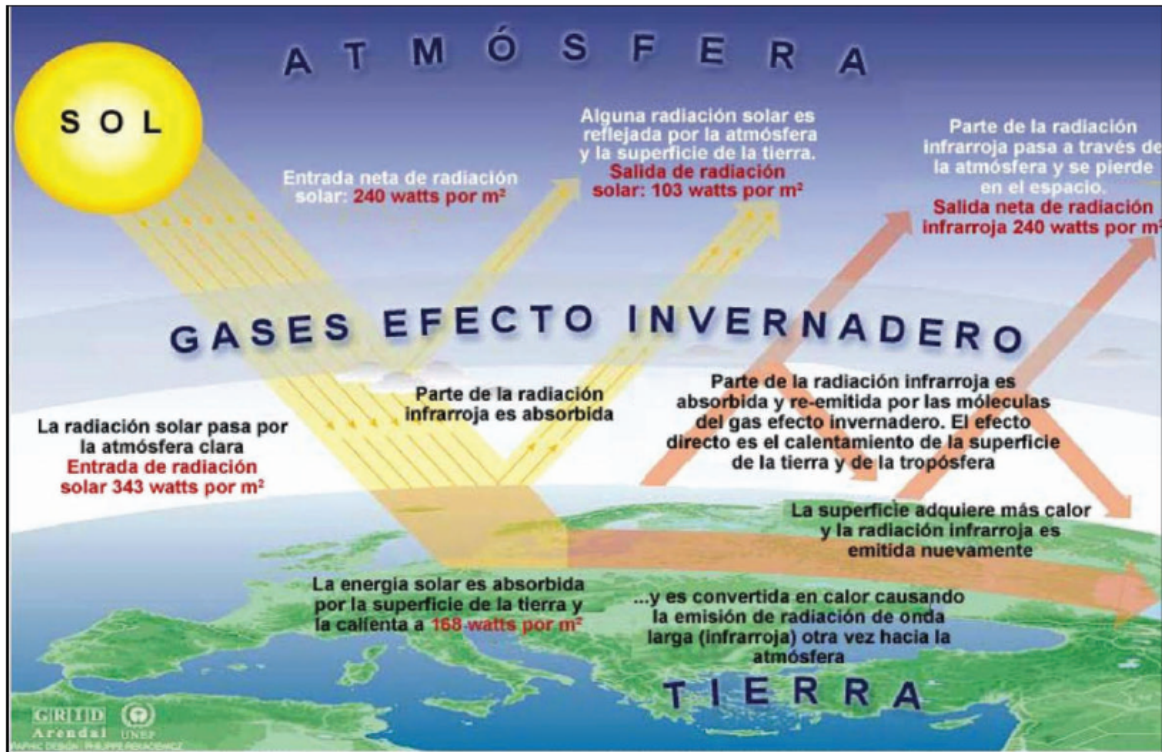


Figura 1.3 Fenómeno del efecto invernadero.

Fuente: PNUMA/WMO, 1996.

El aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero reduce la eficiencia con la cual la Tierra rechaza la energía recibida al espacio. Parte de la radiación saliente de onda larga emitida por la Tierra al espacio es remitida a la superficie por la presencia de esos gases. Así, la temperatura de superficie se eleva para emitir más energía y parte de ella quede atrapada. Otra parte de energía saldrá al espacio para alcanzar el balance radiactivo que mantiene estable el clima, este fenómeno lo podemos observar en la Figura 1.3. Si las concentraciones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, la temperatura de la superficie del planeta mantendrá una tendencia positiva. Si las emisiones de estos gases se estabilizan, los efectos del calentamiento perdurarán mucho tiempo, pues los gases de este tipo tienden a permanecer por muchos años en la atmósfera.

Los aerosoles de origen antropogénico emitidos a la tropósfera, producidos en su mayoría por las industrias o por la quema de bosques, pueden reflejar radiación solar, constituyéndose en un forzante radiativo negativo que enfría el sistema climático. Dado que algunos aerosoles como el hollín de las fábricas, absorben radiación solar, su presencia puede resultar propensa al calentamiento. Sin embargo, la presencia de los aerosoles puede alterar la cantidad y reflectividad de las nubes, por lo que en promedio se estima que su efecto final es el de enfriar el sistema climático. Los volcanes también pueden aportar grandes cantidades de material sulfúrico en la estratosfera, por ejemplo el dióxido de sulfuro que resulta en aerosoles el efecto que producen es enfriar la atmósfera.

Cuando se cambia el forzante radiativo, naturalmente o por actividad humana, el sistema climático responde en varias escalas de espacio y tiempo. Cambios significativos en

el balance radiactivo de la Tierra, incluyendo aquellos debidos al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, alterarán la circulación del mar y la atmósfera y consecuentemente el ciclo hidrológico, lo que se manifestará como cambios en la precipitación y la temperatura en superficie. Las alteraciones en el clima por efecto de la actividad humana afectarán las variaciones naturales de éste en un amplio rango de escalas. Así, la variabilidad natural del sistema climático, como la asociada a fenómenos naturales<sup>4</sup>, podría verse afectada por la influencia humana. La forma como tales impactos del cambio climático de origen antropogénico se manifestarán en los procesos relacionados con la variabilidad natural del clima es aún materia de estudio.

### **1.1.2 Gases de Efecto Invernadero**

El principal gas que genera el efecto invernadero es el CO<sub>2</sub>, el cual ha aumentado en un 75% la concentración de gases de efecto invernadero, debido a las actividades humanas, es decir, el dióxido de carbono se libera principalmente al quemar combustibles fósiles como el carbón, el petróleo o el gas natural debido a que los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía más utilizada.

Otros gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas son el metano y el óxido nitroso, estos forman parte de los gases producidos por los vertederos, las explotaciones ganaderas, y determinados métodos agrícolas de fertilización. También fabricamos artificialmente algunos de los gases de efecto invernadero, los gases fluorados, los cuales se utilizan en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, pero acaban en la atmósfera si se producen fugas.

Los gases de efecto invernadero cubren una amplia gama de gases de origen tanto natural como antropogénico (efecto resultado de actividades humanas). En 1997 se aprobó el PK de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante el cual se controlarán las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFCS), perfluorocarbonos (PFCS) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En el PK se establece el compromiso de 39 países desarrollados y en proceso de transición a economía de mercado que integran el Anexo I del Protocolo de Kioto, de reducir sus emisiones de GEI en no menos de 5%, con respecto a sus emisiones 1990. En el capítulo 2, analizaremos a fondo todos los anexos del Protocolo de Kioto.

### **1.1.3 Características para estimar el efecto invernadero de los gases**

Las características para estimar el efecto invernadero de los gases son el forzamiento radiativo y el potencial de calentamiento global, los cuales describiremos a continuación.

#### **1.1.3.1 El forzamiento radiativo**

Es el cambio en el balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la Tierra (se expresa en Watts por metro cuadrado, W/m<sup>2</sup>), debido a una alteración en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera o bien a cambios en la energía solar que incide en el planeta.

---

<sup>4</sup> Fenómeno de calentamiento y enfriamiento de las aguas oceánicas del Pacífico, mejor conocido como el Fenómeno del Niño y de la Niña respectivamente.

En el periodo comprendido entre 1750 y 2000 se atribuyó el aumento de los gases de efecto invernadero en su conjunto<sup>5</sup>. Este forzamiento lo podemos observar en la Figura 1.4.

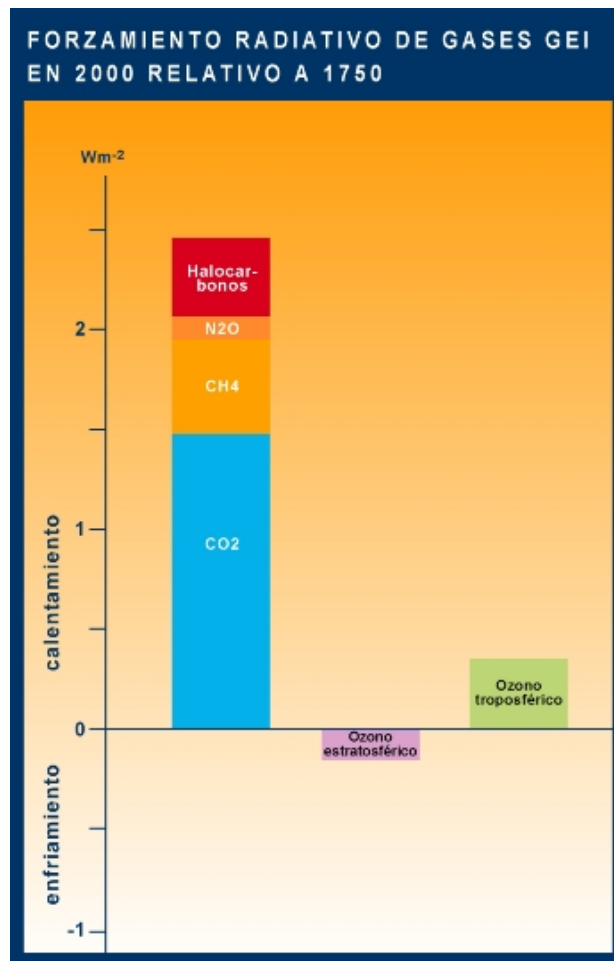


Figura. 1.4 Forzamiento radiativo de GEI.  
Fuente: Informe IPCC 2001.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) estableció que el agotamiento observado en la capa de ozono estratosférico de 1750 al 2000, ha causado un forzamiento radiativo negativo ( $-0.15 \text{ W/m}^2$ ). Al suponer que se cumple con toda la reglamentación actual sobre los halocarbonos<sup>6</sup>, su forzamiento positivo se verá reducido en la misma proporción que el forzamiento radiativo negativo causado por el agotamiento del ozono estratosférico, cuando la capa de ozono se recupere en el siglo XXI.

El ozono en la tropósfera ha aumentado en 36% desde el periodo previo a la industrialización a causa de las emisiones antropogénicas de diversos gases que forman el ozono. El forzamiento radiativo del ozono varía entre regiones y responde mucho más rápidamente a los cambios en las emisiones que aquellos gases de efecto invernadero.

<sup>5</sup> En 2001 la IPCC informó que las emisiones alcanzaron  $2.43 \text{ W/m}^2$ :  $1.46 \text{ W/m}^2$  debido al  $\text{CO}_2$ ,  $0.48 \text{ W/m}^2$  debido al metano,  $0.34 \text{ Wm}^{-2}$  debido a los halocarbonos, y  $0.15 \text{ Wm}^{-2}$  debido al  $\text{N}_2\text{O}$ .

<sup>6</sup> Halocarbonos a base de carbono contienen uno o más elementos del grupo halógeno, como el flúor, cloro y el bromo.

### **1.1.3.2 Potencial de calentamiento Global (PCG)**

El Potencial de calentamiento Global “Es el forzamiento radiativo acumulado de las emisiones de una masa unitaria de gas en relación con un gas de referencia ( $\text{CO}_2$ ), considerando tanto los efectos directos como de los indirectos, en un horizonte de tiempo especificado”<sup>7</sup>. Los efectos directos se presentan cuando el gas en sí es un gas de efecto invernadero; el forzamiento radiativo indirecto se presenta cuando las transformaciones químicas que involucran al gas original, producen un gas o gases que son de efecto invernadero, o cuando un gas afecta los tiempos de vida de otros gases en la atmósfera. El gas de referencia es el dióxido de carbono, éste se mide en partes por millón (ppm) de dióxido de carbono. La expresión utilizada es la siguiente:

Concentración efectiva de  $\text{CO}_2$  = Gases de concentración actual en la tropósfera \*PCG.

Donde:

PCG = Potencial de Calentamiento Global del gas estudiado

Existen otros gases que no tienen un efecto directo de forzamiento radiativo, pero influyen en la formación y destrucción del ozono, el cual tiene un efecto absorbente de la radiación terrestre. Estos gases son referidos como precursores del ozono e incluyen monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano. Los aerosoles son partículas o gotas de líquido extremadamente pequeñas que con frecuencia se producen por las emisiones de bióxido de azufre y otros contaminantes; éstos también pueden afectar las características de absorción de la radiación infrarroja en la atmósfera.

### **1.1.4 Descripción de los gases de efecto invernadero**

A continuación mencionaremos los gases del efecto invernadero:

- Dióxido de Carbono  $\text{CO}_2$
- Vapor de agua  $\text{H}_2\text{O}$
- Metano  $\text{CH}_4$
- Óxido Nitroso  $\text{N}_2\text{O}$
- Halocarbonos y compuestos relacionados. (Clorofluorocarbonos CFCs)
- Ozono  $\text{O}_3$

#### **Dióxido de Carbono $\text{CO}_2$**

En la atmósfera, el carbono existe predominantemente en forma oxidada el cual se conoce como bióxido de carbono. Este gas forma parte del ciclo global del carbono, por lo que su destino es una función compleja de diversos procesos geoquímicos y biológicos. El tiempo de vida del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es de 5 a 200 años. El  $\text{CO}_2$  es emitido a la atmósfera anualmente por medio de los procesos naturales (fuentes) y son absorbidas por los océanos y la biomasa viviente (sumideros). Los flujos continuos más grandes ocurren entre la atmósfera y la biota terrestre y entre la atmósfera y el agua de la superficie de los océanos.

---

<sup>7</sup> IPCC 1996.

En su valoración científica, el IPCC estableció que la cantidad en que se incrementó la presencia del bióxido de carbono en la atmósfera se debe predominantemente a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles de origen fósil y la deforestación. El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> a partir de la industrialización es comparado con las concentraciones relativamente estables de CO<sub>2</sub> (280 ± 10 ppm) de los milenios precedentes. El ritmo medio de aumento desde 1980 es de 0.4% anual. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil; el resto (de 10 a 30%) proviene predominantemente de los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación.

El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero dominante, debido a las actividades humanas, con un forzamiento radiativo actual de 1.46 W/m<sup>2</sup>, que representa 60% del total de los cambios en las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero, muy resistentes, mezclados de manera homogénea en todo el planeta. Para el año 2100, los modelos del ciclo del carbono proyectan concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera entre 540 y 970 ppm; para los escenarios ilustrativos del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones, estas concentraciones son mayores en 90 y 250%, respectivamente, que la registrada en 1750 por el IPCC en el año 2001. El efecto neto de las interacciones climáticas terrestres y oceánicas, según indican los modelos, es un aumento aún mayor en las concentraciones proyectadas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, producto de una absorción insuficiente de CO<sub>2</sub> por los océanos y los continentes.

En conclusión, podemos decir que al respirar, inhalamos oxígeno del aire y exhalamos CO<sub>2</sub>. Esto es parte del proceso de respiración, en tanto que los árboles y las plantas absorben CO<sub>2</sub> para producir oxígeno y obtener energía. Por este motivo son importantes los bosques del planeta, los cuales contribuyen a absorber parte del exceso de CO<sub>2</sub> que estamos produciendo. El CO<sub>2</sub> también es liberado en los incendios forestales y de los volcanes.

### **Vapor de agua H<sub>2</sub>O**

El vapor de agua es sin duda el más importante de los gases de efecto invernadero que ocurren naturalmente, ya que es responsable del 60% de dicho efecto, en comparación con el dióxido de carbono, que aporta tan sólo el 26%. Si bien las actividades humanas no aumentan la cantidad de vapor de agua en la atmósfera directamente, el calentamiento producido por otros gases, como el CO<sub>2</sub>, provoca más evaporación y aumenta la cantidad de vapor de agua que puede contener la atmósfera. De hecho, desde 1988 nuestros satélites han detectado un incremento en la humedad atmosférica sobre los océanos del 7% por grado Celsius de calentamiento. A su vez, este vapor de agua adicional aumenta el calentamiento, porque el vapor de agua es un gas de efecto invernadero. La presencia de más vapor de agua también puede aumentar la producción de nubes, cuyo efecto es complejo, ya que pueden enfriar la atmósfera, reflejando la luz solar, y también calentarla, atrapando el calor.

Si bien las moléculas individuales de los otros gases de efecto invernadero, como el vapor de agua, son más potentes en términos de su capacidad de atrapar el calor, la enorme cantidad de dióxido de carbono introducida en la atmósfera durante el último siglo debido a



las emisiones generadas por el ser humano y la capacidad de dicho gas de permanecer en la atmósfera explican por qué el dióxido de carbono es un tema central de preocupación.

### **Metano CH<sub>4</sub>**

El metano es producido naturalmente por plantas y animales en ambientes sin oxígeno. También viven en el aparato digestivo de los animales, donde contribuyen a descomponer el césped y otras materias orgánicas en nutrientes.

Las actividades agrícolas también producen metano como por ejemplo el cultivo de arroz. El ganado doméstico produce metano y el ganado vacuno y ovino produce aproximadamente 100 millones de toneladas al año. También se emite durante la producción y distribución del gas natural y del petróleo, es liberado como subproducto en la extracción del carbón y en la combustión incompleta de los energéticos fósiles.

El CH<sub>4</sub> tiene un tiempo de vida de 12 años y es eliminado de la atmósfera por reacciones químicas, la potencia de calentamiento atmosférico es 21 veces más que la del dióxido de carbono, según datos obtenidos en el 2006 por el IPCC. El forzamiento radiativo directo actual del metano es de 0.48 W/m<sup>2</sup> y representa 20% del total de los GEI. Se estima que de 60 a 80% de las emisiones actuales de metano provienen de las actividades antropogénicas. Los modelos proyectan cambios en la concentración de metano en la atmósfera entre los años 1998 y 2100, que oscilan entre -90 y +1970 partes por billón en volumen; es decir, una variación de entre -11% y +112% de la concentración registrada en el periodo previo a la industrialización.

### **Óxido Nitroso N<sub>2</sub>O**

El N<sub>2</sub>O se utiliza como fertilizante para aumentar el rendimiento de los suelos agrícolas, especialmente aquellos que utilizan fertilizantes sintéticos y abonos, por ejemplo la combustión de energéticos fósiles especialmente en vehículos. La producción de ácidos atípico y nítrico, el tratamiento de aguas residuales, la combustión de desechos y el quemado de biomasa son las fuentes antropogénicas emisoras del óxido nitroso<sup>8</sup>.

La concentración en la atmósfera de N<sub>2</sub>O en el periodo previo a la industrialización era de 270 ppmm. Para 1994, la cifra fue de 312 partes; es decir, un incremento de 13% atribuido a las actividades antropogénicas<sup>8</sup>, y en 1998 la concentración atmosférica era de 314 ppmm. El tiempo de vida del N<sub>2</sub>O en la atmósfera es de 114 años y una tasa de cambio en la concentración de 0.8 partes por billón en volumen. Su remoción de la atmósfera se realiza fundamentalmente por medio de la acción fotolítica de la luz solar en la estratosfera. El forzamiento radiativo se estima en 0.15 W/m<sup>2</sup>, equivalente a 6% del total de todos los gases de efecto invernadero<sup>9</sup>. En el 2006 según estadísticas del IPCC el óxido nitroso tiene una potencia de calentamiento atmosférico de 310.

La introducción de convertidores catalíticos en los vehículos motorizados, por una parte ayuda a reducir las emisiones de los precursores de ozono; por otra parte, causa un aumento en las emisiones de óxido nitroso. Los modelos proyectan cambios en la concentración de N<sub>2</sub>O en la atmósfera entre los años de 1998 y 2100, que oscilan entre +38 y

---

<sup>8</sup> IPCC 1996.

<sup>9</sup> Albritton y Meira 2001.

+144 ppm; es decir, una variación de entre +12% y +46% de la concentración registrada en el periodo previo a la industrialización<sup>10</sup>.

### **Halocarbonos y compuestos relacionados.**

Los halocarbonos son compuestos de carbono que contienen flúor, cloro, bromo o yodo. En su mayor parte son sustancias químicas producidas por el hombre y que tienen efectos directos e indirectos en el forzamiento radiativo. Los halocarbonos que contienen cloro (por ejemplo los clorofluorocarbonos (CFCs), metilcloroformo, y tetracloruro de carbono) y bromo (como los halones, bromuro de metilo y hidrobromofluorocarbonos (HBFCs)) son sustancias que agotan el ozono de la estratosfera, y están controlados por el Protocolo de Montreal. Estas sustancias, se encuentran en el aerosol y como refrigerantes provocando en la estratosfera la descomposición de moléculas de ozono.

Los halocarbonos controlados por el Protocolo de Kioto son los hidrofluorocarbonos (HFCs) y los perfluorocarbonos (PFCs). Los HFCs son gases utilizados para reemplazar las sustancias agotadoras de la capa de ozono y los PFCs se utilizan como productos intermedios en la fundición de aluminio que constituye la principal fuente, seguida de la fabricación de semiconductores. El tiempo de vida de este compuesto es de 260 años.

Los perfluorocarbonos (PFCs) como el perfluorometano ( $CF_4$ ) y el perfluoroetileno ( $C_2F_6$ ), tienen tiempos de residencia atmosférica extremadamente largos y absorben radiación infrarroja, por lo tanto, estos compuestos, tienen la posibilidad de influir sobre el clima hasta un futuro muy lejano. El  $CF_4$ , por ejemplo, permanece en la atmósfera 50,000 años como mínimo; su concentración en el periodo previo a la industrialización fue de 40 partes por billón en volumen (ppb), en 1998 ascendió a 80 ppb, y tiene una tasa de cambio en concentración de 1 ppb por año. Las emisiones antropogénicas actuales superan a las naturales por un factor de mil o más, y son responsables del aumento observado. Datos obtenidos del IPCC en el 2006, revelan que la potencia de calentamiento atmosférico de los PFCs se encuentran en el orden de 6500 a 9200. En cuanto a los HFCs se encuentran en un rango de 140 a 11700 de potencia de calentamiento atmosférico.

### **Hexafluoruro de azufre**

El hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ) es un gas de efecto invernadero 22,200 veces más eficaz que el  $CO_2$  por unidad de masa (kg). Este gas se utiliza como aislante en interruptores y equipos eléctricos. Es generado también por fugas en procesos de fabricación de algunos semiconductores y manufacturación de magnesio. Las concentraciones actuales en la atmósfera son muy bajas (del orden de 4.2 ppb); sin embargo, tienen una tasa de cambio de concentración importante de 0.24 ppb por año.

El  $SF_6$  alcanzará concentraciones atmosféricas en el periodo de 1998 a 2100 de entre 35 y 65 ppb según informes del IPCC 2001. En el 2006 la potencia de calentamiento atmosférico es de 23900. En la tabla 1.1 se muestra la información resumida de los gases de efecto invernadero antes mencionados.

---

<sup>10</sup> IPCC 2001.

Variable	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC-23	CF <sub>4</sub>	SF <sub>6</sub>
Concentración periodo previo a la industrialización (1750)	280 ppm	700 Ppmm	270	0 ppb	40	0
Concentración en 1998	365 ppm	1745 Ppmm	314 ppmm	14 ppb	80 ppb	42 ppb
Tasa de cambio en concentración	1.5 ppm/año	7.0 ppmm/año	0.8 ppmm/año	0.55 ppb/año	1 ppb/año	0.24 ppb/año
Tiempo de vida en la atmósfera (años)	5-200	12	114	260	>50,000	3,600
Forzamiento radiativo (W/m <sup>2</sup> )	1.46	0.48	0.15	0.002	0.003	0.002
Potencial de Calentamiento Global	1	23	296	12,000	5,700	22,200

**Tabla 1.1 Los gases de efecto invernadero y algunas de sus características.**

**Fuente: IPCC 2001.**

### **Ozono O<sub>3</sub>**

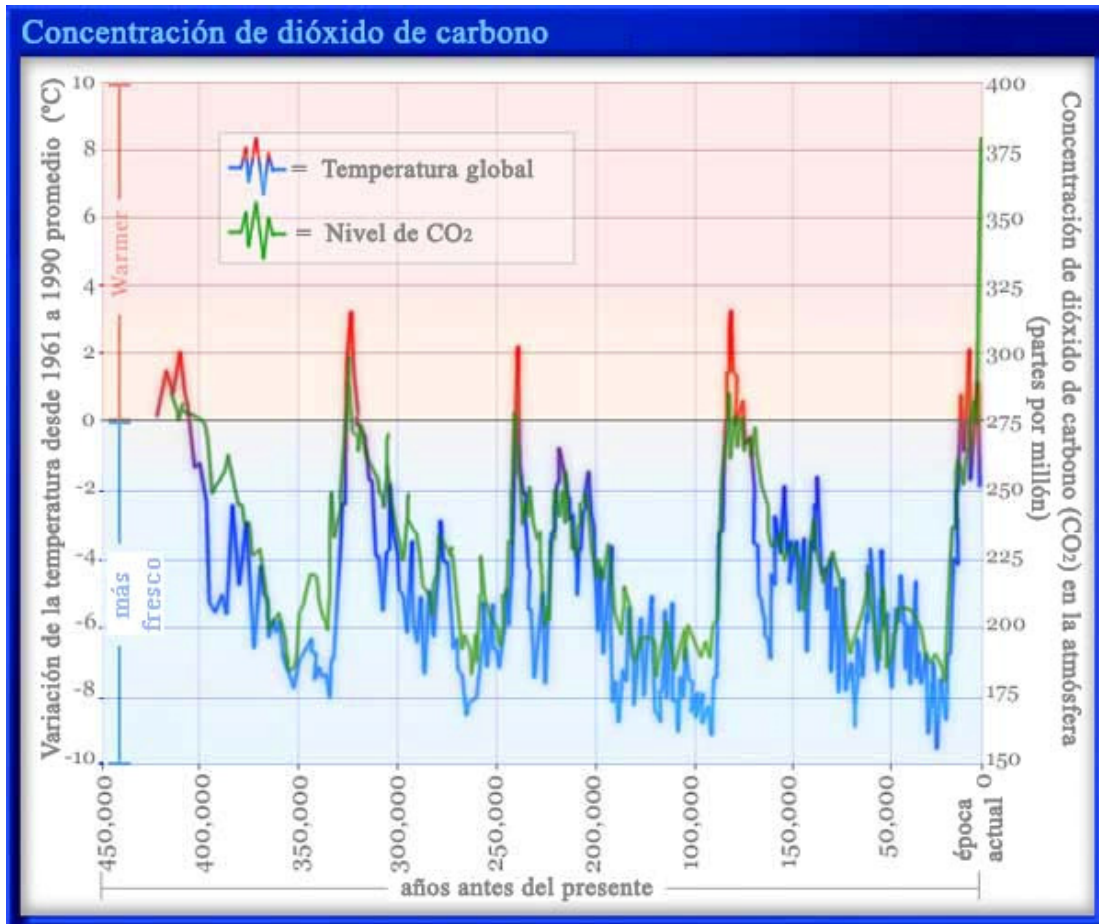
El ozono es una forma de oxígeno en la que tres átomos de oxígeno se combinan en una molécula de O<sub>3</sub>. Normalmente el oxígeno libre forma moléculas de O<sub>2</sub>. La capa de ozono reduce la penetración de la radiación ultravioleta.

Hay dos factores que determinan la magnitud del impacto de un gas de invernadero, los cuales ya hemos mencionado anteriormente. El primero es el Factor o potencia de Calentamiento Global (GWF), su capacidad para absorber y luego liberar el calor. El GWF se establece en 1 para el dióxido de carbono. Los valores para los demás gases indican su potencia con relación al CO<sub>2</sub>. El segundo factor es la cantidad de gas que hay en la atmósfera. La tabla 1.2 muestra ambos factores para los gases de invernadero.

GEI	Factor de Calentamiento Global	Partes de concentración (ppb*)
Dióxido de carbono – CO <sub>2</sub>	1	379.000
Metano – CH <sub>4</sub>	21	1.760
Óxido nitroso – N <sub>2</sub> O	310	320
Clorofluorocarbonos—CFC	5.000 a 14.000	menos de 1

**Tabla 1.2 Factores determinantes de un gas de invernadero. \*Partes por billón**

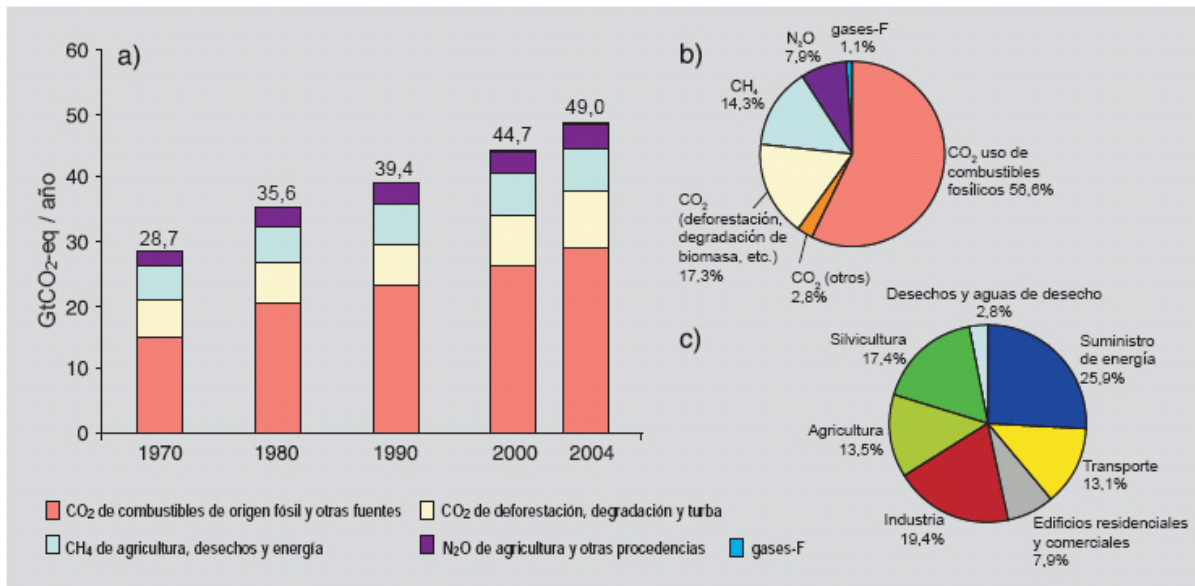
**Fuente: NOAA**



**Figura 1.5 Concentración de dióxido de Carbono en años anteriores.**  
Fuente: NOAA.

Una razón del descenso del CO<sub>2</sub> atmosférico a medida que las temperaturas bajan es que los océanos más fríos pueden disolver más CO<sub>2</sub>. Lo que quiere decir que hay un intercambio permanente de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y los océanos. El gas se disuelve y a su vez es liberado en la atmósfera. El equilibrio es determinado principalmente por la temperatura. En los últimos 425,000 años los períodos frescos coincidieron con épocas en las que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era menor. Cuando hay menos CO<sub>2</sub> en la atmósfera el efecto invernadero se reduce y el clima es más frío. La línea azul indica la variación en la temperatura global promedio comparada con el promedio entre 1961 y 1990. La línea verde muestra la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en la Figura 1.5 se muestran dichas concentraciones de dióxido de carbono.

La Figura 1.6 muestra cuatro eras en las que el mundo se encontraba a temperaturas frías que actualmente no se tienen. La IPCC menciona que las emisiones mundiales de GEI aumentaron en un 70% entre 1970 y 2004.



**Figura 1.6. Cuatro eras en las que el mundo se encontraba a temperaturas frías.**  
Fuente: Informe de síntesis, cambio climático 2007.

a) Emisiones anuales mundiales del GEI.

b) Representa diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO<sub>2</sub>.

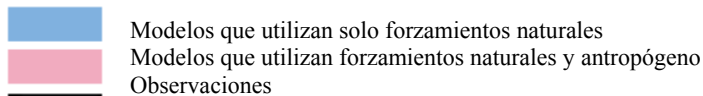
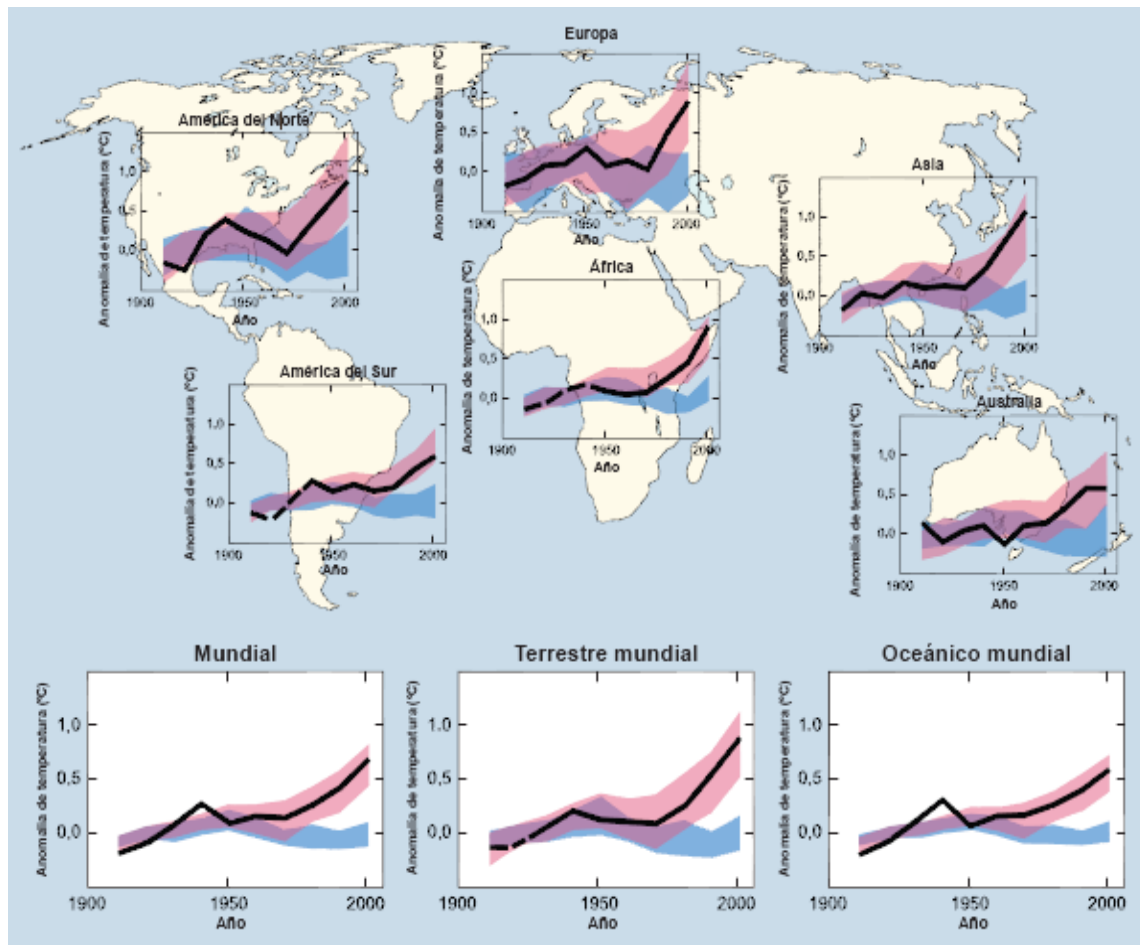
c) Representa diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en términos de CO<sub>2</sub> equivalente.

## 1.2 Evidencias

A lo largo del último siglo, la temperatura media del planeta ha aumentado en 0.6 °C, y la de Europa en particular en casi 1 °C. A nivel mundial, los cinco años más cálidos han sido los siguientes: 1998, 2002, 2003, 2004 y 2001. Esto quiere decir que el cambio climático y el calentamiento global se manifestaron claramente a partir de estas fechas.

El aumento en la temperatura promedio mundial desde el siglo XX, se debe al aumento en la concentración de GEI antropógenos. En la Figura 1.7 podemos observar el calentamiento antropógeno de los últimos cincuenta años en cada continente.

El calentamiento se debe a la creciente cantidad de gases de efecto invernadero emitida por las actividades humanas. Los climatólogos prevén que esta tendencia se acelere, aumentando la temperatura media del planeta entre 1.4 °C y 5.8 °C de aquí a 2100, y las temperaturas en Europa entre 2 °C y 6.3 °C. Solo para darnos una idea durante la última Edad de Hielo (finalizada hace 11,500 años), la temperatura media del planeta era inferior a la actual en 5°C. En base a estos datos concluimos que la variación de la temperatura provoca cambios en el clima del planeta.



**Figura 1.7 Cambios observados de la temperatura superficial a escala continental y mundial, comparados con los resultados simulados mediante modelos del clima que contemplan forzamientos naturales o forzamientos naturales y antropógenos.**

**Fuente: IPCC 2007 Cambio climático 2007. Informe de síntesis.**

El cambio climático repercute a todo el planeta, ya que a largo plazo puede provocar catástrofes naturales, tales como el aumento del nivel del mar, escasez de alimentos y agua. Los países que se verán más afectados son aquellos que no cuentan con suficiente solvencia económica para adaptarse a los nuevos cambios en el clima.

El aumento en la temperatura promedio mundial desde el siglo XX, se debe al aumento en la concentración de GEI antropógenos. En la Figura 1.7 podemos observar el calentamiento antropógeno de los últimos cincuenta años en cada continente.

En los últimos 50 años, la suma de los forzamientos solar y volcánico habría producido un enfriamiento. Las figuras observadas del calentamiento y su variación han sido simuladas mediante modelos que contemplan forzamientos antropógenos.

En el Tercer Informe de Evaluación (TIE) del IPCC celebrado en el 2007, se llegó a la conclusión que los seres humanos provocó la elevación de la temperatura del planeta generando:

- El aumento del nivel del mar durante la segunda mitad del siglo XX.
- Alteración del aire, el cual afecta la temperatura.
- Cambios en la temperatura de las noches cálidas, de las noches frías y de los días fríos.
- Mayor frecuencia de en las olas de calor, las cuales provocan sequías y precipitaciones climáticas.
- Aumento frecuente de las temperaturas primero en el continente y posteriormente sobre los océanos.
- El derretimiento de los glaciares.
- Incremento del vapor de agua en la atmósfera, provocando precipitación.
- Incremento en la intensidad y frecuencia de los ciclones tropicales y huracanes, aumentando el riesgo en los países en pobreza extrema.

### **1.3 Aumento de la temperatura global medida**

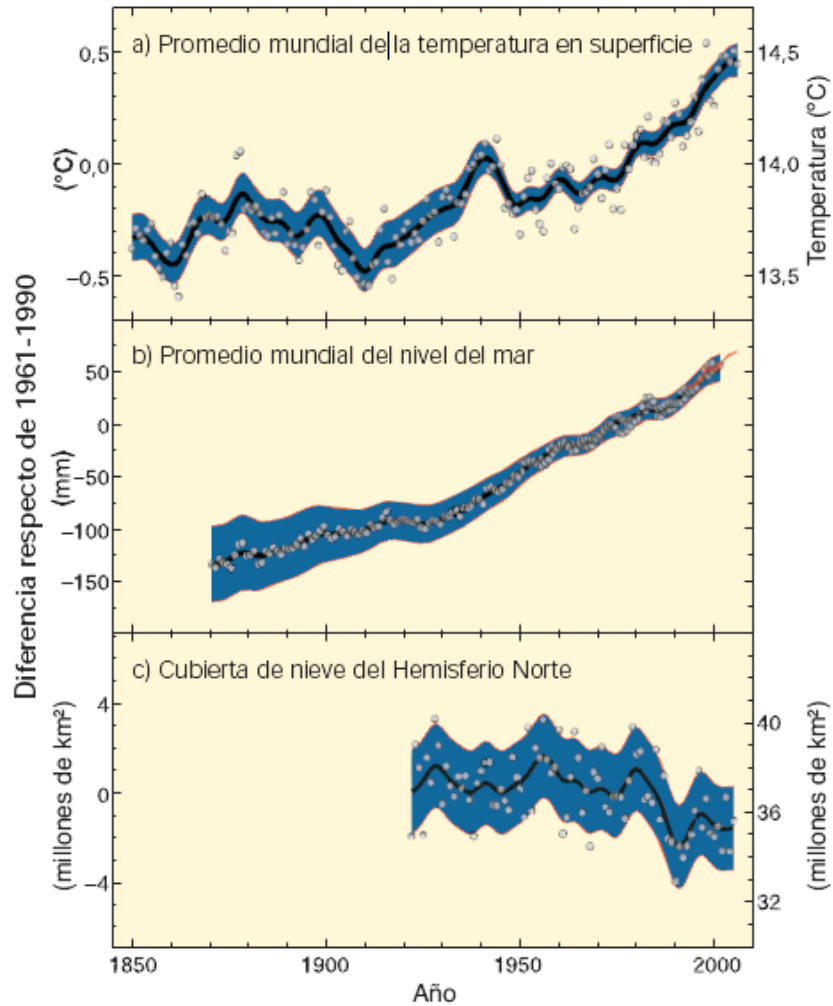
El calentamiento del sistema climático es evidente, lo podemos comprobar en el aumento mundial de la temperatura del aire y del océano, el aumento en el deshielo y el aumento del nivel del mar a nivel mundial.

Los últimos once años han sido los más cálidos. La tendencia a 100 años (1906-2005), cifrada en  $0.74^{\circ}\text{C}$  [entre  $0,56^{\circ}\text{C}$  y  $0,92^{\circ}\text{C}$ ]<sup>11</sup> es superior a la tendencia correspondiente de  $0.6^{\circ}\text{C}$  [entre  $0.4^{\circ}\text{C}$  y  $0.8^{\circ}\text{C}$ ] (1901-2000) indicada en el (TIE) realizada en 2007<sup>12</sup> y lo podemos analizar en la Figura 1.8.

---

<sup>11</sup> Las cifras entre corchetes indican un intervalo de incertidumbres del 90%.

<sup>12</sup> Este informe fue publicado en el año 2008.



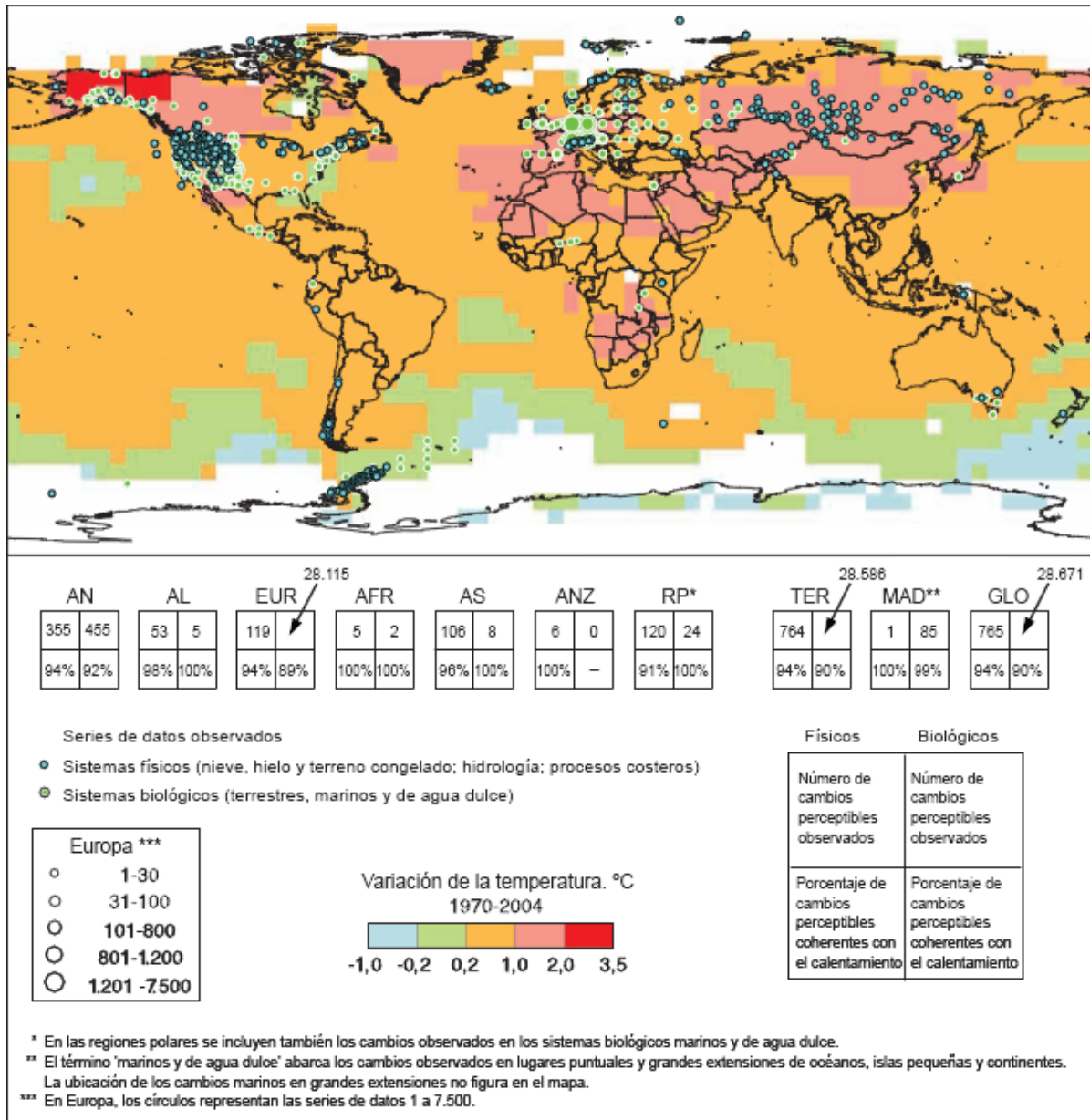
**Figura 1.8 Variación observada de:**

- a) El promedio mundial de las temperaturas en superficie;**
- b) El promedio mundial del nivel del mar a partir de datos mareométricos (azul) y satelitales (rojo); y**
- c) La cubierta de nieve del Hemisferio Norte durante marzo-abril.**

**Fuente: IPCC 2007 Cambio climático 2007. Informe de síntesis.**

Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes superiores. Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. En la Figura 1.9 observamos los cambios experimentados por los sistemas físicos, biológicos y por la temperatura superficial entre 1970 a 2004.





**Figura 1.9** Ubicación de los cambios significativos constatados en las series de datos de los sistemas físicos (nieve, hielo y terreno congelado; hidrología; y procesos costeros) y en los sistemas biológicos (sistemas biológicos terrenos, marinos y de agua dulce), y variación de la temperatura del aire en superficie durante el período 1970-2004.

Fuente: IPCC 2007 Cambio climático 2007. Informe de síntesis.

El aumento de nivel del mar concuerda con este calentamiento. En promedio, el nivel de los océanos mundiales ha aumentado desde 1961 a un promedio de 1.8 (entre 1.3 y 2.3) mm/año, y desde 1993 a 3.1 (entre 2.4 y 3.8) mm/año, en parte por efecto de la dilatación térmica y del deshielo de los glaciares de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares.

Entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó notablemente en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa y Asia central, aunque disminuyó en el

Mediterráneo, en el sur de África. En todo el mundo, la superficie afectada por las sequías ha aumentado desde 1970.

Las temperaturas del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron superiores a las de cualquier otro período de 50 años de los últimos 500 años. En todos los continentes y en los océanos los sistemas naturales son afectados por cambios en el clima, en especial por el aumento de la temperatura.

En los ecosistemas se ha alterado la anticipación de las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), el desplazamiento hacia los polos, el cambio de la geografía de la flora y fauna.

#### **1.4 Otros impactos**

En la actualidad existen otros efectos del cambio climático sobre el medio ambiente natural y humano. En particular el aumento de la temperatura afectaría:

- El medio agrícola y forestal del Hemisferio Norte, por ejemplo la anticipación de la plantación de los cultivos en primavera, y en alteraciones en los bosques de incendios y plagas.
- En la salud humana se presentará la mortalidad a causa del calor en Europa, la alteración de enfermedades infecciosas.
- La actividad humana en varias regiones, por ejemplo la caza, viajes y deportes a través de nieve o hielo y de montaña.