

## 1.1 Atmósfera.

La atmósfera es una delgada capa gaseosa que rodea a la tierra y que, por acción de la fuerza de gravedad, sirve de protección y permite el desarrollo de la vida en la tierra. De hecho, sin la atmósfera la vida en la Tierra no podría existir, ya que provee a los diversos organismos con gases indispensables para poder vivir, forma parte importante en el ciclo hidrológico, sirve de protección al filtrar y absorber ciertas radiaciones solares y cósmicas y distribuye el calor emitido por el sol en toda la Tierra.

La atmósfera tuvo su origen después de la formación del planeta, al escapar de su interior una gran cantidad de gases cuando comenzó a enfriarse y actualmente, su densidad presenta un máximo de densidad de acuerdo a su proximidad con la superficie de la Tierra y paulatinamente se vuelve menos densa conforme se asciende en altura.

### 1.1.1 Composición de la atmósfera.

Actualmente, los gases esenciales que forman la atmósfera y su proporción en la misma son los presentados en la tabla 1.1.

*Tabla 1.1 Gases que componen la atmósfera.*

Gas	% en volumen
Nitrógeno	78.000
Oxígeno	20.033
Vapor de agua	1.000
Argón	0.934
CO <sub>2</sub>	0.033

Además del nitrógeno, el oxígeno, el argón, el dióxido de carbono y el vapor de agua existen otros gases tales como ozono, metano, hidrógeno, monóxido de carbono, amoníaco, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y gases nobles no participantes en reacciones químicas (neón, helio, criptón, xenón).

### 1.1.2 Funciones de la atmósfera.

Las funciones de la atmósfera sobre el planeta son numerosas y muy variadas:

- Contener los gases esenciales para la vida, tales como el oxígeno necesario para los seres animales y el dióxido de carbono necesario para que las plantas puedan realizar la fotosíntesis.
- Completar el ciclo del agua, ya que gracias a las precipitaciones el agua que se evapora regresa a la superficie terrestre.
- Filtrar las radiaciones solares nocivas, debido a la existencia de la capa de ozono es capaz de obstaculizar cerca del 90 % de los rayos ultravioletas provenientes del sol.

- Impedir la caída constante de material proveniente del espacio, ya que la gran mayoría de meteoritos que son atraídos por el campo gravitatorio de la Tierra se volatilizan por el contacto con los gases atmosféricos durante su caída.
- Evitar grandes contrastes térmicos.

### 1.1.3 Características físicas y químicas de la atmósfera.

Las características físicas y químicas de la atmósfera y el balance calorífico de la Tierra están determinadas por los procesos de transferencia de energía que ocurren en la atmósfera. No toda la energía solar que llega a la atmósfera alcanza la superficie de la tierra. Existen tres fenómenos atmosféricos que modifican la radiación solar que la atraviesa:

**Dispersión:** ocurre cuando las partículas pequeñas y las moléculas de gases dispersan parte de la radiación solar en direcciones aleatorias, sin alterar la longitud de onda de las mismas. La cantidad de radiación dispersada depende de dos factores: la longitud de onda de la radiación y el tamaño de las partículas y moléculas de los gases.

**Absorción:** fenómeno que ocurre cuando algunos gases son capaces de absorber parte de la radiación solar y la convierten en calor. La absorción de energía calorífica por los gases hace que éstos emitan también su propia radiación, pero de longitudes de onda mayores (infrarrojo).

**Reflexión:** fenómeno que consiste en que parte de la radiación solar incidente es reflejada al espacio. Este fenómeno es atribuible en gran medida a las nubes y partículas presentes en la atmósfera. La luz solar que alcanza la superficie terrestre sin ser modificada se denomina radiación solar directa; mientras que la radiación solar que alcanza la superficie terrestre después de ser alterada por el proceso de difusión se denomina radiación solar difusa. Así, toda la radiación que alcanza la atmósfera terrestre, solamente el 51% alcanza la superficie terrestre y no toda la radiación solar que alcanza la superficie terrestre puede ser utilizada. Esto se debe a que, al igual que ocurre en la atmósfera, la superficie terrestre refleja parte de esa radiación y la reflexión depende de los materiales que la forman.

## 1.2 Cambio Climático.

La temperatura media de la superficie terrestre ha subido más de 0.6°C desde los últimos años del siglo XIX. Se prevé que aumente de nuevo entre 1.4°C y 5.8°C para el año 2100, lo que representa un cambio rápido y profundo. Aun cuando el aumento real sea el mínimo previsto, será mayor que en cualquier siglo de los últimos 10,000 años.

La razón principal del aumento de la temperatura es un proceso de industrialización iniciado hace siglo y medio y, en particular, la quema de combustibles fósiles, la tala de bosques y algunos métodos de explotación agrícola.

Estas actividades han aumentado el volumen de "Gases de Efecto Invernadero" (GEI) en la atmósfera, sobre todo de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Estos

gases se producen naturalmente y son fundamentales para la vida en la Tierra; impiden que parte del calor solar regrese al espacio, y sin ellos el mundo sería un lugar frío y desierto. Pero cuando el contenido de estos gases es considerable y crece sin descanso, provocan temperaturas artificialmente elevadas y modifican el clima. El decenio de 1990 parece haber sido el más cálido del último milenio, y 1998 el año más caluroso.

Según las previsiones, la actual tendencia hacia el calentamiento provocará algunas extinciones. Numerosas especies vegetales y animales, debilitadas ya por la contaminación y la pérdida de hábitat, no sobrevivirán los próximos 100 años. El ser humano, aunque no se ve amenazado de esta manera, se encontrará probablemente con dificultades cada vez mayores.

Según las previsiones, los rendimientos agrícolas disminuirán en la mayor parte de las regiones tropicales y subtropicales, pero también en las zonas templadas si el aumento de la temperatura es de más de unos grados. Se prevé también un proceso de desertificación de zonas continentales interiores, por ejemplo el Asia central, el Sahel africano y las Grandes Llanuras de los Estados Unidos. Estos cambios podrían provocar, como mínimo, perturbaciones en el aprovechamiento de la tierra y el suministro de alimentos. La zona de distribución de enfermedades como el paludismo podría ampliarse.

El nivel del mar subió por término medio entre 10 y 20 centímetros durante el siglo XX, y para el año 2100 se prevé un aumento adicional de 9 a 88 cm (el aumento de las temperaturas hace que el volumen del océano se expanda, y la fusión de los glaciares y casquetes polares aumenta el volumen de agua). Si se llega al extremo superior de esa escala, el mar podría invadir los litorales fuertemente poblados de países como Bangladesh, provocar la desaparición total de algunas naciones (como el Estado insular de las Malvinas), contaminar las reservas de agua dulce de miles de millones de personas y provocar migraciones en masa.

El calentamiento atmosférico es un problema "moderno": es complicado, afecta a todo el mundo y se entremezcla con cuestiones difíciles como la pobreza, el desarrollo económico y el crecimiento demográfico. No será fácil resolverlo. Ignorarlo, sería todavía peor.

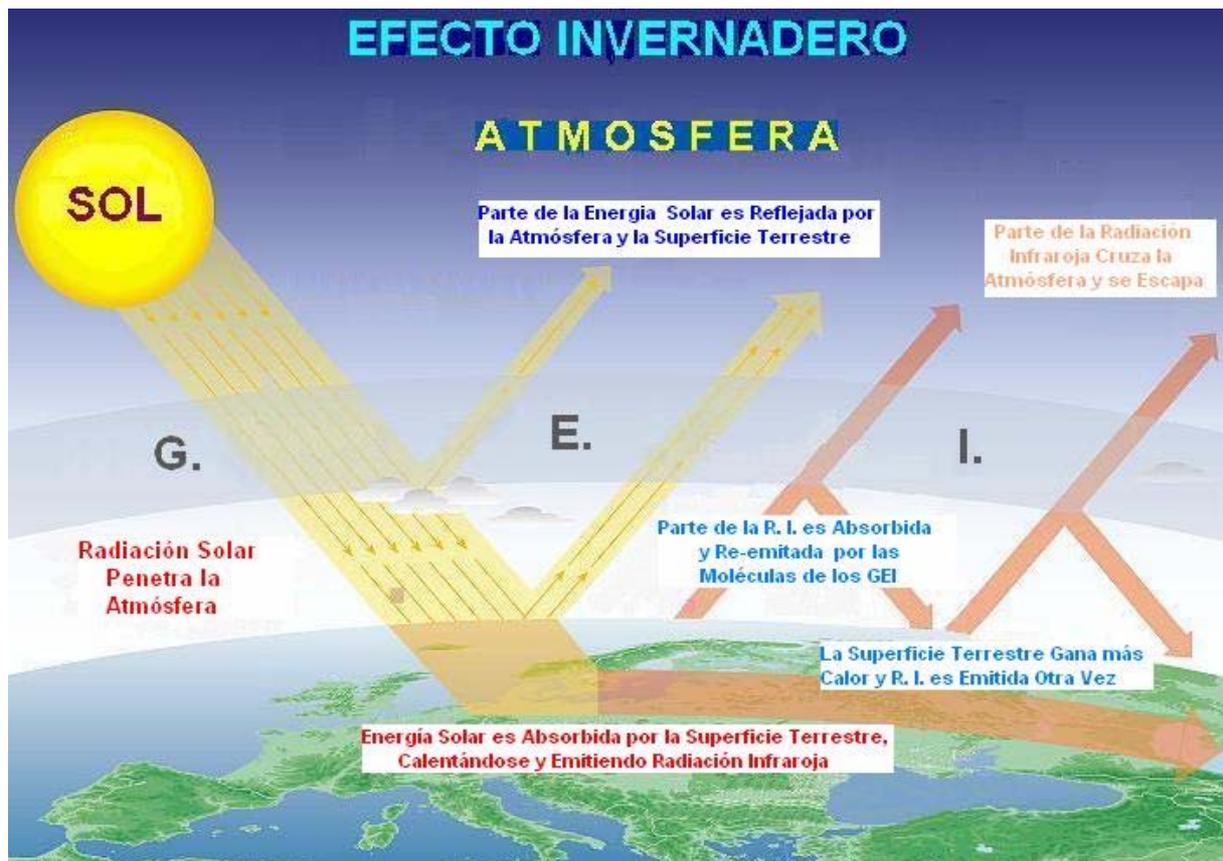
### 1.3 Efecto Invernadero y principales gases.

El efecto invernadero es un proceso natural mediante el cual las moléculas de oxígeno, nitrógeno, agua, anhídrido carbónico y del ozono son casi transparentes a la luz solar pero las moléculas de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y CFC's son parcialmente opacas a las radiaciones infrarrojas, es decir, que absorben a las radiaciones infrarrojas emitidas por el suelo que ha sido calentado por la luz solar. Cuando la radiación infrarroja<sup>1</sup> choca con las moléculas de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> y CFC's es absorbida por ellas. Estas moléculas que vibran, se mueven y emiten energía en forma de rayos invisibles e infrarrojos en todas direcciones, provocan el fenómeno conocido como efecto invernadero, el cual se refiere al calentamiento global debido a la acumulación de los gases de efecto invernadero

<sup>1</sup> Los **rayos infrarrojos** o **radiación térmica** son un tipo de radiación electromagnética de una longitud de onda superior a la de la luz visible pero más corta que la de las microondas. El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo. El rojo es el color de longitud de onda más larga de la luz visible, comprendida entre 700 nanómetros y un milímetro.

provocada por la actividad humana, principalmente desde la revolución industrial por la quema de combustibles fósiles y la producción de nuevos productos químicos que mantiene caliente la atmósfera terrestre. Las radiaciones rebotan entre la mezcla de moléculas que componen a la atmósfera hasta que finalmente escapan al espacio sideral. Una delgada capa de gases de efecto invernadero atrapa radiación y aumenta la temperatura. Lo anterior se ilustra en la figura 1.1.

Figura 1.1 Efecto Invernadero.



Fuente: Okanagan University College de Canadá, Departamento de Geografía; Organismo de protección de medio ambiente (EPA) de los Estados Unidos, Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribución del grupo de trabajo 1 al segundo informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, PNUMA y Organización Meteorológica Mundial (OMM), Cambridge University Press, 1996. GRID Arendal.

### Principales gases de efecto de invernadero.

Los gases de invernadero son principalmente el vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los considerados indirectos por contribuir a la formación atmosférica del ozono: monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV). En las últimas décadas a éstos se les han sumado otros manufacturados por el hombre, como los clorofluorocarbonos (CFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hidrofurocarbonos (HFCs) y hexafloruro de azufre.

El potencial de calentamiento global (PCG) se define como la relación entre la capacidad de un gas de efecto invernadero de almacenar calor en la atmósfera con la capacidad de dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ). En la tabla 1.2 se pueden observar las principales fuentes y características de los gases de invernadero más importantes.

Tabla 1.2 Gases de Efecto Invernadero.

Gas	Fuentes	Símbolo Químico	Vida atmosférica (años)	PCG a 100 años
Dióxido de Carbono	Quema de combustibles fósiles (carbón, derivados de petróleo y gas), producción de cemento, cambio de uso de suelo.	CO <sub>2</sub>	50-200 <sup>2</sup>	1
Metano	Descomposición anaerobia (Cultivo de arroz, rellenos sanitarios, estiércol), minas y pozos petroleros.	CH <sub>4</sub>	12	21
Oxido Nitroso	Producción de fertilizantes, quema de combustibles fósiles.	N <sub>2</sub> O	120	310
Hidrofluorocarbonos (HFC)	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	HFC23 (CHF <sub>3</sub> ) HFC125 (CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> ) HFC 134a (CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub> ) HFC 152a (CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	1.5 - 264	140 -11,700
Perfluorocarbonos (PFC)	Emitidos en procesos de manufactura y usados como refrigerantes.	CF <sub>4</sub> C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	100-2000	6,500 – 9,200
Hexafluoruro de Azufre	Emitido en procesos de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico	SF <sub>6</sub>	3,200	23,900

Fuente: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP. 1996.

<sup>2</sup> En el caso del CO<sub>2</sub> no es posible definir una vida atmosférica específica debido a las diferentes tasas de absorción de los diferentes procesos de secuestro.

Como se puede ver, algunos de ellos tienen mayor capacidad para retener radiación térmica que otros lo que se conoce como PCG. El metano, por ejemplo, es 21 veces más potente como gas de invernadero que el dióxido de carbono.

Si se observa el PCG, numéricamente se podría decir que el valor menos relevante es el de CO<sub>2</sub>, pero se debe señalar que es el gas que más se emite a la atmósfera debido a las actividades humanas. Asimismo, los otros gases son importantes en los mecanismos de reacción ya que pueden presentar efectos secundarios como es la formación de ozono antropogénico. Además, por pequeñas que sean las variaciones, inciden considerablemente en los resultados, pues sólo hay 0.002 de N<sub>2</sub>O y aplicando el potencial de calentamiento aumenta su magnitud.

## **1.4 Cambios de clima observados.**

### **1.4.1 Temperaturas registradas en superficie y en los océanos.**

La temperatura promedio global de la superficie se ha incrementado en  $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  desde la segunda mitad del siglo XIX. La década de los 90's fue muy probablemente la década más caliente, y 1998 (año de Niño) fue el año más caliente de los registrados desde 1861. Los calentamientos más recientes han sido mayores en tierra que en los océanos.

Los patrones regionales de calentamiento que sucedieron a principios del siglo XX, fueron distintos a los que ocurrieron en la segunda mitad. El periodo de calentamiento más reciente (1976 a 1999) ha sido casi global, pero los mayores cambios de temperatura han ocurrido sobre latitudes medias y grandes de los continentes del hemisferio norte.

Nuevos análisis indican que el contenido global de calor del océano se ha incrementado significativamente desde finales de los 50's. Más de la mitad del incremento de contenido de calor ha ocurrido en la parte superior de 300m del océano, el cual es equivalente a una tasa de incremento de temperatura en esa capa de  $0.04^{\circ}\text{C}/\text{década}$ .

Nuevos análisis de las temperaturas de superficie máximas y mínimas de 1950 a 1993, muestran que el rango de la temperatura diurna está disminuyendo ampliamente, pero no es generalizado. En promedio, las temperaturas mínimas están incrementando  $0.2^{\circ}\text{C}/\text{década}$  mientras que las temperaturas máximas a razón de  $0.1^{\circ}\text{C}/\text{década}$ .

### **1.4.2 Temperaturas en las capas superiores de registros de satélite y globos meteorológicos.**

Mediciones de temperatura de superficie, globos y satélite muestran que la troposfera y la superficie de la Tierra se ha calentado y la estratosfera se ha enfriado. En el periodo corto de tiempo en que ha habido datos de mediciones de satélites y globos meteorológicos (desde 1979), los datos de estos últimos muestran un calentamiento significativamente menor en la troposfera baja que el observado en la superficie. Los análisis de las tendencias desde 1958 de los 8km más bajos de la atmósfera y superficie muestran un calentamiento de  $0.1^{\circ}/\text{década}$ . Sin embargo, desde el inicio de los registros

de datos de satélites en 1979, los datos de temperatura de ambos satélites y globos meteorológicos muestran un calentamiento, en la troposfera media a baja, de aproximadamente  $0.05 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$  por década. La temperatura promedio de superficie se ha incrementado significativamente en  $0.15 \pm 0.05^{\circ}\text{C}/\text{década}$ .

### 1.4.3 Cambios observados en la cubierta de nieve y extensión de capas de hielo continentales y en el océano.

La disminución de la cubierta de nieve y la extensión continental de capa de hielo siguen estando correlacionados con el aumento de temperatura en la superficie terrestre. Los datos de satélites muestran que desde 1960, ha habido una disminución del orden del 10% en la extensión de la cubierta de nieve.

Las cantidades de hielo en el océano del Hemisferio Norte ha disminuido, pero no hay tendencias marcadas en la extensión de las capas de hielo en los océanos del Antártica. Desde los 50's, ha habido un retroceso en la primavera y verano de un 10 a 15% de la extensión de hielo del Océano Ártico, que son consistentes con el incremento de temperatura de primavera y de menor grado con las temperaturas de verano en latitudes altas. El Hemisferio Sur la extensión de la capa de hielo ha permanecido estable, o más aún ha incrementado ligeramente.

Existen datos nuevos que indican que ha habido una disminución del orden de 40% del grosor de la capa de hielo en el Océano Ártico a fines del verano y principios del otoño en el periodo de 1958 a 1976 y a mediados de los 1990s, y una disminución menor en invierno.

### 1.5 Efectos futuros.

En la tabla 1.3 se muestran algunos ejemplos de variabilidad climática, sus episodios climáticos extremos y repercusiones.

Tabla 1.3 Efectos futuros en el clima.

Cambios proyectados	Efectos proyectados
Temperaturas máximas más elevadas, más días calurosos y oleadas de calor en casi todas las zonas terrestres. <b>Prognosis: muy probable</b>	▲ Incidencia de defunciones y graves enfermedades en personas de edad y en la población rural pobre. ▲ Estrés térmico en el ganado y en la flora y fauna silvestres. ▲ Riesgo de daños a varios cultivos. ▲ Demanda de refrigeración eléctrica. ▼ Fiabilidad del suministro de energía.
Temperaturas mínimas más elevadas, y menos días fríos, días de heladas y oleadas de frío en casi todas las zonas terrestres. <b>Prognosis: muy probable</b>	▼ Morbilidad y mortalidad humana relacionada con el frío. ▼ Riesgo de daños para varios cultivos. ■ Distribución y actividad de algunas plagas y vectores de enfermedades. ▼ Demanda de energía calorífica.
Episodios de precipitaciones más intensas. <b>Prognosis: muy probable, en muchas zonas</b>	▲ Daños provocados por inundaciones, desprendimientos de tierras y avalanchas. ▲ Erosión del suelo. ▲ La escorrentía de las inundaciones podría aumentar la recarga de los acuíferos de algunas llanuras de inundación. ▲ Presión sobre los sistemas públicos y privados de socorro en caso de desastre y de seguro frente a inundaciones.

Fuente: (Basado en) IPCC 2001. Tercer informe de evaluación

Continuación Tabla 1.3 Efectos futuros en el clima.

Cambios proyectados	Efectos proyectados
Mayor deshidratación veraniega en la mayor parte de las zonas continentales interiores de latitud media y riesgo asociado de sequía. <b>Prognosis: probable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Rendimientos de los cultivos.</li> <li>▲ Daños en los cimientos de los edificios provocados por la contracción del suelo.</li> <li>▲ Riesgo de incendios forestales.</li> <li>▼ Cantidad y calidad de los recursos hídricos.</li> </ul> interiores de latitud media y riesgo asociado de sequía.
Aumento de las intensidades eólicas máximas de los ciclones tropicales, y de la intensidad de las precipitaciones medias y máximas. <b>Prognosis: probable, en algunas zonas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Riesgos para la vida humana, riesgo de epidemias de enfermedades infecciosas.</li> <li>▲ Erosión costera y daños en los edificios de infraestructura de la costa</li> <li>▲ Daños en los ecosistemas costeros, como los arrecifes de coral y los manglares.</li> </ul>
Intensificación de las sequías e inundaciones asociadas con El Niño en muchas regiones. <b>Prognosis: probable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Productividad agrícola y de los pastizales en las regiones expuestas a la sequía y las inundaciones.</li> <li>▼ Potencial de generación de electricidad en las regiones expuestas a la sequía.</li> </ul>
Mayor variabilidad de las precipitaciones del monzón de verano en Asia. <b>Prognosis: probable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Magnitud de las inundaciones y de la sequía y daños en las tierras templadas y tropicales de Asia.</li> </ul>
Mayor intensidad de las tormentas de latitud media. <b>Prognosis: poco acuerdo entre los modelos actuales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Riesgos para la vida y la salud humana.</li> <li>▲ Pérdidas de bienes materiales e infraestructura.</li> <li>▲ Daños en los ecosistemas costeros.</li> </ul> <b>Claves:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Aumento</li> <li>■ Ampliación</li> <li>▼ Disminución</li> </ul>

Fuente: (Basado en) IPCC 2001. Tercer informe de evaluación

Debido a los problemas mencionados en este capítulo, la Organización de las Naciones Unidas, tomó algunas medidas para controlar los efectos causados por las actividades antropogénicas, como por ejemplo el Protocolo de Kyoto entre otras, mismas que se explican en el siguiente capítulo.