

CAPITULO 12. IMPACTOS HUMANOS EN EL CLIMA.

12.1 EL SISTEMA CLIMÁTICO.

El sistema climático considera los intercambios de energía y humedad que se producen en la atmósfera, hidrosfera, tierra sólida, criosfera y biosfera. La atmósfera es el componente central del sistema medio ambiental global interactivo y completo del que depende la vida. El clima puede ser definido en forma muy amplia como el comportamiento de largo plazo de este sistema medioambiental. Para entender el clima totalmente y predecir los cambios climáticos, se debe entender el comportamiento del Sol, los océanos, los hielos, la tierra sólida y todas las formas de vida en la biosfera.

Existe evidencia observacional de que el clima está cambiando, esto se puede detectar con la gran tecnología e instrumentos de precisión disponibles para estudiar la dinámica de la atmósfera. Pero estos instrumentos son recientes y los datos se comenzaron a obtener sólo hace muy poco tiempo comparado con eras geológicas. Para entender el comportamiento del sistema climático y predecir sus cambios futuros, se debe saber como ha cambiado el clima en largos periodos de tiempo. Se usan algunas técnicas para analizar el clima y reconstruir las temperaturas del pasado, desde cientos a miles de años atrás, como análisis de los sedimentos del fondo del océano, de los isótopos de oxígeno, del crecimiento anual de los anillos de los árboles, de polen contenido en sedimentos, de sólidos y fósiles enterrados y de corazones de hielo.

Los científicos han aprendido a calcular la edad de objetos antiguos con relojes que funcionan en los átomos mismos que los forman. Pueden elegir entre diferentes clases de relojes naturales, según la escala de tiempo con la que trabajen. Para el periodo que va hasta hace unos 40 mil años, se basan en el carbono radiactivo. ¿De donde proviene el carbono radiactivo? Cuando los átomos del mismo elemento tienen un número diferente

de neutrones, se les llama isótopos. Un átomo radiactivo es un isótopo inestable que se descompone a un ritmo constante en un átomo estable. El carbono normalmente tiene seis protones y neutrones, lo que le da el nombre de carbono 12. Pero existe carbono con ocho neutrones, llamado carbono 14, que es un isótopo radiactivo. Si se envasara un kilo de carbono 14, la mitad de él se desintegraría en 5730 años; después de otros 5730, sólo quedaría la cuarta parte, este período se llama vida media del carbono 14. Las plantas y los animales absorben dióxido de carbono del aire y contienen cantidades constantes de carbono, tanto 12 como 14, pero cuando mueren, la cantidad de carbono 14 comienza a disminuir. Comparando la cantidad de carbono 14 con la cantidad total de carbono en el material, se puede calcular cuanto tiempo hace que la planta o animal murió.

Objetos de mas de 40 mil años tienen tan poco carbono 14, que se buscan otros métodos para fecharlos. El uranio 235 se descompone en plomo 207 a un ritmo tal que la mitad de sus átomos se transforman en plomo cada 704 millones de años. Si se cuenta el número de cada tipo de átomos en una muestra intacta, se puede saber cuando comenzó su descomposición. El uranio 238 se desintegra en plomo 206 con una vida media de 4470 millones de años. Con este reloj se ha determinado la edad de la Tierra, calculada en 4550 millones de años. Y hay otros...

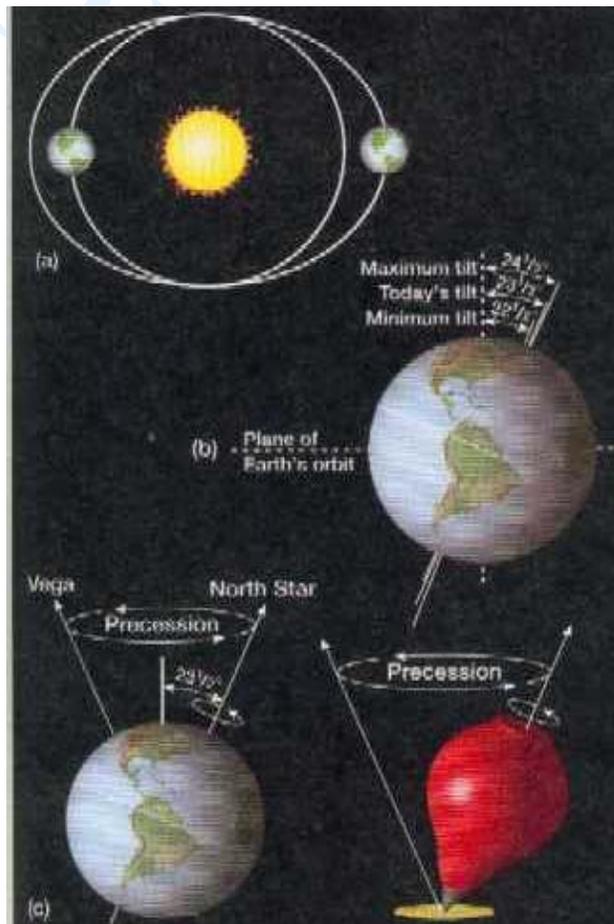
12.2 CAUSAS NATURALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

Para entender los periodos climáticos de la Tierra, primero debemos comprender los factores que influyen en ellos. Son consideradas como causas naturales aquellas que no son producidas por la actividad humana, entre las que se cuentan las siguientes:

1. ***Variaciones en la órbita de la Tierra.*** El factor principal que produce cambios en el clima es el movimiento de la Tierra. Los movimientos de rotación y de traslación de la Tierra no son constantes, sino que cambian en períodos largos de tiempo. Esto produce cambios en el

clima por variaciones en la distribución estacional y latitudinal de la radiación solar entrante. Tres características de los movimientos de la Tierra en órbita alrededor del Sol han sido consideradas como factores que influyen en la cantidad de radiación solar incidente en superficie y su distribución con la latitud. La primera es la excentricidad, la segunda es la oblicuidad y la tercera es la precesión. El astrónomo Yugoslavo Milutin Milankovitch (1879-1954) formuló un modelo matemático que considera estas variaciones en la órbita terrestre, llamados ciclos de Milankovitch, que se muestran en la figura 12.1.

Figura 12.1 Ciclos de Milankovitch.



- a) **Variaciones en la excentricidad** de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, (figura 12.1a). Johannes Kepler (1571 - 1630), astrónomo alemán, descubrió que la Tierra se mueve en una órbita elíptica alrededor del Sol, lo que hace que se encuentre ligeramente mas cerca del sol en algún momento del año, y un poco mas lejos en otro momento (ver capítulo 2). Ya que la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra varia con la distancia al Sol, la superficie terrestre recibe mas radiación solar en el perihelio (el punto mas cercano al Sol) y menos radiación en el afelio (el mas alejado). Casi 200 años después de Kepler, el astrónomo francés Urbain Leverrier (1811 - 1877) descubrió que la órbita cambia gradualmente de mas elíptica a mas circular. Posteriormente, Milankovitch calculó que este cambio tiene un periodo de entre 100 mil a 400 mil años, y es el resultado de la atracción gravitacional sobre la tierra de otros planetas. Esta variación en la elipticidad de la órbita se llama **excentricidad**. Por esta razón, cambia la energía solar que llega a la Tierra, y por lo tanto el clima.
- b) **Variaciones en la oblicuidad**, esto es cambios en el ángulo de inclinación del eje de la Tierra con el plano de su órbita (figura 12.1b). El eje de rotación terrestre no forma un ángulo recto con el plano de la eclíptica, sino que tiene una inclinación de 23.5° , inclinación que se llama **oblicuidad**. La oblicuidad de la Tierra varia de 22.5° a 24.5° con una periodicidad de aproximadamente 41 mil años. Esto produce grandes cambios en las estaciones. En la actualidad la inclinación del eje es 23.5° y está disminuyendo a razón de $48''$ de arco cada siglo.
- c) **Precesión**: semejante en parte a un trompo, la Tierra está precesando lentamente cuando gira en torno a su eje. Alrededor de 125 AC, el astrónomo griego Hipparcos de Rodas (190AC-120AC) descubrió que el polo norte de la Tierra no apunta siempre en la misma dirección entre las estrellas. La orientación del polo norte en el espacio cambia muy lentamente, con un periodo de 26 mil años. Este movimiento, llamado **precesión**, lo podríamos pensar como si el eje de la tierra formara un cono en el espacio, barriendo un cono completo cada 26

mil años. En la actualidad el eje de la Tierra apunta hacia la estrella del Norte (figura 12.1c), pero en 13000 años en el futuro apuntará hacia la estrella Vega. La causa de la precesión es la atracción del Sol y de la Luna en el material “sobresaliente” o protuberancia, en el ecuador de la tierra. Esto genera significativos cambios climáticos, porque cambia la posición donde se producen los solsticios de verano e invierno, haciendo que estas estaciones ocurran en épocas diferentes a las del presente.

2. ***Variabilidad solar.*** El Sol es una estrella variable y la energía por él emitida varía con el tiempo. Su efecto es claro: un aumento (disminución) de la energía recibida del Sol produce un calentamiento (enfriamiento) en el sistema tierra - atmósfera. Los resultados de los modelos climáticos indican que un aumento del 2% de la energía entrante debería producir el mismo cambio climático que una duplicación del dióxido de carbono en la misma cantidad de tiempo, aunque cabe destacar que mientras la energía solar se concentra en los trópicos, el efecto invernadero afectaría más a las altas que a las bajas latitudes. Si la radiación solar se incrementa en el futuro, tal como ha ocurrido en los últimos 50 años, entonces se reforzará el efecto invernadero, de lo contrario podría haber una pequeña atenuación del mismo.
3. ***Tectónica de placas.*** Los continentes están continuamente reubicándose, con movimientos muy lentos acercándose o alejándose hacia el Ecuador, los polos o en otra dirección, produciéndose lentos cambios en el clima.
4. ***Actividad volcánica.*** Cambia la reflectividad de la atmósfera y reduce la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Si la actividad volcánica es suficientemente intensa, se puede acumular gran cantidad de cenizas y gases contaminantes en la atmósfera, que pueden permanecer en suspensión por largos periodos de tiempo, atenuando la radiación solar que llega a la superficie, produciendo las correspondientes alteraciones en el comportamiento del clima.

12.3 EL EFECTO INVERNADERO.

El ser humano ha producido cambios en el clima global, no solo desde el inicio de la era industrial, sino mucho antes, tal vez desde que conoció el fuego, y cuando comenzó a usar tierras para uso doméstico. Por ejemplo, la modificación de la superficie, altera de manera importante el clima local al cambiar el albedo, la evaporación, la temperatura, la presión y los vientos en superficie.

Recordemos el *efecto invernadero natural*. La Tierra tiene una temperatura media del orden de 16° C. Esta mayor temperatura de la Tierra se debe a que ciertos gases la atmósfera absorben radiación terrestre y se calienta, reirradia energía que es reabsorbida por los gases de la atmósfera, emitida hacia la tierra y absorbida por la superficie. Así la superficie de la Tierra esta continuamente recibiendo energía desde la atmósfera y del Sol. Este proceso repetitivo que hace que la temperatura media de la Tierra sea aproximadamente 35° C mayor que si no tuviera atmósfera, se llama el efecto invernadero natural. La Luna, sin atmósfera y casi a la misma distancia del Sol que la tierra, tiene una temperatura media del orden de -20° C, unos 35° C menor que en la Tierra, porque no tiene efecto invernadero natural.

12.3.1 Efecto invernadero actual.

La composición química de la troposfera y de la estratosfera, es un factor importante en la determinación de la temperatura media de la superficie del planeta, y por lo tanto de su clima. Ciertos gases en la atmósfera, principalmente el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO₂), son transparentes a la radiación de onda corta del Sol, pero absorben la radiación de onda larga emitida por la Tierra, reemitiéndola a la superficie, aumentando así la temperatura global. Se llaman gases invernadero porque son los principales responsables del *efecto invernadero*, y siempre han tenido un papel determinante en la temperatura de la Tierra y en la

habitabilidad del planeta. También contribuyen al efecto invernadero gases como los clorofluorocarbonos (CFC), metano (CH_4), óxido de nitrógeno (N_2O), el ozono (O_3), llamados gases traza, porque su concentración en la atmósfera es mucho más pequeña que la del CO_2 . Hasta hace poco, la mayoría de los gases invernadero eran emitidos y removidos de la troposfera por los principales ciclos biogeoquímicos de la Tierra, sin interferencia alteradora de las actividades humanas. En la actualidad, por la actividad humana, desde la revolución industrial y especialmente desde 1950, esos gases están aumentando en la atmósfera y sus consecuencias en el cambio climático son tema de investigación principal, ya que pueden ampliar el efecto invernadero natural y aumentar la temperatura del planeta.

Dióxido de carbono: es el gas menos efectivo de los del tipo invernaderos, pero debido a su alta concentración y rápido incremento es el responsable del 60% del calentamiento. El carbono se transfiere a la atmósfera en forma de dióxido de carbono a través del uso de combustibles fósiles y por la respiración de los seres vivos; por el contrario en la fotosíntesis de la materia vegetal se consume dicho gas. El océano es un medio regulador del dióxido de carbono, pudiendo fijarlo como bicarbonato en el agua o liberarlo a la atmósfera dependiendo si existe un exceso o déficit. Desde el comienzo de la era industrial, la quema de combustibles fósiles como petróleo, carbón, gas, en su consumo para energía, han agregado grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, 67% del total. La deforestación contribuye con el otro 33%. Los países industrializados contribuyen con el 75% de las emisiones anuales. El dióxido de carbono permanece en la atmósfera por unos 500 años. Aunque una fracción de CO_2 es absorbido por las plantas y/o disuelto en los océanos, aproximadamente el 50% del total de las emisiones actuales queda en la atmósfera.

La figura 12.2 muestra la concentración de CO_2 en partes por millón (ppm, es una unidad de concentración similar al porcentaje) en los últimos 1000 años, con datos basados en registros de coraciones de hielo. Se observa claramente su rápido y pronunciado aumento los últimos 150 años. La figura 12.3 muestra el aumento en la concentración de CO_2 des-

Cap. 12 Impactos humanos en el clima.

de 1958 a la fecha, con observaciones tomadas en el Laboratorio Mauna Loa de Hawai, lejos de centros industriales.

Figura 12.2 Concentración de CO₂ en el último milenio.

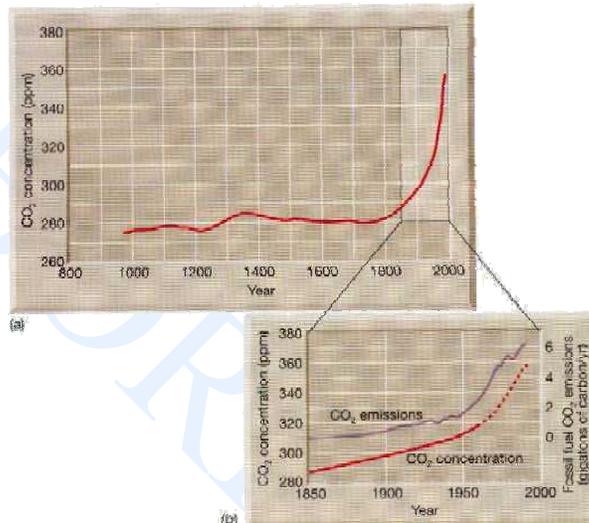
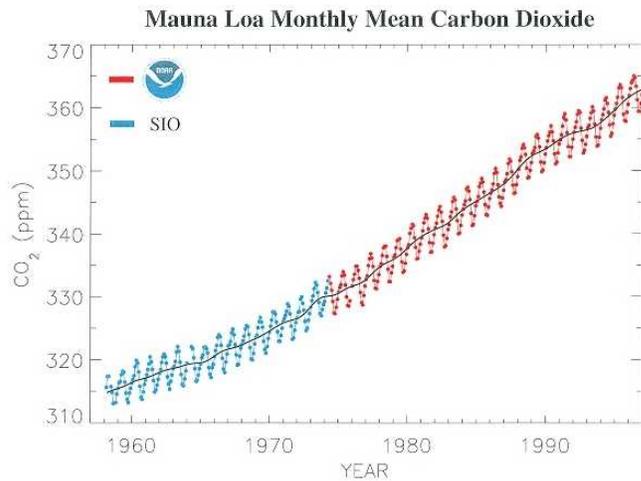


Figura 12.3 Concentración de CO₂ en los últimos 45 años.



El 33% de la contribución de la deforestación, se debe a que por una parte se reduce la absorción de CO₂ por las plantas y por otra se libera CO₂ en el proceso de descomposición de las plantas cortadas o cuando estas se queman. Los recursos forestales han sido afectados por la tala de grandes extensiones boscosas a favor de la expansión de la agricultura y la ganadería, o para satisfacer las necesidades industriales madereras y del papel, que extraen de los bosques su materia prima. Los problemas ambientales de la intervención humana y la destrucción de la fauna nativa, constituyen graves problemas. La deforestación es un problema a nivel mundial. En América Latina por ejemplo, con un recurso forestal que alcanza a unos 730 millones de hectáreas, son deforestadas anualmente 10 millones, de las cuales un 30% corresponde a una explotación selectiva de la industria de la madera y un 35% es realizada por personas de escasos recursos. La importancia ecológica de los bosques radica en que por una parte sostienen una importante diversidad comunitaria y por otra contribuyen a modular el clima, ya que cuando las plantas mueren, el carbono de sus tejidos se oxida a CO₂ que regresa a la atmósfera, produciendo un aumento de su concentración. Por lo tanto, la deforestación incide sobre problemas como la calidad del suelo, la fauna en los bosques y sobre el clima.

Clorofluorocarbonos: son responsables de un 10% de la producción humana de gases invernadero y para el 2020 tal vez serán responsables de un 25%. Tienen un efecto de entre 10 mil a 20 mil veces mayor por molécula sobre el calentamiento global que el de cada molécula de CO₂, debido a que su absorción se centra en la banda de longitud de onda de 10µm. Inicialmente su crecimiento fue de un 15% al año, luego disminuyó a un 4% anual. Los CFC fueron usados intensamente en la década de 1960 con propósitos domésticos e industriales. Acuerdos internacionales han discontinuado la producción de algunos de sus componentes.

Metano: cada molécula de metano es unas 25 veces mas efectiva en el calentamiento de la troposfera que una molécula de CO₂, es responsable de cerca del 18% de la generación humana de gases invernadero. Es producido por bacterias que descomponen la materia orgánica en ambientes

pobres de oxígeno. Un 40% de las emisiones globales de metano provienen de tales ambientes, como suelos inundados, pantanos, marismas y arrozales. Su concentración en la atmósfera crece alrededor de un 1% anual. Con 1° C de calentamiento se pueden aumentar las emisiones de metano de estas fuentes en 20 a 30% y amplificar el calentamiento global. Otras fuentes de metano son los rellenos sanitarios, combustión de bosques y praderas, entrañas de las termitas, cuyas poblaciones se multiplican para digerir los materiales de madera muerta después de la deforestación, y los tractos digestivos de miles de reses, ovejas, cerdos, cabras, caballos y otro ganado. Parte del metano también proviene de los yacimientos de carbón, pozos de gas natural, conductos, tanques de almacenamiento, hornos, secadores y estufas. Las fuentes naturales producen casi un tercio del metano en la atmósfera, y las actividades humanas el resto. El metano permanece en la atmósfera entre 7 a 10 años.

Oxido de nitrógeno: El calentamiento global de cada molécula de este gas es unas 250 veces mayor que el de una molécula de CO₂, es responsable del 6% del efecto invernadero. Se libera en la degradación de los fertilizantes de nitrógeno en el suelo, desechos del ganado, agua subterránea contaminada con nitratos y por la combustión de biomasa. Su razón de incremento es de 0.2% al año. Su permanencia media en la troposfera es de 150 años. También disminuye al ozono en la estratosfera.

Ozono: es 4 veces mas efectivo en el efecto invernadero que el dióxido de carbono y contribuye con un 6% al calentamiento global. En la troposfera su decaimiento es rápido. Su razón de incremento es similar a la del dióxido de carbono. El ozono se produce naturalmente en la estratosfera debido a efectos fotoquímicos de la luz solar sobre las moléculas de oxígeno. Desgraciadamente ha estado siendo constantemente destruido por la acción de las moléculas de cloro de los CFC. Por el contrario su presencia ha aumentado en la troposfera debido a la contaminación y al uso de combustibles fósiles. Su permanencia media en la troposfera es de mas de 100 años.

En la tabla 12.1 se resume la contribución al efecto invernadero relativa al CO₂, en porcentaje del total y la real, para los diferentes gases.

Tabla 12.1

Gas	Relativa %	Real
CO ₂	60	1
CH ₄	18	25
CFC	10	15000
NO ₂	6	250
O ₃	6	4

12.3.2 Consecuencias del efecto invernadero.

Como consecuencia del incremento del CO₂ en la atmósfera, el aumento de temperatura global registrado desde fines de 1800 fue de 0.3 a 0.6° C y en los últimos 50 años de 0.2 a 0.3° C. Las predicciones indican un incremento del CO₂ a 400 ppm para el 2010 y a 600 ppm para el 2050. Con esto se estima un aumento de la temperatura global en torno a 2.5° C. Este aumento de temperatura tal vez no sea el mismo en todas partes, podría ser menor en los trópicos y aumentar hacia los polos. La mayor amenaza para la producción de alimentos, los sistemas económicos y los hábitat para la vida silvestre, es un cambio rápido del clima que implique sólo unos cuantos grados en la temperatura media de la superficie terrestre, que tenga lugar durante unas cuantas décadas. Lo anterior alteraría drásticamente los lugares donde podrían existir ciertos biomas y por lo tanto, ciertas especies; además cambiarían las condiciones más rápido de lo que algunas especies tardarían en adaptarse, en particular los vegetales que sustentan animales, y estos migrar a otras regiones. Dichos cambios rápidos en el clima, alteraría las áreas donde se podría cultivar alimento. Al-

gunas llegarían a ser inhabitables debido a la falta de agua o a inundaciones producidas por la elevación del nivel del mar. En resumen:

- Se altera la distribución en las reservas de agua que pueden afectar, por ejemplo, las actividades agrícolas y forestales por déficit, o producir desbordes de ríos y peores inundaciones por exceso.
- Aumento del nivel del mar, por el derretimiento de los hielos polares, lo que produciría la inundación de tierras costeras actualmente al nivel del mar.
- Modificación de los patrones de tiempo como: mayor frecuencia e intensidad de los huracanes por mayores temperaturas del océano, cambios en las trayectorias normales de los sistemas ciclónicos y en la distribución de lluvias asociadas, ondas de calor y sequías más intensas en algunas regiones y no en otras, aumento en la frecuencia e intensidad del evento de el Niño.

12.3.3 Mecanismos de retroalimentación climática.

El sistema climático físico es muy complejo por lo que si cambia uno de sus componentes, se producen cambios en otros, lo que complica el modelamiento y agrega grandes incertezas a las predicciones climáticas. Estos se conocen como mecanismos de retroalimentación, que pueden ser positivos o negativos, según favorezcan o se opongan al efecto inicial.

Uno de los más importantes es que el aumento de temperatura producirá un aumento en la evaporación y en el vapor de agua en la atmósfera. Esto a su vez refuerza el aumento de temperatura producido por el propio vapor de agua y el CO₂. Si aumenta el vapor de agua puede aumentar la cobertura nubosa; esto puede tener dos efectos: (1) una retroalimentación negativa porque el aumento de la cobertura nubosa puede aumentar el albedo y la reflexión de la luz solar, disminuyendo la cantidad de calor que llega al suelo para calentar la atmósfera y (2) una retroalimentación

positiva porque el vapor de agua absorbe la radiación terrestre y la reemite a la superficie, que de otra forma se perdería al espacio. El efecto más fuerte de estos dos es el (1) del albedo. Por otro lado, como se estima que el aumento de temperatura será mayor en latitudes altas, disminuiría el área cubierta por hielos polares al derretirse estos. Esto debería producir (3) que aumente la absorción de la radiación solar en la superficie y por otra parte disminuya la reflexión de luz solar por los hielos, reforzando el aumento de temperatura por efecto invernadero. Se estima que este efecto (3) positivo y el de evaporación (2) positivo es mayor que el (1) negativo de reflexión por las nubes, por lo tanto se espera un aumento de la temperatura global.

12.3.4 Rol de los volcanes.

Las erupciones volcánicas son lo suficientemente poderosas como para arrojar gran cantidad material particulado a la atmósfera, que puede permanecer en suspensión por meses o por años, esto puede producir una disminución de la temperatura en la troposfera. Además las erupciones volcánicas emiten gases que pueden contribuir a la contaminación de la atmósfera. El humo de los grandes incendios forestales también puede contribuir a disminuir la temperatura de la tierra en las regiones donde estos se producen.

En el Ártico, al hacer muestreos con núcleos de hielo, se ha encontrado una relación remarcable entre la variación de temperatura y erupciones volcánicas. Por ejemplo, en el año 79 DC se encuentra una ligera baja en la temperatura global, además de un aumento en ciertos componentes de la atmósfera, que se explica con la erupción del volcán Vesuvio ocurrida ese año. Las mediciones satelitales de la temperatura en la troposfera inferior, entre 1979-1993, han revelado que existe un enfriamiento estadístico de 0.13° C. La erupción del volcán Pinatubo en 1991, en Filipinas, según los estudios, es un factor que contribuyó a este resultado.

Algunas de las grandes erupciones volcánicas que han sido documentadas se dan en la tabla 12.2, los valores en °C para algunos de ellos indican la disminución promedio de la temperatura en una extensa región en torno al volcán.

Tabla 12.2 Grandes erupciones volcánicas.

Volcán	Año erupción
Vesuvio, Italia	79
Kilauea, Hawai	1790
Tambora, Indonesia	1815, < 3.5° C
Krakatoa, Indonesia	1883, < 0.4° C
Paricutín, México	1943
St. Helens, EEUU	1980
Chichón, México	1982
Pinatubo, Filipinas	1991, 0.5° C

12.4 EL FENÓMENO DE EL NIÑO - OSCILACIÓN DEL SUR.

Se conoció con el nombre de El Niño a la aparición de aguas oceánicas cálidas en las costas del Océano Pacífico de América del Sur, durante el verano del hemisferio sur. La aparición de estas aguas cálidas fue identificada por los pescadores peruanos siglos atrás, quienes le dieron el nombre de El Niño, en alusión al niño Jesús, porque se observaba a finales de diciembre, cerca de Navidad.

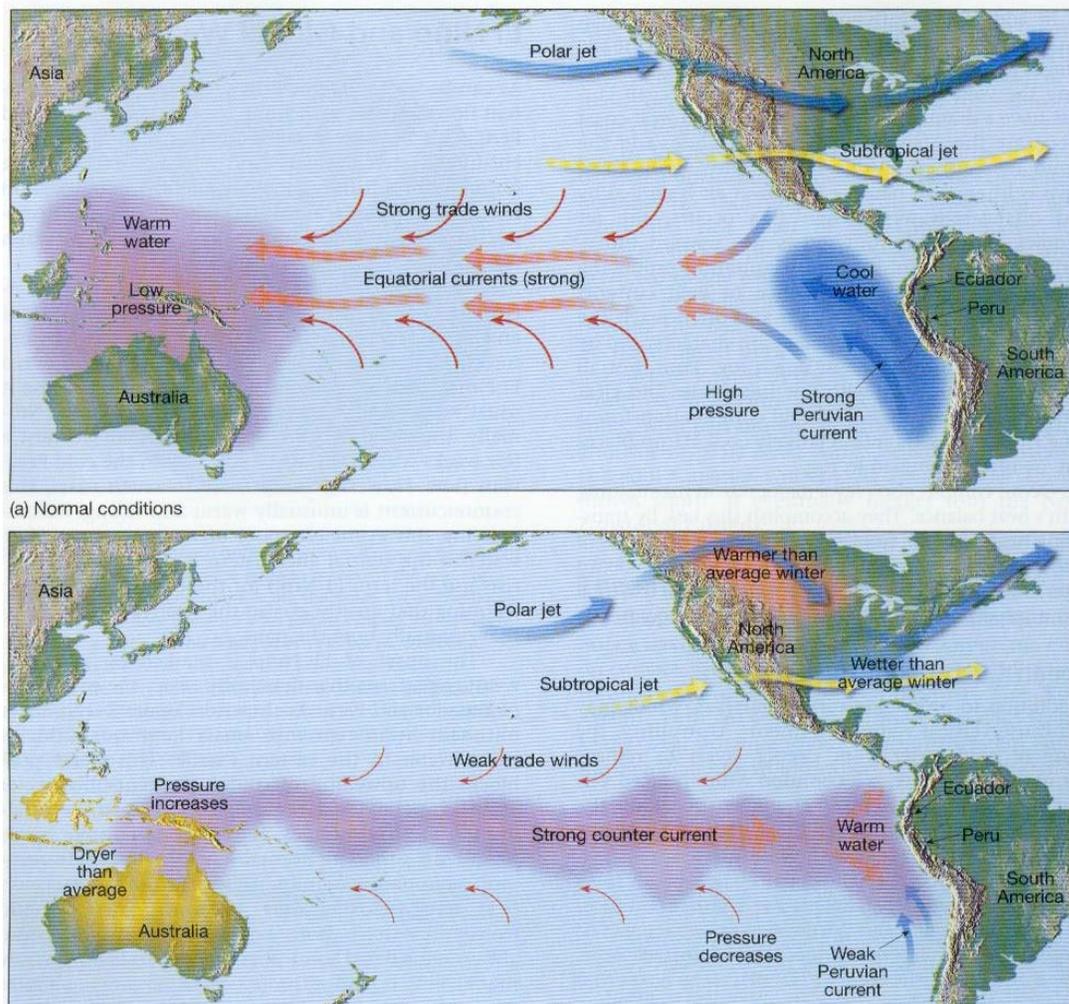
En la actualidad se llama fenómeno de El Niño al calentamiento de las aguas que se inicia en el Océano Pacífico Tropical occidental, cerca de Australia e Indonesia, donde la temperatura de las aguas superficiales se eleva unos cuantos grados por encima de lo normal. Gradualmente este máximo de temperatura se desplaza hacia el Este y alrededor de seis me-

ses después, llega a la costa de América del Sur. El desplazamiento del máximo va acompañado de un enfriamiento relativo en el Pacífico tropical nor-occidental, cerca de Indonesia. Este fenómeno de ocurrencia irregular, se produce a intervalos de tres a ocho años, con una duración también irregular que varía de doce a dieciocho meses o más. Cuando se produce el proceso opuesto, es decir la temperatura de la superficie del mar en el océano Pacífico tropical disminuye a valores menores que lo normal, se la da el nombre de fenómeno de La Niña. En la figura 12.4 se ilustran las condiciones normales del sistema océano – atmósfera y las condiciones durante el Niño.

Mientras esto sucede en el océano, en la atmósfera se produce una alteración en la presión atmosférica, que baja en el lado este del Pacífico sur y sube en el oeste (figura 12.4). A este vaivén de presión se le llama Oscilación del Sur (OS). Esto forma un sistema acoplado océano - atmósfera que se llama El Niño - Oscilación del Sur, ENOS (o ENSO en inglés), denotando con ello al conjunto de alteraciones en los patrones normales de circulación del océano y la atmósfera. Durante la fase negativa (positiva) de la OS la presión es relativamente más baja (alta) en el Pacífico suroriental, en torno al dominio del anticiclón del Pacífico Sur. Cuando las anomalías en la fase negativa (positiva) alcanzan valores significativos, debilitándose (fortaleciéndose) el Anticiclón del Pacífico Sur, el comportamiento de las variables atmosféricas y oceánicas muestran las características típicas de un evento el Niño (la Niña).

Se producen también alteraciones en los vientos alisios, que se debilitan cuando se produce el Niño, e incluso pueden llegar a invertir su dirección en el caso de eventos intensos. Por efecto del arrastre de los vientos alisios, el nivel del mar del sector occidental del Pacífico tropical es mayor que en la costa de Sudamérica, pero cuando estos se debilitan durante el Niño, el nivel del mar tiende a retomar su valor normal, produciéndose la nivelación de las aguas desde el sector de Indonesia hacia Sudamérica. Por el contrario, durante la Niña los vientos alisios refuerzan su intensidad.

Figura 12.4 Comportamiento del sistema océano – atmósfera en condiciones normales (superior) y durante el Niño (inferior).

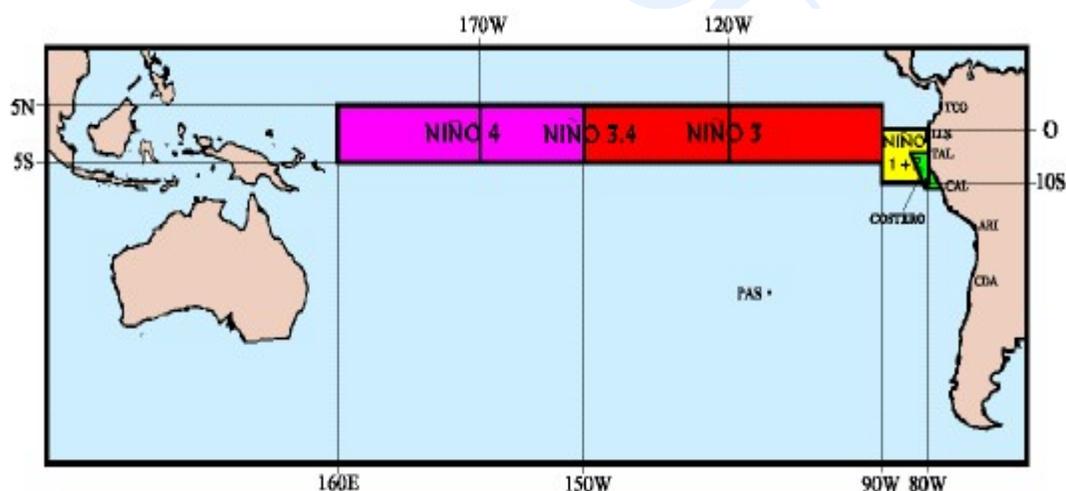


Durante el ENSO se altera la presión atmosférica en zonas del planeta muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y velocidad del viento y se desplazan meridionalmente las zonas de lluvia convectivas de la región tropical. En el océano, la rama de la corriente de Humboldt hacia el oeste se debilita (figura 12.4), favoreciendo el transporte de aguas cálidas hacia la costa de América del Sur. Los cambios en la tem-

peratura del mar influyen en la salinidad y el oxígeno de las aguas, alterándose, por tanto, las condiciones ambientales para los ecosistemas marinos. Estos cambios, a su vez, afectan las poblaciones de peces, especialmente en las áreas del Pacífico Sudamericano y, por ende, la actividad pesquera en ellas. Por otra parte, los cambios en la circulación atmosférica alteran el clima global, con lo que se afectan la agricultura, los recursos hídricos y otras actividades económicas importantes en extensas áreas del planeta.

Teniendo en cuenta las anomalías anteriores, el análisis de las observaciones de la temperatura superficial del mar, de la actividad convectiva en la ZCIT, de la presión atmosférica, de los vientos alisios y del nivel del mar, realizadas en sectores determinados del océano Pacífico tropical, conocidas como regiones de Niño 1, Niño 2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, que se muestran en la figura 12.5, se usan como indicadores para monitorear el comportamiento del ENSO. En este mapa, las estaciones indicadas de norte a sur son Tumaco (TCO, Colombia), La Libertad (LLS, Ecuador), Talara (TAL, Perú), Callao (CAL, Perú), Arica (ARI, Chile), Caldera (CDA, Chile) e Isla de Pascua (PAS, Chile).

Figura 12.5 Regiones de monitoreo de El Niño.

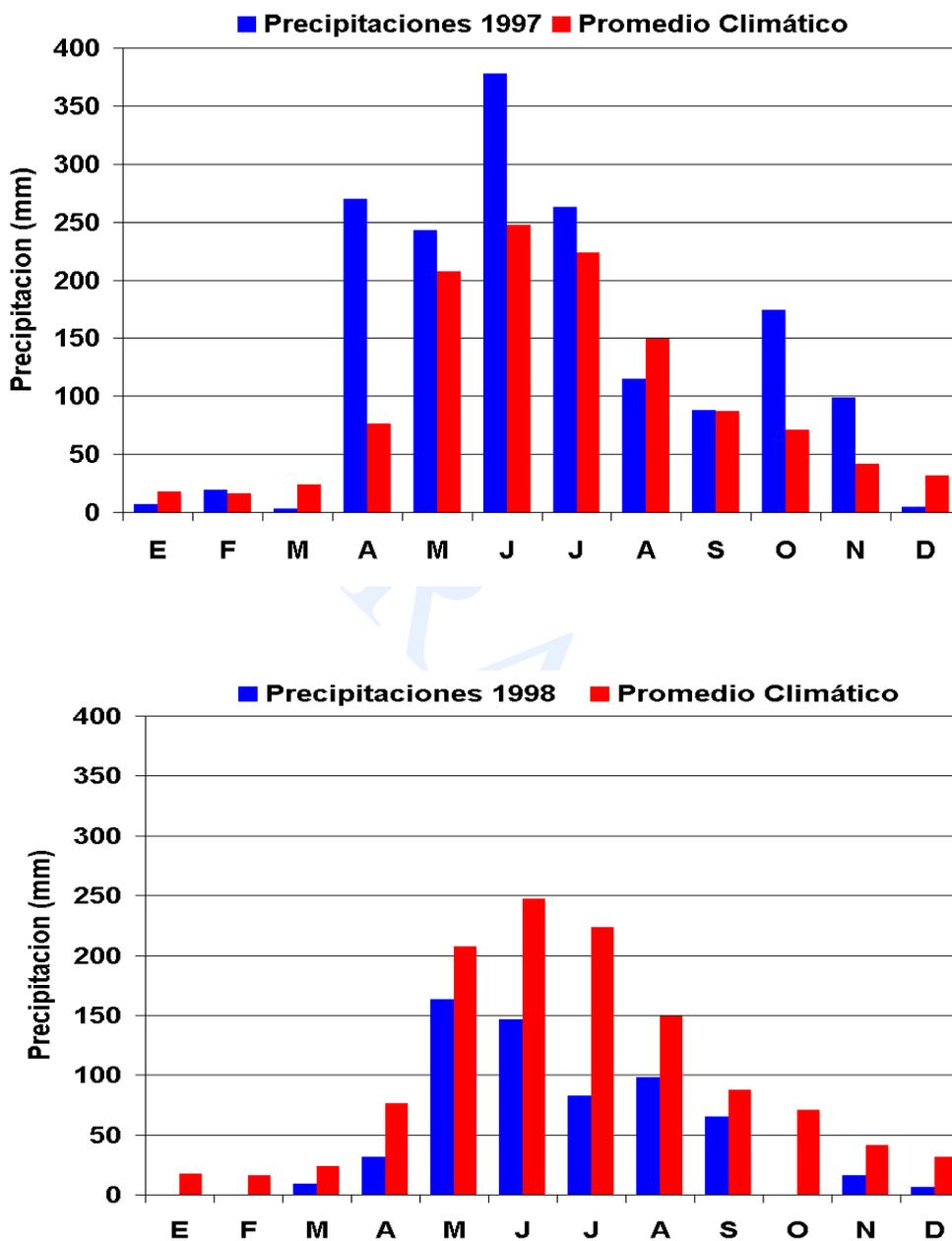


12.4.1 Efectos en Chile.

Las mediciones indican que cuando se produce un evento el Niño, se registra un aumento en la cantidad de precipitaciones en la zona central de Chile, que podría estar correlacionado con el debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Sur, correspondiente a la fase negativa de la OS. Al disminuir las presiones en torno al Anticiclón del Pacífico Sur, se produce un aumento en la frecuencia e intensidad de la actividad frontal, en la zona central de Chile, en el invierno y primavera austral, por efecto de situaciones de bloqueo atmosférico que se desarrollan en el Pacífico sur, al suroeste del cono sur de América. Generalmente los sistemas frontales se desplazan más al norte de lo normal durante el invierno, produciendo lluvias en las regiones semidesérticas de Chile, las cuales en condiciones normales son muy escasas, haciendo renacer un maravilloso espectáculo de la naturaleza: el desierto florido de Atacama. Una situación opuesta se produce con el evento La Niña, y se tienen condiciones de sequía atribuidas al reforzamiento del anticiclón del Pacífico Sur durante la fase positiva de la OS. En ambos casos se produce una serie de trastornos que alteran significativamente las diversas actividades productivas y cotidianas del país, que generalmente se traducen en pérdidas económicas.

Estas afirmaciones se pueden corroborar observando los resultados de la figura 12.6, que muestra el régimen de precipitaciones de Concepción, lugar representativo de la zona central de Chile, considerando un período climático normal de datos desde 1965 y 1999, de la estación meteorológica Bellavista de la Universidad de Concepción, comparada con la precipitación durante los años 1997 y 1998, en los que se produjeron el Niño y la Niña, respectivamente. Los eventos de estos años se caracterizan además por ser los más intensos desde que se tienen registros. Se observa claramente el exceso de precipitación durante el fenómeno de el Niño 1997 y el déficit de precipitación durante el fenómeno de la Niña 1998, comparada con la precipitación normal climática.

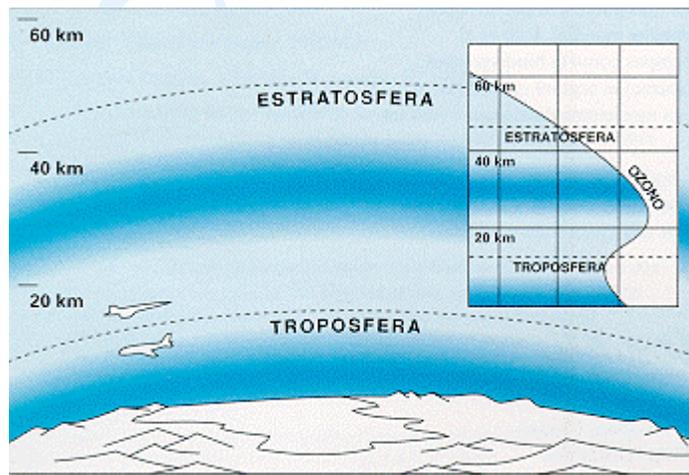
Figura 12.6 Precipitaciones de 1997 (superior) y de 1998 (inferior) en Concepción, comparada con lo normal climático.



12.5 DISMINUCIÓN DE LA CAPA DE OZONO.

El ozono (O_3) es una forma del oxígeno. Existe en muy pequeña proporción en la atmósfera, menor que $1/10^8$ y su distribución no es uniforme. Si todo se aplastara sobre la Tierra formaría una capa de solo 3 mm de espesor. Se concentra en la estratosfera, entre 15 y 50 km, con un máximo entre 20 y 30 km conocida como la capa de ozono, que se muestra en la figura 12.7.

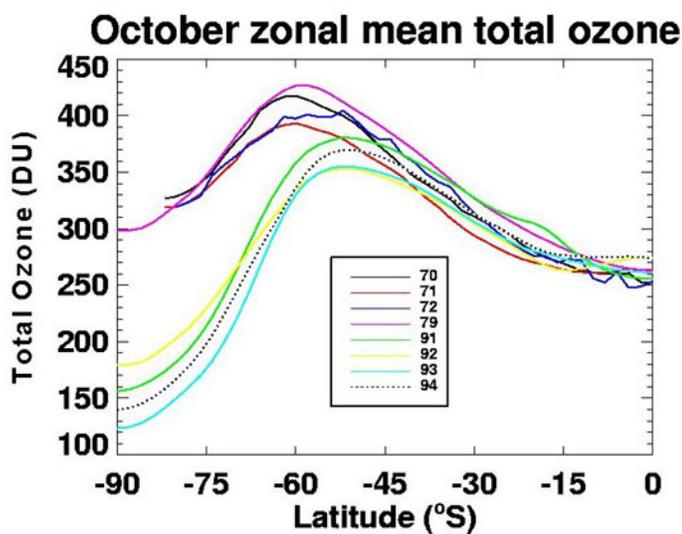
Figura 12.7. La capa de ozono.



El ozono absorbe la radiación UV proveniente del Sol, si no fuera así y los rayos UV alcanzaran la superficie de la Tierra, nuestro planeta sería inhabitable para la mayoría de las especies de vida que conocemos, porque es una radiación biológicamente nociva. Por millones de años la capa de ozono ha protegido la vida sobre la Tierra, pero en poco más de 100 años la actividad humana la ha puesto en riesgo, ya que la contaminación de la atmósfera está destruyendo la molécula de O_3 , debilitando la capa al disminuir su concentración, cuya mayor disminución se registra al sur de los 50 sur, como se observa en la figura 12.8, donde se muestra la con-

centración promedio de ozono en la atmósfera entre el ecuador y el polo sur, para el mes de octubre, en los años que se indica.

Figura 12.8 Concentración de ozono en octubre.



La formación y destrucción del O_3 por procesos naturales está en equilibrio dinámico que mantiene constante su concentración en la atmósfera. El ozono se forma cuando las moléculas de oxígeno absorben radiación ultravioleta con longitudes de onda menores que 240 nanómetros (nm) y se destruye cuando absorbe radiación ultravioleta con longitudes de onda mayores que 290 nm. La combinación de esos procesos mantiene una cantidad relativamente constante de ozono en la estratosfera y absorbe casi el 90% de la radiación ultravioleta del Sol, principalmente entre 200 y 300 nm. La formación de ozono se inicia con la fotólisis del oxígeno molecular por la radiación solar de longitud de onda menor que 240 nm; los átomos de oxígeno así formados son muy reactivos y se combinan con las moléculas de oxígeno para formar ozono. Esto se esquematiza por las siguientes reacciones químicas:

Cap. 12 Impactos humanos en el clima.

Producción natural de ozono: $UV(<240nm) + O_2 \longrightarrow O + O$

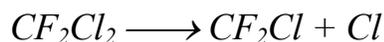
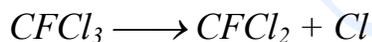


donde M es cualquier sustancia inerte como N_2 . Además como el ozono por si mismo absorbe luz ultravioleta de entre 200 y 300 nm, se tiene:

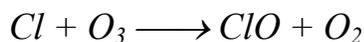
Destrucción natural de ozono: $UV + O_3 \longrightarrow O_2 + O,$

proceso que se repite. Como el ozono se concentra en la estratosfera, la absorción de energía del Sol en el rango UV produce el calentamiento de esta capa de la atmósfera, como se observa en la figura 1.9.

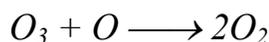
Pero en las últimas décadas los contaminantes emitidos a la atmósfera conocidos como clorofluorocarbonos, (CFC), están destruyendo a la molécula de O_3 . Los CFC son poco reactivos, por lo que se difunden con lentitud hacia la estratosfera sin sufrir cambios, donde se descomponen por la radiación ultravioleta de longitudes de onda entre 175 a 220 nm, de acuerdo a la siguiente reacción química:



Los átomos de cloro, Cl , son muy reactivos y experimentan las siguientes reacciones:



El resultado global (suma de las dos ecuaciones anteriores) es la eliminación neta de una molécula de ozono en la estratosfera:



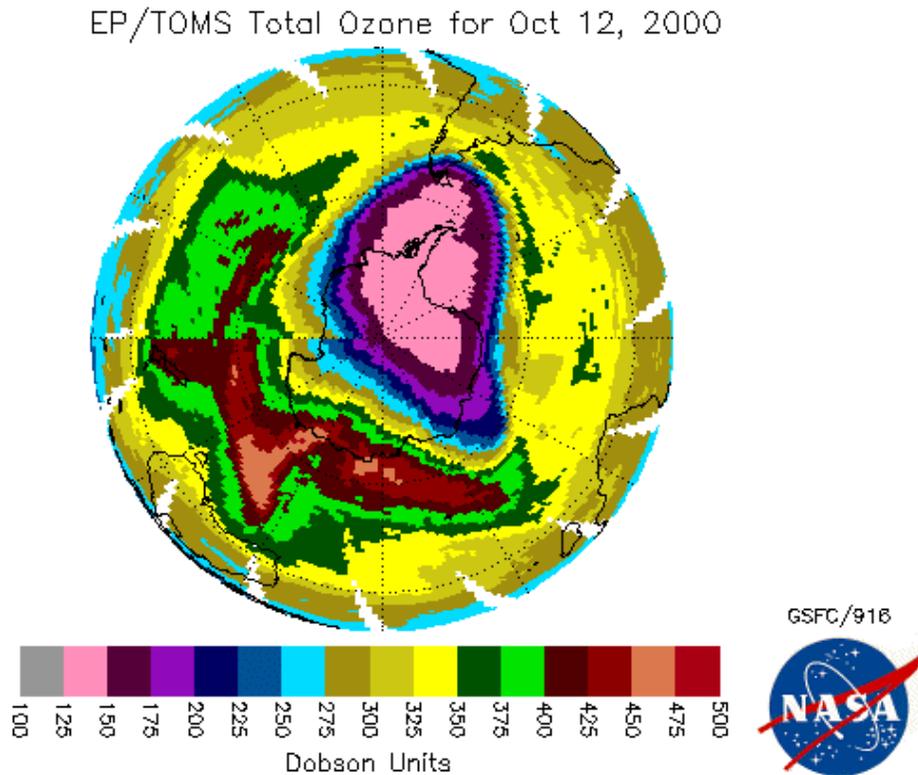
Los átomos de oxígeno de esta reacción los aporta la descomposición fotoquímica del oxígeno molecular y del ozono, descrita antes. El átomo de cloro actúa como un catalizador en estas reacciones, es decir no se usa en la reacción química, y por lo tanto puede participar en muchas reacciones; se estima que un átomo de Cl puede destruir más de 10^5 moléculas de O_3 antes de ser eliminado por otra reacción. También los compuestos del óxido de nitrógeno, NO_x , pueden destruir el O_3 .

Los CFC se conocen con el nombre comercial de freones y pueden permanecer entre 70 a 400 años en la atmósfera, se difunden con lentitud hacia la estratosfera adonde pueden tardar años en llegar sin sufrir cambio. Los más comunes son los $CFCl_3$ (freón 11), CF_2Cl_2 (freón 12), $C_2F_3Cl_3$ (freón 113) y $C_2F_4Cl_4$ (freón 114). Son compuestos que se licúan con facilidad y son inertes, no tóxicos, no combustibles y volátiles, se usan como refrigerantes en lugar del amoníaco y del dióxido de azufre, líquido que es muy tóxico. Son productos muy poco reactivos, lo que los hizo que fueran la solución óptima para la fabricación de frigoríficos, espumas, goma y similares. Los CFC se usan como refrigerantes para refrigeradores y aire acondicionado, también para fabricar productos desechables como vasos y platos, aerosoles en latas, disolventes para limpiar circuitos electrónicos, espumas plásticas y otros. Varios compuestos estables que contienen cloro, que incluyen solventes usados ampliamente como el metilcloroformo y tetracloruro de carbono, también ascienden a la estratosfera y destruyen las moléculas de ozono. Los compuestos no reactivos alóxicos de los extinguidores de incendio, que contienen bromo, eventualmente llegan a la estratosfera, donde son descompuestos por la radiación UV. Cada átomo de bromo destruye cientos de veces más moléculas de ozono que un átomo de cloro.

A mediados de los 80 se tenían pruebas que durante la primavera del hemisferio sur, había disminuido la concentración de ozono sobre la Antártica, donde se había reducido a aproximadamente un 50%. El agujero de ozono aparece en la Antártica debido a que las condiciones meteorológicas en invierno y primavera allí son únicas. En el invierno del hemisferio sur se forma en la estratosfera el vórtice polar, un sistema de vientos del oeste muy intensos y estable que rodea la Antártica, donde quedan atrapados los CFC que se elevaron hasta la estratosfera. Durante la noche polar, la temperatura del aire en este vórtice es muy baja, formándose partículas de hielo llamadas nubes estratosféricas polares, que actúan químicamente como catalizador para formar moléculas de cloro, Cl_2 , que se liberan de los CFC. Al comienzo de la primavera, la luz solar separa al cloro molecular en sus átomos de cloro, Cl , que son los que destruyen al O_3 , disminuyendo su concentración, formándose el agujero de ozono antártico. En el Ártico (hemisferio norte) la situación es menos grave porque es más cálido y el vórtice dura menos tiempo. El debilitamiento de la capa de ozono en la Antártica en primavera se puede observar en la figura 12.9, que muestra la concentración de ozono del día 12 de octubre de 2000, época en la cual la disminución de ozono alcanzó valores críticos muy bajos.

A partir de las serias consecuencias que tiene la pérdida de ozono, varios países han reconocido que es urgente disminuir o eliminar por completo la producción de CFC, ya que estos son muy estables y pueden permanecer en la atmósfera por aproximadamente 100 años. En 1978, EEUU y otros países prohibieron el uso de CFC en sus aerosoles. En 1987 la mayoría de los países industrializados firmaron un tratado internacional conocido como Protocolo de Montreal, en el que se establecieron metas para reducir paulatinamente la producción de CFC y eliminarlos por completo el año 2000. Pero grandes países pobres como China e India es muy difícil que puedan cumplir este tratado, ya que estos componentes son parte importante de su economía. También hacen grandes esfuerzos para encontrar sustitutos de los CFC que no dañen la capa de ozono. Uno de estos es el hidroc fluorocarbono 123, (HCFC 123).

Figura 12.9 Concentración de ozono sobre la Antártica del día 12 de octubre de 2000.



12.5.1 Efectos de la disminución de la capa de ozono.

La reducción de la cantidad de ozono en la atmósfera, puede afectar la vida sobre la Tierra. Con menos ozono en la estratosfera, mayor cantidad de radiación solar UV nociva llega a la superficie de la Tierra. Esta forma de radiación UV daña las moléculas de ADN y puede causar defectos genéticos en la superficie externa de plantas y animales, e incluso en la piel humana. Cada 1% de pérdida de ozono, conduce a un aumento del 5 al 7% en la incidencia del cáncer de piel, que incluye un 1% de aumento en

la melanoma mortal. Se estima que una disminución de un 5% de ozono produciría los siguientes efectos:

- Para el año 2075 habrá 180 millones de casos de cáncer de piel en todo el planeta.
- Un aumento drástico de cataratas y quemaduras de sol severas en las personas y cáncer ocular en el ganado.
- Aumento en quemaduras de los ojos por smog fotoquímico, ozono altamente nocivo y el depósito de ácido en la troposfera. Cada disminución de un 1% de ozono en la estratosfera puede producir un aumento del 2% en el ozono cerca del suelo.
- Disminución en los rendimientos de las cosechas de alimentos tales como maíz, trigo, soya y arroz.
- Reducción en el crecimiento del fitoplancton oceánico que forma las bases de las cadenas alimenticias del océano y que ayuda a remover el CO₂ de la atmósfera. Especialmente vulnerable es el fitoplancton sensible a las radiaciones UV, base de la cadena alimenticia principal en la Antártica.
- Pérdidas de millones de dólares al año por la degradación de las pinturas, plásticos y otros materiales poliméricos.
- Calentamiento planetario intensificado por un mayor efecto invernadero.
- En un escenario del peor de los casos, las personas no deben exponerse al sol. El ganado debería apacentar solo en las tardes para reducir así el daño a los ojos. Los agricultores deberían reducir los minutos que se expongan a los rayos solares.

12.6 LA LLUVIA ÁCIDA.

Químicamente el agua destilada (neutra) tiene un PH 7. El PH de una sustancia puede variar (logarítmicamente) entre 0 y 14. Sustancias con $\text{PH} < 7$ son más ácidas mientras menor sea el PH, en caso contrario ($\text{PH} > 7$) se llaman alcalinas. Como el PH se gradúa en escala logarítmica, un valor de PH 4 es 10 veces más ácido que uno de PH 5 y 100 veces (10×10) más ácido que otro de PH 6. En la tabla 12.3 se da el valor del PH de algunas sustancias conocidas.

Tabla 12.3 PH de sustancias comunes.

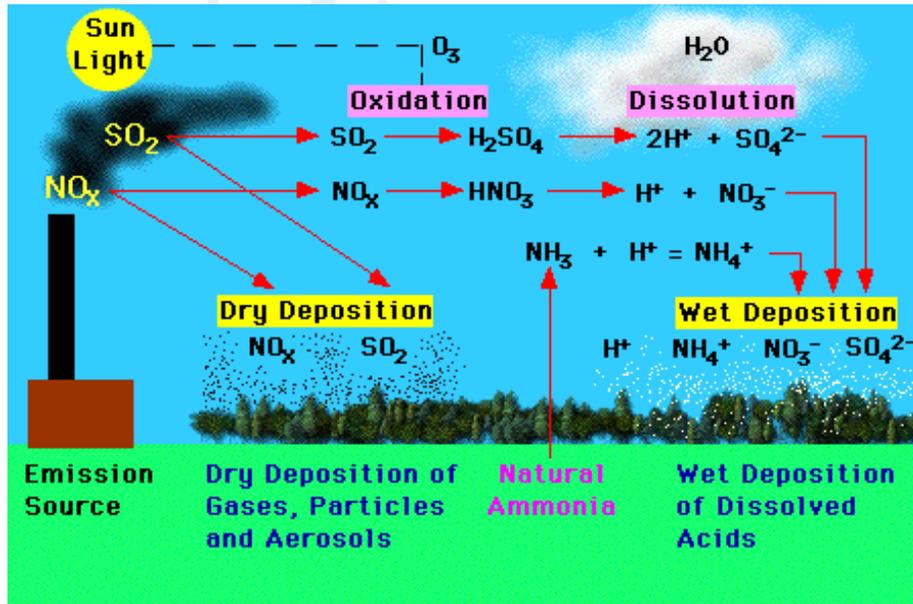
Jugo de limón	Vinagre	Jugo de naranja	Agua común	Leche	Agua pura	Leche magnesia
2,4	3	3,5	5,5	6,5	7	10,6

Como el agua de lluvia está en equilibrio con el CO_2 atmosférico, normalmente tiene un PH aproximadamente igual a 5,5, que se considera como agua no contaminada (algunos estudios en lugares remotos dan un $\text{PH} \sim 5$). En la actualidad en muchos lugares de grandes centros urbanos, por efecto de la contaminación del aire, la precipitación tiene un PH menor, por lo que se llama **lluvia (o nieve) ácida**. La lluvia ácida se produce cuando los óxidos ácidos emitidos como gases contaminantes en la atmósfera, reaccionan con el agua formando ácidos, en la forma en la que se describe en la figura 12.10.

El principal gas responsable de la lluvia ácida es el dióxido de azufre, SO_2 , y en menor grado los óxidos de nitrógeno, NO_x , de las emisiones de los vehículos. Hay varias fuentes de emisión de SO_2 a la atmósfera, una fuente natural son las erupciones volcánicas. Los residuos industriales desechados a través de las chimeneas, son una importante fuente de emisión de SO_2 y NO_x causantes de la lluvia ácida. También muchos metales, procesados en actividades mineras, están combinados en forma natural

con azufre; para extraer el metal a usar, con frecuencia es necesario fundir los minerales, es decir calentar el sulfuro metálico en aire para formar el óxido de metal y SO_2 , por lo que las fundiciones son fuente importante de emisión de SO_2 . La quema de combustibles fósiles, las plantas generadoras de electricidad y los hogares también son importantes fuentes de emisión de SO_2 a la atmósfera. En total cada año se liberan a la atmósfera del orden de 60 millones de toneladas de SO_2 . Una manera de reducir los efectos de la contaminación con SO_2 es purificar los gases antes de liberarlos a la atmósfera, con diversos procedimientos químicos.

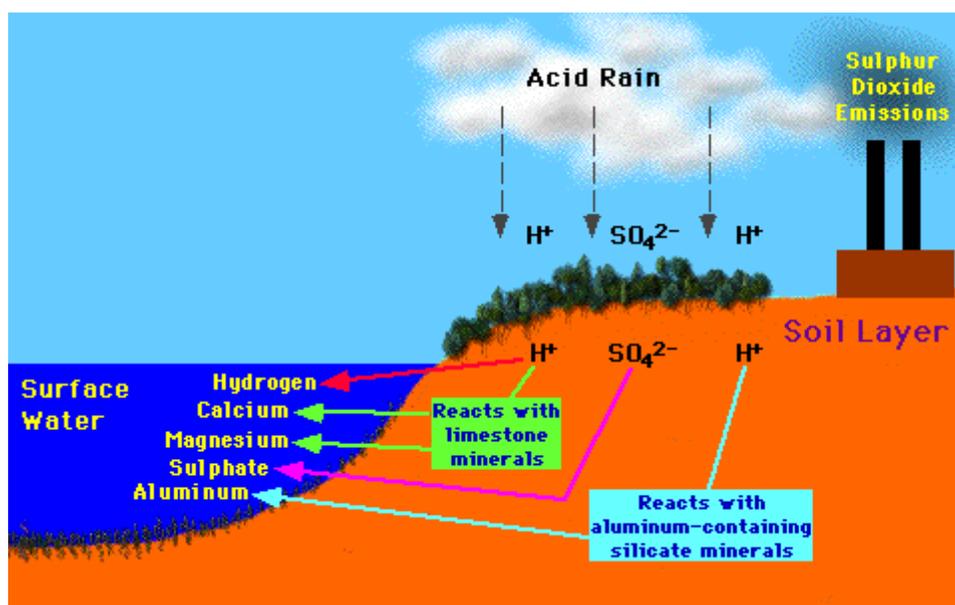
Figura 12.10 Reacciones químicas que producen la lluvia ácida.



El agua de lluvia ácida produce otras reacciones contaminantes en el suelo; esta agua que luego escurre hacia los ríos y lagos puede disminuir el PH en ellos, acidificando y por lo tanto poniendo tóxicas sus aguas. Las reacciones químicas de la lluvia ácida en el suelo, se muestran en el diagrama de la figura 12.11. Si la composición de las superficies adyacentes

al lago es tal que contiene minerales en su suelo que pueden neutralizar el ácido, como roca y suelos con caliza, el agua ácida que escurre hacia el lago o río puede en parte purificarse, pero también puede ocurrir lo contrario y aumentar el PH, dañando más al lago o río.

Figura 12.11 Reacciones químicas de la lluvia ácida en el suelo.



12.6.1 Efectos de la lluvia ácida

La lluvia ácida se puede producir cerca de los lugares de emisión del contaminante, si el evento de precipitación se desata en momentos cercanos al de la emisión. Pero si no llueve, los contaminantes que pueden permanecer en la atmósfera por varios días, son transportados por la circulación de la atmósfera a grandes distancias, contaminando por lo tanto en lugares muy alejados de su fuente de origen, es decir lugares que no producen el problema, lo reciben.

La lluvia ácida produce pérdidas anuales por cientos de millones de dólares en daños. Químicamente el SO_2 reacciona con el agua de lluvia para formar H^+ y HSO_3^- y reacciones donde surge también ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que al actuar con la piedra caliza y mármol (CaCO_3) se corroen. En la figura 12.12 se observa una fotografía de una estatua en Alemania, a la izquierda tomada en 1920 y a la derecha tomada 60 años después, donde se aprecia la corrosión producida por la lluvia ácida. Entre los daños se cuentan los siguientes:

Figura 12.12 Daño producido por la lluvia ácida en monumentos.



- Daño en las construcciones y estatuas en todo el mundo, por efecto de la corrosión del material por la acidez del agua de lluvia.
- En la salud de las personas, la exposición prolongada a los aerosoles ácidos puede producir daños en las vías respiratorias y en los pulmones. En algunos lugares se ha vinculado también con el aumento de casos de bronquitis en los niños.

- Acidificación de las aguas de los lagos, que daña seres vivos que los habitan. En algunos casos los peces ya se han extinguido, y en otros va a ocurrir eso. Esto a su vez rompe otros eslabones ecológicos que aumentan el daño, alterándose el equilibrio ecológico en grandes áreas en el entorno. En la figura 12.13 se observa un ambiente acuático en riesgo de contaminación por lluvia ácida.
- También hay efectos negativos en los campos agrícolas, donde se reducen las cosechas, y en la productividad de los bosques, donde se dañan el follaje y las raíces de los árboles.

Figura 12.13 La lluvia ácida puede provocar que este ambiente acuático desaparezca.



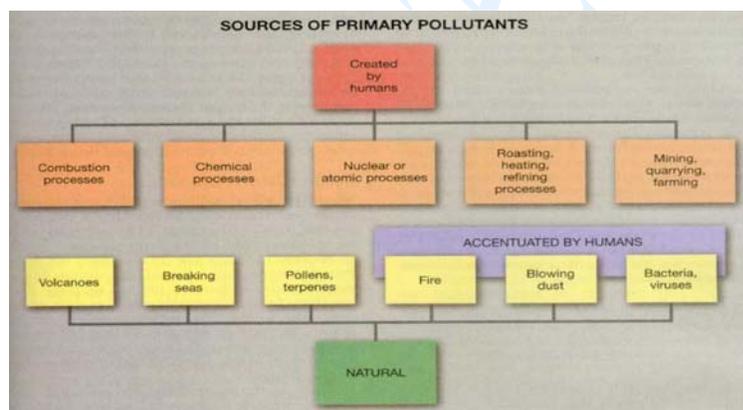
12.7 EL SMOG FOTOQUÍMICO.

Cap. 12 Impactos humanos en el clima.

El termino “smog” se obtiene de combinar las palabras en ingles humo (smoke) y niebla (fog), y se usó para referirse a la combinación de esos elementos, que originalmente se producía en Londres. Es una nube toxica causada por el dióxido de azufre (SO_2) en la atmósfera. El smog fotoquímico se forma por la reacción de los gases que emanan de los automóviles, en presencia de la luz solar (de ahí el nombre de fotoquímico).

Los contaminantes del aire son partículas y gases mezclados con el aire, que se encuentran en concentraciones que pueden ser peligrosas para la salud y bienestar de los organismos o interrumpir el funcionamiento ordenado del medioambiente. Los gases emitidos directamente a la atmósfera, por fuentes naturales y antropogénicos y que contaminan inmediatamente el aire luego de ser liberados, se llaman **contaminantes primarios**, se indican en la figura 12.14. Los contaminantes primarios mas abundantes son el monóxido de carbono, CO, oxido de nitrógeno, NO, e hidrocarburos crudos emitidos por los escapes de los vehículos.

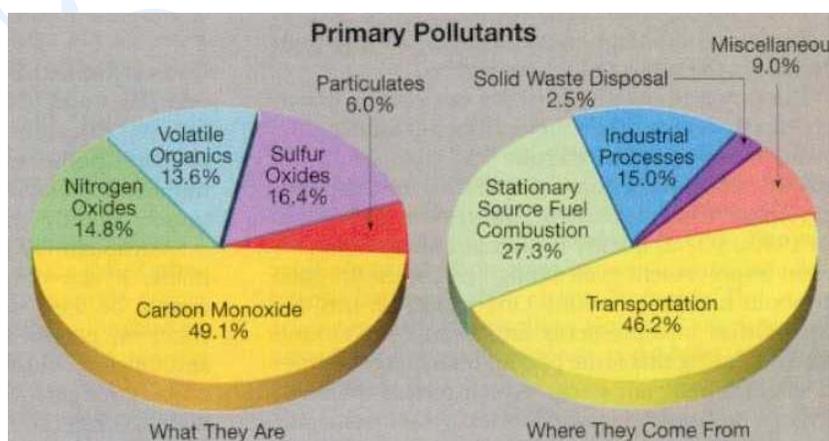
Figura 12.14 Fuentes de contaminantes primarios.



En el diagrama de la figura 12.15 se muestran las concentraciones porcentuales típicas en las grandes ciudades, de los diferentes gases contaminantes y las fuentes de emisión de los mismos. Notar que casi la mitad de los contaminantes corresponden a CO y que la principal fuente de

emisión es el transporte terrestre. Una vez en el ambiente, estos contaminantes desencadenan una serie de reacciones químicas produciéndose los **contaminantes secundarios**, que están formados SO_2 , NO_2 , O_3 y otros gases, responsables de la formación del smog. En algunos casos el efecto de los contaminantes secundarios sobre la salud humana y el medio ambiente es mas grave que el efecto de los contaminantes primarios.

Figura 12.15 Porcentaje de los contaminantes primarios y sus fuentes de origen.

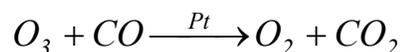


Uno de los importantes componentes del smog fotoquímico es el ozono, que en altas concentraciones cerca de superficie es un contaminante dañino para la salud, usado como un índice de mala calidad de aire. Entre sus efectos negativos para los seres humanos, se cuenta el que una corta de exposición a niveles elevados de O_3 produce una irritación en los ojos y pulmones, y exposiciones a niveles moderados de O_3 , pero de largo plazo, producen efectos crónicos. En campos cultivados, retarda el crecimiento de las hojas dañando las plantas y arbustos. En las ciudades produce daños materiales en gomas, plásticos y pinturas. El desagradable olor picante es una característica distintiva del smog fotoquímico.

Debido a que estas reacciones son producidas por la luz solar, su formación se limita a las horas del día, con un máximo alrededor del mediodía con cielos despejados y aire en calma. La concentración de ozono típica cerca de superficie presenta un máximo a la hora de máxima insolación o de temperatura máxima. Los niveles de ozono son, por lo tanto, también mayores en los meses cálidos. Las concentraciones dependen del lugar, tráfico y de las condiciones climáticas, su presencia se acompaña generalmente con neblina.

En la oxidación de los hidrocarburos se forman varios intermediarios orgánicos, como alcoholes y ácidos carboxílicos, que son menos volátiles que los mismos hidrocarburos. En algún momento estas sustancias se condensan en pequeñas gotas de líquido. Cuando las gotas se esparcen en el aire se les llama aerosoles, que dispersan la luz solar y reducen la visibilidad, lo que hace que el aire se vea nublado.

Como ahora el mecanismo de formación del smog fotoquímico se entiende mejor, se hacen grandes esfuerzos para reducir la concentración de contaminantes primarios. En la actualidad gran parte de los automóviles están equipados con convertidores catalíticos, que se han diseñado para oxidar el CO y los hidrocarburos crudos a CO₂ y H₂O y para reducir el NO, NO₂, N₂ y O₂. Recientemente se descubrió que se puede cubrir los radiadores de los autos con un catalizador de platino, Pt, que puede purificar el aire que circula dentro y convertir el O₃ y el CO en O y CO₂ por la siguiente reacción química:



En el problema del smog fotoquímico todos somos partícipes de diferentes formas. Por ejemplo cada vez que usamos un auto o cuando alguien está fumando, estamos contaminando. La solución no es solamente dejar de usar el auto, ya que es nuestro medio de transporte, sino usar hábitos de desplazamiento que nos permitan limitar su uso, lo que de inmediato

ayudara a la reducción del smog. Entre otras medidas de prevención se puede considerar la posibilidad de caminar, usar bicicleta o usar transporte público, para reducir la formación de contaminantes primarios, apagar el motor del auto en atochamientos de tránsito, utilizar convertidores catalíticos, aplicar restricciones vehiculares, potenciar el transporte público para disminuir el transporte privado, tener buenos hábitos de conducción, revisar la mantención del vehículo, crear programas de educación y conciencia ciudadana. Es importante tomar urgentemente algunas o todas estas medidas de prevención, ya que el smog fotoquímico a través de sus diferentes reacciones químicas produce daños en la salud humana tales como irritación ocular, en las vías respiratorias, severos estornudos afectando principalmente a niños y ancianos. Por otra parte, los gases contaminantes producen efectos negativos en los animales y en las plantas y disminuyen considerablemente la visibilidad de la atmósfera y le cambian su color.

12.8 CONTAMINACIÓN DOMÉSTICA.

El aire en el hogar, oficinas, colegios, centros comerciales, cines, etc. se altera por la actividad humana, por los materiales con los que se construyen y por otros factores del medio ambiente. Los contaminantes domésticos más comunes son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), radón y formaldehído, que se describen a continuación.

12.8.1 Monóxido y dióxido de carbono.

Son productos de la combustión en presencia de oxígeno; si la concentración de oxígeno es baja se forma CO y CO₂, y si es alta solo CO₂, ambos gases son incoloro e inodoro. Las fuentes son estufas a gas, leña, calefactores, humo de tabaco. El CO₂ no es un gas tóxico, pero tiene efecto asfixiante, su concentración en lugares cerrados puede ser tan alta como 2000 ppm, cuando en el exterior es sólo de 3 ppm, y en las personas expuestas a esta contaminación produce fatiga y dificultad para concentrar-

se. El CO en cambio es un gas muy venenoso, ya que se une a la hemoglobina, que es el transportador de oxígeno en la sangre. Las moléculas de hemoglobina que se unen al CO no pueden transportar el oxígeno necesario para los procesos metabólicos, produciéndose el daño.

Cada ser viviente necesita oxígeno para vivir, por medio de la respiración el oxígeno llega a los pulmones. Dentro de los pulmones, el oxígeno viaja del aire a la sangre. Una vez que el oxígeno se encuentra en el cuerpo, requiere ayuda para llegar donde necesita ir, ayuda que se la proporciona una molécula llamada hemoglobina, que toma el oxígeno y lo lleva a los lugares del cuerpo que lo necesitan. Pero la hemoglobina puede transportar tanto el oxígeno como el CO. Cuando una persona respira aire que contiene CO, la hemoglobina desplaza al oxígeno y transporta al CO en su lugar, por lo que se entrega menos oxígeno al cuerpo. El cerebro y el corazón necesitan mucho oxígeno y no funcionan normalmente cuando una persona respira CO. Si alguien se expone a altos niveles de CO, puede experimentar dificultades al respirar o ligeros dolores de cabeza. Con una pequeña cantidad de CO que se inhale, se produce dolor de cabeza y fatiga, y cuando la mitad de las moléculas de hemoglobina forman un complejo con CO, puede ocurrir la muerte. En atención de primeros auxilios se debe trasladar el afectado a zonas con abundante oxígeno o proporcionarle oxígeno con respiración boca a boca, a menos que se tenga a mano un balón de oxígeno.

Altas concentraciones de CO se encuentran en ciudades con mucho tráfico. Las personas que pasan mucho tiempo en las calles, conductores de buses y taxis, inspectores de vehículos, encargados de estacionamientos, trabajadores que reparan calles, vendedores ambulantes, pasajeros, peatones, etc. se exponen a respirar mas CO. Individuos con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, anemia o hemoglobina irregular, pueden experimentar efectos mas severos en su salud. Los niños pueden ser mas vulnerables debido a que sus pulmones no están desarrollados completamente, respiran mas rápido y pasan mucho tiempo al aire libre. En personas sanas, la exposición al CO puede afectar la visión y la agudeza men-

tal. Los síntomas se intensificarán si la persona está haciendo ejercicio o si tiene el corazón y los pulmones débiles.

12.8.2 Riesgo del radón.

Un tipo de contaminación del aire en los interiores (o doméstica) la produce el radón. El radón es un elemento del grupo A8 de gases nobles, es un gas incoloro, inodoro e insípido, emisor de partículas alfa radioactivas, que se pueden adherir al polvo y humo e inhalarse y depositarse en el tracto respiratorio. El radón se detecta en los hogares construidos sobre terrenos que cubren depósitos de uranio, producto del decaimiento del Uranio 238 (ver punto 12.1). Si las partículas alfa radioactivas se respiran por períodos prolongados de tiempo, se puede desarrollar un cáncer de pulmón.

12.8.3 Formaldehído.

El formaldehído (HCHO) es un líquido desagradable, una sustancia orgánica volátil, que se libera de las resinas utilizadas en los materiales de construcción y mueblería, como madera enchapada o espumas aislantes. Las espumas y las resinas se degradan lentamente y liberan el formaldehído. En bajas concentraciones produce adormecimiento, náusea, dolor de cabeza y molestias respiratorias. Concentraciones altas podrían producir cáncer, aunque esto no está totalmente demostrado.

La mejor forma de tratar la contaminación doméstica es estableciendo una serie de normas reguladoras de los principales contaminantes en el hogar, como por ejemplo, no mantener estufas ni calefón a gas en ambientes cerrados, evitar el consumo de tabaco, procurar que las llaves del gas de la cocina se encuentren en buen estado y debidamente cerradas, por la posible emanación de monóxido de carbono. En general basta poner en práctica buenas normas de conducta para el cuidado y seguridad en nuestro hogar.

PREGUNTAS.

1. Comentar los factores que pueden producir cambio climático natural.
2. ¿Que es el efecto invernadero y cuales son los criterios para que un gas se considere como de invernadero?
3. ¿Qué efectos tienen el vapor de agua, los CFC y el O₃ en la temperatura de la Tierra (o de su atmósfera)?
4. ¿Qué efectos tendría el aumento esperado de la temperatura por efecto invernadero?
5. Describir como se altera la circulación del océano y de la atmósfera durante El Niño. Hacer el mismo análisis para el caso de La Niña.
6. Describa la relación entre la Oscilación del Sur y El Niño.
7. Explique los procesos que originan el calentamiento en la estratosfera.
8. ¿Cuál es la causa del agujero de ozono en la Antártica?
9. Describir los mecanismos para detener la destrucción del O₃ en la estratosfera
10. Como la cantidad de O₃ en la atmósfera equivale a una capa de 3 mm de espesor cubriendo la Tierra, calcular la masa y el número de moléculas de O₃.
11. ¿Qué es el PH de una sustancia y que relación tiene con la lluvia ácida?

12. Haga un análisis de los procesos industriales que producen la lluvia ácida.
13. Analice las distintas maneras de evitar la lluvia ácida.
14. Sugiera alguna forma de reducir la formación del smog fotoquímico.
15. ¿Cuáles son los contaminantes primarios y secundarios?
16. El ozono ¿es beneficioso o es perjudicial? Analizar.
17. ¿Cuáles son los principales contaminantes de los interiores y su origen? ¿Se incluye al O_3 (otra vez el O_3)?
18. Explique porque el CO puede ser letal. [Una concentración de CO de 800ppm en volumen se considera letal para el ser humano, (a propósito, con ese dato puede estimar la cantidad de CO, en gramos, peligrosa en su cocina)].