

## **TEMA 7. IMPACTOS HUMANOS EN EL CLIMA.**

### **7.1 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...

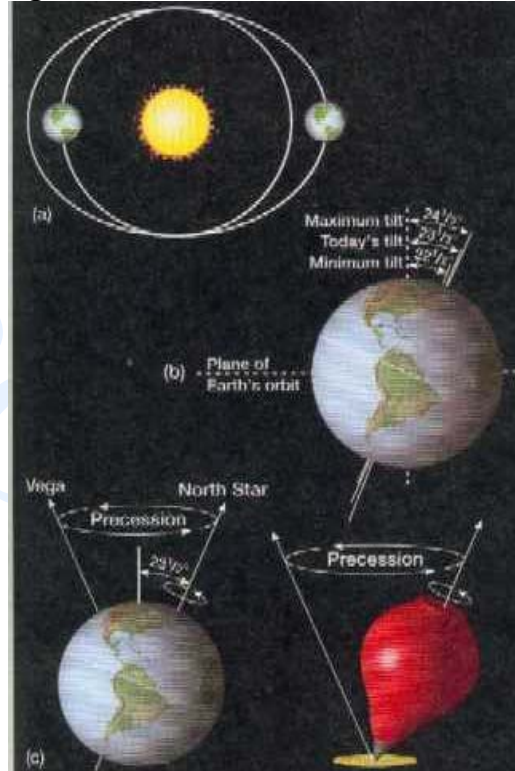
## **7.2 CAUSAS NATURALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

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.
  - 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 varía 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  $23.5^\circ$ , inclinación que se llama **oblicuidad**. La oblicuidad de la Tierra varía de  $22.5^\circ$  a  $24.5^\circ$

con una periodicidad de aproximadamente 41 mil años. Esto produce grandes cambios en las estaciones. En la actualidad la inclinación del eje es  $23.5^\circ$  y está disminuyendo a razón de  $48''$  de arco cada siglo.

Figura 12.1 Ciclos de Milankovitch.



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.

### **7.3 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.

#### **7.3.1 Efecto invernadero actual.**

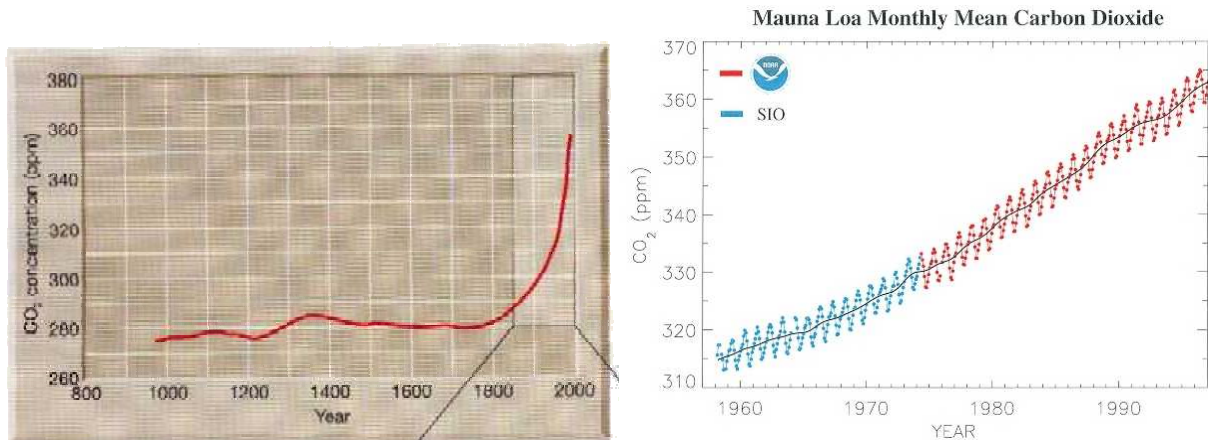
La composición química de la troposfera y de la estratosfera, es un factor importante en la determinación de la temperatura media de la superficie del planeta, y por lo tanto de

su clima. Ciertos gases en la atmósfera, principalmente el vapor de agua y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), 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 ( $\text{CH}_4$ ), óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ), llamados gases traza, porque su concentración en la atmósfera es mucho más pequeña que la del  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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 12.2 derecha muestra el aumento en la concentración de  $\text{CO}_2$  desde 1958 a la fecha, con observaciones tomadas en el Laboratorio Mauna Loa de Hawai, lejos de centros industriales.

Figura 12.2 Concentración de CO<sub>2</sub> en el último milenio y 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 CO<sub>2</sub> por las plantas y por otra se libera CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, es responsable de cerca del 18% de la generación humana de gases invernadero. Es producido por bacterias que descomponen la ma-

teria 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, en porcentaje del total y la real, para los diferentes gases.

Tabla 12.1

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

### **7.3.2 Consecuencias del efecto invernadero.**

Como consecuencia del incremento del CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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. Algunas 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.

### **7.3.3 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 CO<sub>2</sub>. 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.

#### **7.3.4 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 remarkable 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.

#### **7.4 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.

Tabla 12.2 Grandes erupciones volcánicas.

<b>Volcán</b>	<b>Año erupción</b>
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

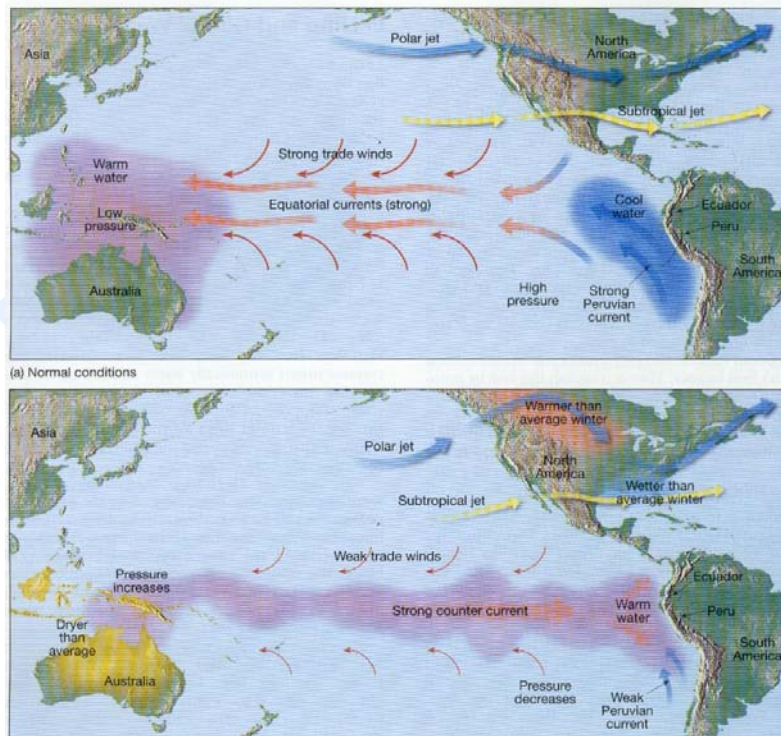
En la actualidad se llama fenómeno de El Niño al calentamiento de las aguas que se inicia en el Océano Pacífico Tropical occidental, cerca de Australia e Indonesia, donde la temperatura de las aguas superficiales se eleva unos cuantos grados por encima de lo normal. Gradualmente este máximo de temperatura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

litan 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).

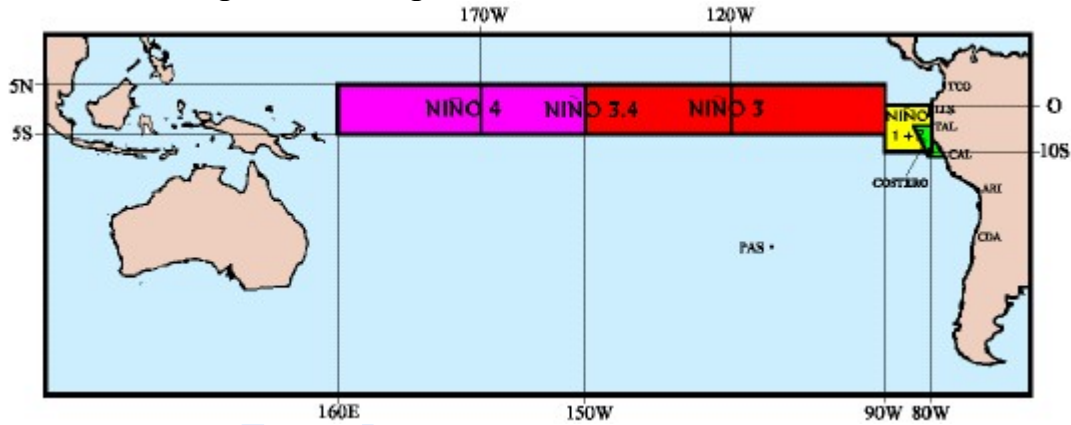


Durante el ENSO se altera la presión atmosférica en zonas del planeta muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y velocidad del viento y se desplazan meridionalmente las zonas de lluvia convectivas de la región tropical. En el océano, la rama de la corriente de Humboldt hacia el oeste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



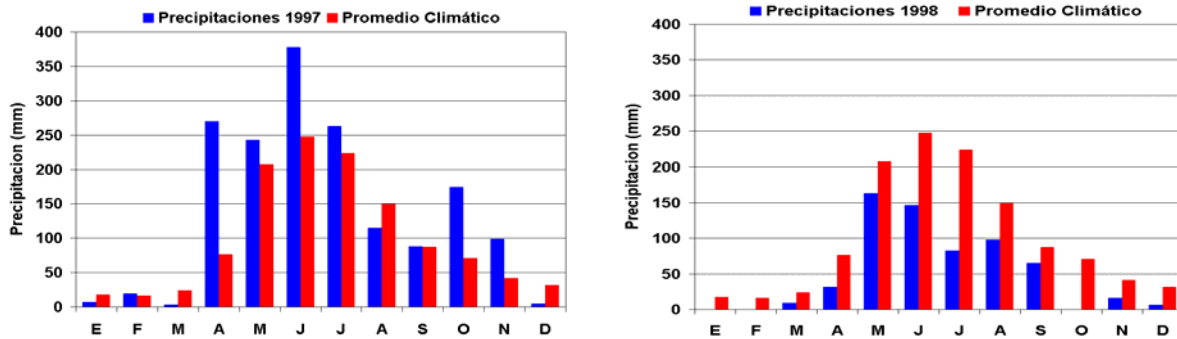
#### **7.4.1 Efectos en Chile.**

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.



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