

## **CAPITULO 2. CLIMATOLOGÍA Y LAS ESTACIONES.**

En el capítulo 1 dimos las definiciones de las ciencias de la meteorología, y del clima y describimos las características generales de la atmósfera. En este capítulo haremos una descripción cualitativa mas amplia de la climatología, que se usará posteriormente para definir los climas del mundo. Se describirán también los factores que producen las estaciones del año y como se definen las grandes zonas climáticas de la Tierra, por efecto de la forma en la cual llegan los rayos solares a la superficie terrestre. Pero antes de hacer esta descripción, vamos a recordar las definiciones básicas que nos permiten orientarnos y ubicarnos sobre la Tierra.

### **2.1 COORDENADAS GEOGRAFICAS, DEFINICIONES.**

**Eje terrestre:** línea imaginaria que pasa por los polos, alrededor de la cual la Tierra realiza su movimiento de rotación.

**Ecuador:** circunferencia imaginaria sobre la superficie de la Tierra, perpendicular al eje terrestre, que la divide en dos partes iguales, llamadas hemisferios sur y norte.

**Paralelos:** circunferencias paralelas al ecuador, que se trazan desde el ecuador, donde se tiene el mayor círculo de latitud, disminuyendo hacia los polos donde se reducen a un punto.

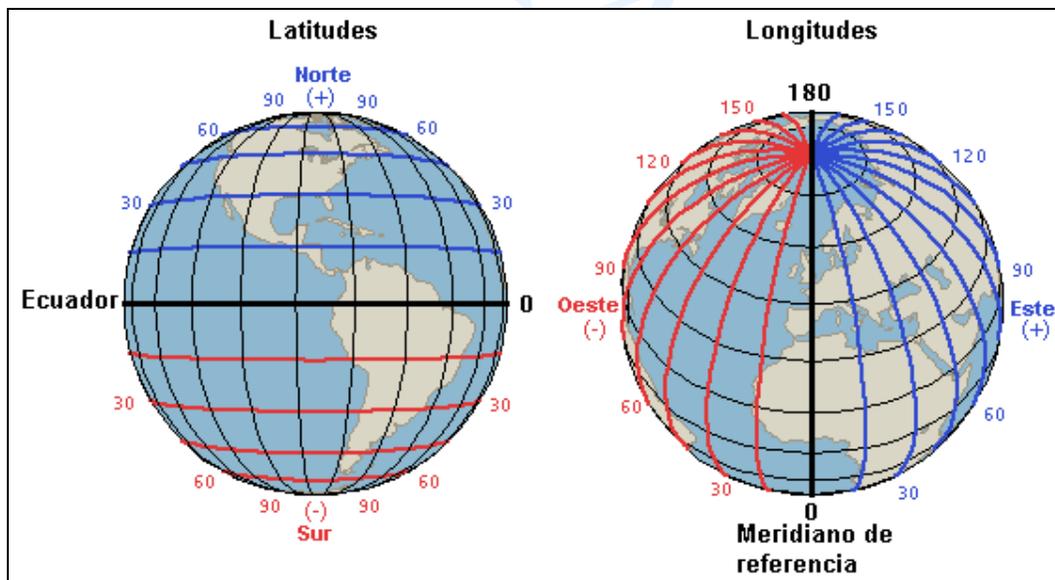
**Latitud:** distancia en grados, minutos y segundos entre un punto de la superficie terrestre y el ecuador. Se mide desde el ecuador hasta el polo sur de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  sur (ó  $-90^\circ$ ), y hasta el polo norte de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  norte (ó  $+90$ ).

**Meridianos:** circunferencias cuyo diámetro es el eje terrestre y que concurren en los polos. Todos los meridianos tienen el mismo tamaño.

**Longitud:** distancia en grados, minutos y segundos entre un punto de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich. Al meridiano que pasa por el Real Observatorio de Greenwich, en Londres, se le asigna el valor 0°. La longitud se mide desde meridiano de Greenwich de 0° a 180° este y de 0° a 180° oeste.

Aunque en teoría los grados de latitud están espaciados de manera uniforme, el achatamiento de la Tierra en los polos hace que el largo de un grado de latitud varíe desde 110.57 km en el ecuador a 111.70 km en los polos. En el ecuador los meridianos de longitud separados por un grado se encuentran a una distancia de 111.32 km, mientras que en los polos los meridianos convergen. Cada grado de longitud y de latitud se divide en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. De este modo se puede asignar una localización precisa a cualquier lugar de la Tierra. En la figura 2.1 se observan las líneas anteriormente definidas.

Figura 2.1 Paralelos y meridianos.

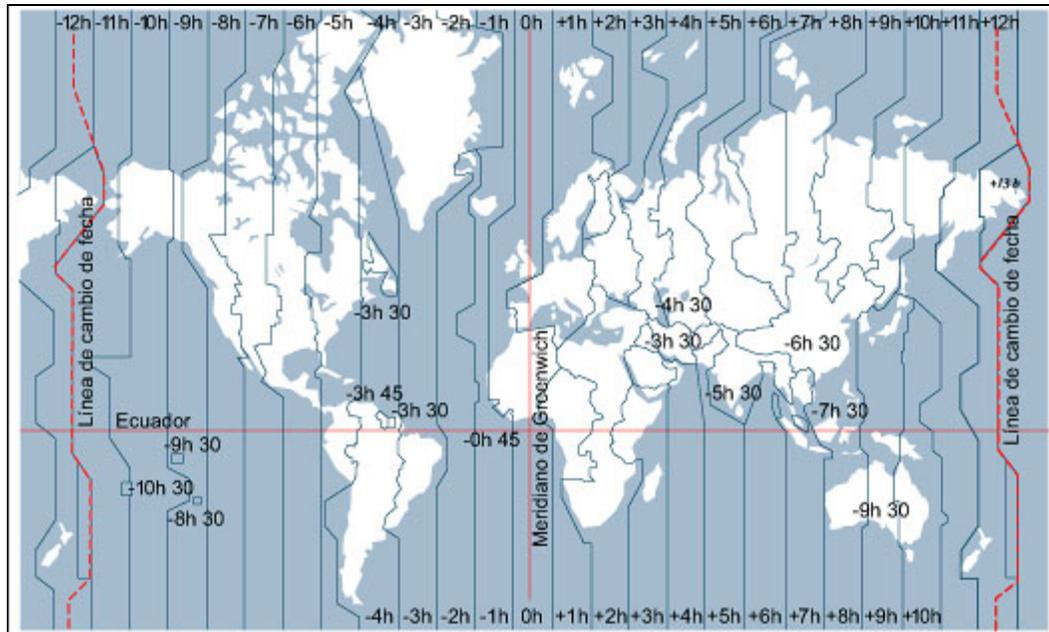


**Coordenadas geográficas:** son la latitud, longitud y altura, se usan para determinar la posición de cada punto de la superficie terrestre. Por ejemplo, la estación meteorológica Bellavista de la Universidad de Concepción se encuentra ubicada en  $36^{\circ}47'$  sur,  $73^{\circ}02'$  oeste y 9.6 metros sobre el nivel medio del mar (snmm).

**Husos horarios:** A causa de la rotación y la desigual llegada de los rayos solares a la superficie terrestre, hay diferencias horarias entre los países y continentes del mundo. La circunferencia terrestre tiene 360 meridianos, cada  $15^{\circ}$  de longitud geográfica hay una hora de variación, por lo que existen 24 husos horarios ( $360/15$ ), el primero de los cuales tiene como eje el meridiano de Greenwich, al que se le asigna la hora 00. Desde aquí se suma (resta) una hora cada  $15^{\circ}$  de longitud hacia el este (oeste). El hemisferio oriental o este, tiene la hora mas adelantada que el occidental, como se muestra en la figura 2.2. Se considera que dentro de cada huso horario se tiene la misma hora, pero necesidades locales imponen modificaciones en los husos teóricos y cada país adopta la hora oficial a su conveniencia, tratando de ajustarse lo mejor posible al huso horario internacional. A la hora internacional se le llama Tiempo Universal Coordinado, UTC, o Tiempo del Meridiano de Greenwich, GMT, es la hora que se usa para todas las observaciones meteorológicas.

**Línea de cambio de fecha.** La línea internacional de cambio de fecha, es una línea irregular trazada sobre el mapa del océano Pacífico, próxima al meridiano  $180^{\circ}$  y que en muchos lugares coincide con él. Señala el lugar en el que los navegantes adelantan o retrasan un día la fecha en un viaje transoceánico. Al este de la línea de fecha es un día antes que al oeste de la misma. El trazo de la línea de cambio de fecha se desvía en las áreas terrestres hacia el océano Pacífico para evitar que en un mismo lugar se tengan dos fechas diferentes. En Chile continental, ubicado aproximadamente entre los meridianos  $70^{\circ}$  y  $75^{\circ}$  oeste, existe hora oficial de invierno, desfasada en -4 horas respecto a la hora 0 UTC, y de verano, desfasada en -3 horas respecto a la hora 0 UTC.

Figura 2.2 Husos horarios.



## 2.2 ¿QUÉ ES LA CLIMATOLOGÍA?

La climatología es la ciencia que estudia los climas de la Tierra y las relaciones entre ellos. En otras palabras, se puede decir que es una parte de la Física que estudia los fenómenos que se producen en la atmósfera terrestre. La mayor parte de nosotros, cuando hablamos de la climatología, nos referimos a ella como “el tiempo”. Sin embargo, la climatología nos proporciona respuestas de mucho mayor alcance. No sólo abarca el estudio predictivo del tiempo, sino que trata de averiguar cuáles son las causas que desencadenan estos fenómenos, tratando de establecer modelos que permitan predecirlo y prevenir sus posibles consecuencias adversas para la humanidad.

El clima es algo que nos ha preocupado desde la antigüedad. Del clima dependían las migraciones de los animales, el crecimiento de los frutos y más tarde, la buena marcha de las cosechas. Por ello, desde la época de

las cavernas el hombre se ha preocupado por el medio que le rodeaba y los cambios que éste sufría. Sin embargo, en aquellos primeros tiempos, el conocimiento del medio era más práctico e instintivo que sistemático. No es hasta la época de Aristóteles (384 – 322 AC) en que encontramos referencias explícitas a algún estudio sobre la atmósfera y sus fenómenos, un primer paso para comenzar a sistematizar el estudio del clima del planeta. A partir de entonces, los estudios sobre el clima y sus fenómenos comienzan a hacerse más regulares: en el año 230 AC ya se conocía la existencia de los tres estados del agua -hielo, líquido y vapor- y se había comenzado a establecer una relación entre ellos.

Sin embargo, la atmósfera en su conjunto no se comenzó a estudiar realmente hasta el siglo XVII. No fue hasta ese siglo cuando se estableció una primera clasificación de las nubes, y desde hace relativamente muy poco tiempo que se puede responder preguntas, como por ejemplo, por qué llueve. Por lo tanto, la climatología, como la meteorología, es una ciencia relativamente joven.

El avance de la climatología tiene una estrecha relación con el desarrollo de la tecnología. La posibilidad de disponer de instrumentos de medida para el clima facilitó el desarrollo de las investigaciones en este sentido. El primer “instrumento” desarrollado fue el método experimental, que Galileo Galilei (1564 – 1642) utilizó como base para los experimentos que sobre el medio natural estaba realizando. Sin este método científico, prácticamente ninguna de las ciencias que hoy día conocemos se habría desarrollado hasta este punto. En este método científico se basan prácticamente todas las investigaciones llevadas a cabo desde entonces.

### ***2.2.1 El método científico y la climatología.***

En primer lugar, el método científico, se basa en la formulación de hipótesis y en la recopilación de pruebas objetivas que traten de probar la veracidad de tales hipótesis establecidas previamente. El método científico puede dividirse a grandes rasgos en varios pasos:

- a.* Observar el medio natural.
- b.* Hacerse una pregunta sobre el comportamiento del medio.
- c.* Formular una hipótesis y derivar de ella predicciones que puedan ser demostradas.
- d.* Planear un experimento que pueda verificar esa hipótesis.
- e.* Analizar los datos obtenidos de ese experimento. Si los datos coinciden con las derivaciones de la hipótesis, se podrá decir que ésta funciona y es válida en ese contexto.
- f.* A partir de esa hipótesis demostrada, elaborar una Teoría.
- g.* Nuevamente acudir a la Naturaleza para contrastarla.
- h.* Si la Teoría se cumple y demuestra, a partir de ella se formulará una Ley, que tratará de describir el fenómeno.

Antes de Galileo, la mayor parte de los experimentos no seguían este orden de pensamiento, sino que se basaban en la observación del medio y emisión de teorías, sin mayor comprobación posterior de éstas. La novedad que trajo consigo el método científico fue que se trabajaba con hipótesis que debían ser demostradas. Todo ello supuso un gran avance para la climatología como ciencia, puesto que se empezó a observar el cielo y a afirmar expresiones, hoy en día tan comunes como “parece que va a llover”. También se empezaron a realizar por ejemplo, entre muchas otras, comprobaciones sistemáticas sobre los tipos de nubes y su relación con la presión atmosférica.

### ***2.2.2 Diferencias entre tiempo y clima.***

Recordemos del capítulo 1 que los conceptos de tiempo y clima, hacen referencia a escalas temporales diferentes. El tiempo se define como el estado de la atmósfera en un determinado momento. Se toman en cuenta la humedad, la temperatura, la presión, precipitación, vientos, etc. en un determinado lugar y momento. El comportamiento del tiempo atmosférico cambia con el paso de las horas y los días, pero tienden a repetirse tipos de tiempo atmosférico similares en ciclos anuales y en las mismas

fechas aproximadamente. A esa repetición anual de tipos de tiempo es a lo que llamamos clima. El clima es, pues, la sucesión de tipos de tiempo que tienden a repetirse con regularidad en ciclos anuales.

Cuando una ciudad, campo, ladera, etc., tiene un clima diferenciado del resto del clima de su zona, decimos que es un topoclima. Además, llamamos microclima al que se produce en un espacio reducido y determinado, y que no se puede dividir a su vez en varios tipos menores de climas, como el que hay en una habitación, debajo de un árbol o en una determinada esquina de una calle.

El clima tiende a ser regular en períodos de tiempo muy largos, incluso geológicos, lo que permite el desarrollo de una determinada vegetación, y un suelo perfectamente equilibrado nos permite hablar de suelos climáticos. De ahí que exista una estrecha relación entre el tipo de clima de una zona y el tipo de vegetación que crece en ella, hasta el punto de que en muchas ocasiones se utiliza esta vegetación característica como marcador para determinar si una zona pertenece a uno u otro tipo de clima. Pero, en períodos de tiempo geológicos, el clima también cambia de forma natural, los tipos de tiempo se modifican y se pasa de un clima a otro en la misma zona. De ahí que zonas que en la actualidad aparezcan como desérticas y secas, puedan haber albergado espesa y frondosa vegetación en anteriores épocas geológicas. Por ello, y debido a que estos cambios no siempre son excesivamente largos, se considera que es necesario estudiar una zona durante un tiempo relativamente largo (un mínimo de 30 años) antes de juzgar qué tipo de clima tiene.

### ***2.2.3 Climogramas.***

El tiempo, y el clima tienen lugar en la atmósfera del planeta. El estudio de esta atmósfera es por tanto fundamental como base para definir el clima. Las observaciones de temperatura, precipitaciones, humedad y tipo de tiempo atmosférico se recogen en las estaciones meteorológicas. Con estos datos se elaboran tablas cuyos resultados se representan en gráficos,

llamados *climogramas*, que tratan de reflejar como esas variables han cambiado a lo largo del año, o a lo largo de varios años. Ver por ejemplo los gráficos de temperatura de la figura 4.11 y de lluvia de la figura 8.16.

La variabilidad del clima tiene su origen, en las especiales condiciones de la Tierra respecto al Sol. El clima es el resultado de un sistema circulatorio a escala planetaria: la radiación que llega desde el Sol a la Tierra, produce el calentamiento de la masa de aire que rodea al planeta. Este calor está intercambiándose continuamente con el calor de las masas de agua y de tierra, enfriándose y calentándose en un equilibrio dinámico. Puesto que la radiación del Sol no llega por igual a toda la superficie del planeta, el calentamiento que estas masas sufren no es igual en todo el globo. Las masas de aire frío desplazan a las calientes, y viceversa, creando un continuo flujo de calor y de movimiento en el aire, el agua y sobre la tierra.

Los factores que influyen en este equilibrio no son sin embargo tan simples: además de la radiación solar, la propia vida en la Tierra también genera su propio calor, y muchas otras fuerzas actúan sobre éstas masas de aire, agua y tierra, que además interactúan entre sí y con los seres vivos, creando un sistema muy complejo, que la climatología trata de entender y predecir. La climatología es por tanto una ciencia en la que los resultados nunca serán estables y pueden y deben variar a lo largo del tiempo. Los mapas climáticos establecidos hace 50 años no tienen por qué seguir siendo idénticos a los que se elaboran en la actualidad.

#### ***2.2.4 Los primeros estudios e instrumentos.***

A comienzos del siglo XX, el climatólogo y botánico alemán Wladimir Köppen (1846 – 1940) le dio una nueva estructura a la ciencia de la climatología, cuando presentó una clasificación por zonas climáticas del mundo basándose en los diversos tipos de vegetación que en ellas se encuentran. Esta descripción empírica del clima ha sido mejorada continuamente y aunque ha sido fuertemente criticada, sigue siendo hasta hoy

uno de los métodos más conocidos de clasificación del clima. La clasificación climática de Köppen se presenta en el capítulo 13.

Pero el mayor reto con el que se enfrentaron los primeros científicos que estudiaron el tema de la climatología fue obtener datos de la propia atmósfera, datos de los principales parámetros climáticos. Gracias al desarrollo de los globos sonda, esto comenzó a ser posible, aunque tenían el inconveniente de que no se podía disponer de los datos en tiempo real. Posteriormente, con el uso de la radiotelegrafía se solucionó ese problema, permitiendo una fineza y flexibilidad mucho mayores en los experimentos. Además, el desarrollo de la aviación permitió el registro de datos mucho más precisos y de forma directa. En la actualidad, el uso de radiosondas y estaciones meteorológicas locales es fundamental, pero se cuenta también con los satélites y radares meteorológicos que aportan importantes datos para el estudio de estos fenómenos.

### ***2.3 FACTORES QUE DETERMINAN EL CLIMA.***

La existencia de varios diferentes climas en la Tierra es posible debido a una serie de factores que van a afectar a las condiciones de temperatura, humedad, presión, viento, precipitación, etc. Estos factores ambientales, junto con los factores geográficos de cada zona van a determinar el tipo de clima. Serán descritos ampliamente en el capítulo 4 para el caso de los factores geográficos y en los capítulos 4 a 8 para los factores ambientales; pero a continuación hacemos un resumen de los mismos.

#### ***2.3.1 Factores geográficos.***

La geografía de una zona, su posición respecto al mar o la latitud, va a definir en parte la existencia de un determinado tipo de clima. Son factores preponderantes en la zonificación climática la latitud, la altura y la ubicación. Todos ellos son factores intrínsecos de cada zona, por ejemplo

puede variar el tipo de lluvias o cambiar el grado de humedad, pero no se puede variar la latitud donde está situada una zona geográfica.

**a. Latitud.**

Como la radiación solar controla los regímenes térmicos de un lugar, dependiendo de a que distancia esté una zona geográfica del ecuador por un lado y de los polos por otro, esto es de la latitud, recibirá mayor o menor radiación del Sol, y esta radiación variará en mayor o menor medida con el paso de las estaciones del año.

**b. Altura.**

La altura sobre el nivel del mar es otro de los factores influyentes en el clima. La altitud va a influir en el menor o mayor calentamiento de las masas de aire. A nivel del mar, el aire está caliente, pero a medida que se asciende en altitud en la atmósfera libre, la temperatura va disminuyendo. Pero la variación de temperatura en las zonas terrestres de altura es diferente a la de la atmósfera libre.

**c. Ubicación.**

La ubicación geográfica de la zona es también importante, entre estas, la más significativa es la proximidad o lejanía al mar. Las aguas del mar se enfrían y calientan más lentamente que las masas de tierra, de forma que el mar contribuye a mantener estable la temperatura a su alrededor, haciendo que las oscilaciones térmicas en las zonas costeras sean menores que en el interior de los continentes. Además, dependiendo de los vientos y la geografía de la zona, el mar puede proporcionar humedad al área que lo rodea.

### **2.3.2 Factores ambientales.**

Además de los factores que dependen de la geografía de cada zona, existen los factores ambientales, más variables, que van a contribuir a determinar el tipo de clima de la zona. Estos factores deben ser medidos cuidadosamente a lo largo de los años, para determinar cual es la tendencia general del clima, evitando variaciones puntuales que pudieran hacer que los datos obtenidos fueran engañosos. Por ello, se recogen a lo largo de no menos de 30 años en las estaciones meteorológicas, los datos de los diferentes factores climáticos: temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos y precipitaciones.

#### **a. Temperatura.**

Generalmente interesan el promedio y sus oscilaciones, es decir, por un lado se determina cual es la temperatura media de una zona durante un margen de tiempo determinado (semanal, mensual, estacional, anual, etc) y por otro, el margen de temperaturas entre las que oscila, esto es, la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas, llamada amplitud térmica. Un promedio de 20 grados Celcius, puede deberse a un clima primaveral eterno o a que la mitad del año estamos a 5 grados y el resto del año a 35. De ahí que la oscilación o amplitud de temperaturas sea casi más importante a la hora de determinar un tipo de clima, que la temperatura media de la zona.

#### **b. Humedad.**

Otro parámetro para determinar un clima es la **humedad**. Depende, por supuesto, de la evaporación que a su vez es función de la temperatura (y esta última dependiente de la radiación solar), de la abundancia y frecuencia de las lluvias, pero también de los vientos existentes y la dirección de las masas de aire en movimiento.

*c. Presión atmosférica.*

Aunque sus variaciones son imperceptibles en superficie, es una variable fundamental. El aire de la atmósfera no es totalmente homogéneo, existen las masas de aire, generadas por las distintas condiciones de humedad, temperatura y vientos. Cada masa de aire tendrá unas condiciones especiales (masas de aire frío, de aire caliente, con mayor o menor humedad). Dependiendo de la densidad de esas masas, ejercerán una presión distinta sobre la atmósfera que las rodea, generando las diferencias de presión.

*d. Viento.*

Se llama viento al movimiento del aire producido por las variaciones de presión, es otra variable climática básica. Para fines climáticos interesa fundamentalmente describir las direcciones predominantes en la región de estudio, como así también su variabilidad temporal.

*e. Precipitaciones.*

Otro parámetro que se mide en las estaciones meteorológicas son las *precipitaciones*. Cada cuánto llueve, durante cuánto tiempo y con qué intensidad son aspectos importantes. Que caigan mil litros de agua por metro cuadrado cada año en una zona no quiere decir necesariamente que esta sea húmeda, si esos mil litros caen durante unas semanas y el resto del año no cae ni una gota. La forma en que se distribuyen estas precipitaciones a lo largo del año es también un parámetro fundamental.

## **2.4 LA CIRCULACIÓN DE LA ATMOSFERA.**

Después de ver cuales son los factores que influyen en la determinación de un tipo de clima, vamos a analizar de qué dependen dichos factores.

Como será descrito en el capítulo 8, la circulación de la atmósfera, producida por diversos factores, va a condicionar la creación y movimiento de grandes masas de aire de distinta temperatura, grado de humedad y velocidad. Aquí haremos un breve resumen de estos factores. La radiación que llega del Sol, junto con la inclinación de la Tierra sobre su eje y la rotación de nuestro planeta son la causa principal de la creación de estas masas de aire, pero existen también factores internos. La radiación solar no llega a los polos tan intensamente como al ecuador, creando una gran diferencia de temperaturas. El aire en los polos es muy frío, mientras que el aire de la franja ecuatorial es calentado muy intensamente por la radiación solar.

El aire del ecuador se calienta y asciende, creando un vacío que es rellenado por el aire más frío que proviene desde los polos. El aire frío polar que tiende a moverse hacia el ecuador, produce un viento que es desviado por la rotación de la Tierra. El aire caliente del ecuador, que asciende en la atmósfera se va expandiendo al llegar a las capas más altas y menos densas de esta, desplazándose hacia las latitudes altas en dirección a los polos. Sin embargo, en el proceso de expansión, junto con el encuentro con masas de aire frío que provienen del norte, va disminuyendo su temperatura, y al enfriarse desciende, al mismo tiempo que al llegar esa masa de aire a capas más bajas y densas de la atmósfera, se comprime. Este fenómeno suele ocurrir alrededor de 30° de latitud. Esa compresión de la masa de aire hace que vuelva a aumentar su temperatura, generando los anticiclones subtropicales. Un anticiclón, formado por una masa de aire caliente, cuando llega a la superficie terrestre se expande creando vientos alisios hacia el ecuador y vientos hacia los polos. Cuando los alisios de ambos hemisferios se encuentran cerca del ecuador en una región llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), contribuyen a la elevación de las masas de aire caliente, manteniendo el equilibrio dinámico que desplaza el aire frío de las zonas polares. Los vientos que se dirigen a los polos, se encuentran con las masas de aire frío que provienen desde estos. El aire frío, más denso, choca por debajo con el aire caliente, y obliga a estas masas calientes a ascender, provocando bajas presiones subpolares y originando el frente polar en latitudes medias-altas.

Estas masas de aire que ascienden, al llegar a las capas más altas y menos densa de la atmósfera, se expanden, creando nuevos vientos. La dirección de los vientos es siempre de las altas a las bajas presiones, por lo que se crean vientos en dos direcciones: hacia los polos y hacia latitudes más bajas. Los que se dirigen hacia los polos ayudan al descenso de las masas de aire polar, y al ser aire caliente, templan el aire frío de los polos. Los vientos que se dirigen hacia latitudes bajas son los que se encontrarán con las masas de aire de altura que provienen del ecuador, permitiendo el descenso de esas masas y favoreciendo que se formen los anticiclones subtropicales. Además en altura, las grandes diferencias de temperatura, producen diferencias de presión, que junto con la rotación terrestre, generan las corrientes en chorro, un fuerte viento de altura con dirección neta hacia el oeste. La trayectoria que sigue esta corriente son las que determinan la dirección de los temporales, como los que arriban desde el Pacífico sur a la zona central de Chile durante el invierno.

Podemos comprobar entonces, que existen una serie de zonas estables en el planeta donde se forman altas y bajas presiones. Cuando una masa de aire se enfría, desciende, haciendo que la presión atmosférica aumente. Cuando una masa de aire se calienta, asciende en la atmósfera, haciendo bajar las presiones en ella. Así quedan definidas la circulación meridional del viento (ver figura 8.2) y la circulación y vientos en superficie (ver figura 8.4), como se describe en detalle en el capítulo 8.

### **2.5 CENTROS DE ACCIÓN.**

Las regiones de la Tierra donde se encuentran de forma estable áreas de bajas y altas presiones, se denominan *centros de acción*, y definen el tipo de tiempo que hará en una determinada zona climática. Estos centros de acción son: las bajas presiones ecuatoriales; las altas presiones subtropicales, que toman el nombre de las regiones donde se forman, como los anticiclones del Pacífico Sur y Norte, del Atlántico Sur y Norte, de las Azores, de Hawai, Índico; las bajas presiones subpolares del frente polar;

y las altas presiones polares, que también tienen nombre, como los anticiclones antártico, ártico, canadiense o siberiano (capítulo 8). Los centros de acción no son estacionarios, sino que poseen alguna movilidad. En verano y en invierno, se desplazan del norte hacia el sur, siguiendo el movimiento aparente del Sol. Modifican continuamente su extensión y su posición, e incluso pueden llegar a desaparecer, como ocurre en el caso de los anticiclones térmicos. Y por descontado, pueden aparecer de nuevo de tamaño pequeño aumentando a medida que se desarrollan. Los centros de acción de las bajas presiones suelen ser más variables en el tiempo, aparecen y se extinguen con cierta frecuencia, salvo algunas excepciones que dan origen a huracanes, o algunos permanentes, como los temporales de Islandia, establecidos de forma permanente.

Existen también centros de acción secundarios, más localizados que afectan a lugares muy concretos y sólo en determinadas épocas del año. En Chile por ejemplo, se produce la baja térmica o vaguada costera, analizada en el capítulo 8. Los centros de acción son las regiones de las que brotan las masas de aire, considerando una masa de aire a aquella que tiene condiciones de humedad y temperatura homogéneas. El aire frío y el cálido tienden a no mezclarse, debido a las diferencias de densidad que existen entre ellos. Cuando se encuentran dos masas a diferente temperatura, se forman los sistemas frontales, estudiados en el capítulo 9.

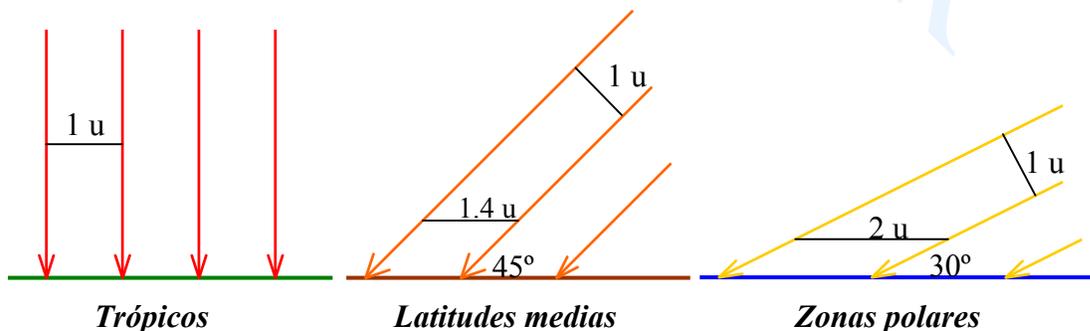
## ***2.6 RELACIÓN SOL - TIERRA.***

Las variaciones en la distancia de la Tierra al Sol no son la causa de las variaciones de temperatura a lo largo del año. La cantidad de energía solar que llega a un lugar dado de la Tierra determina la estación del año, y a largo plazo ejerce influencia en el clima. Las distintas zonas latitudinales de la Tierra, desplazándonos desde el ecuador hacia los polos, reciban diferente cantidad de energía solar. La traslación de la Tierra y la inclinación del eje terrestre varía la zona del globo que se inclina hacia el Sol, haciendo que la cantidad de energía solar sea diferente en todo el planeta, originándose las estaciones.

El gradual pero significativo cambio en la duración del día, es una de las diferencias que se observan entre el verano y el invierno. También la altura del Sol al mediodía cambia notablemente: en verano el Sol a las 12 horas se ve más alto sobre el horizonte y lo vemos inclinarse cada vez mas a medida que llega el invierno. Además la salida del Sol es más temprano, y la puesta del Sol más tarde en verano que en invierno, por lo tanto los días más largos, es decir se recibe mayor cantidad de energía solar en verano que en invierno. La variación estacional en la altura del Sol sobre el horizonte, afecta la cantidad de energía recibida en la superficie de la Tierra en dos formas:

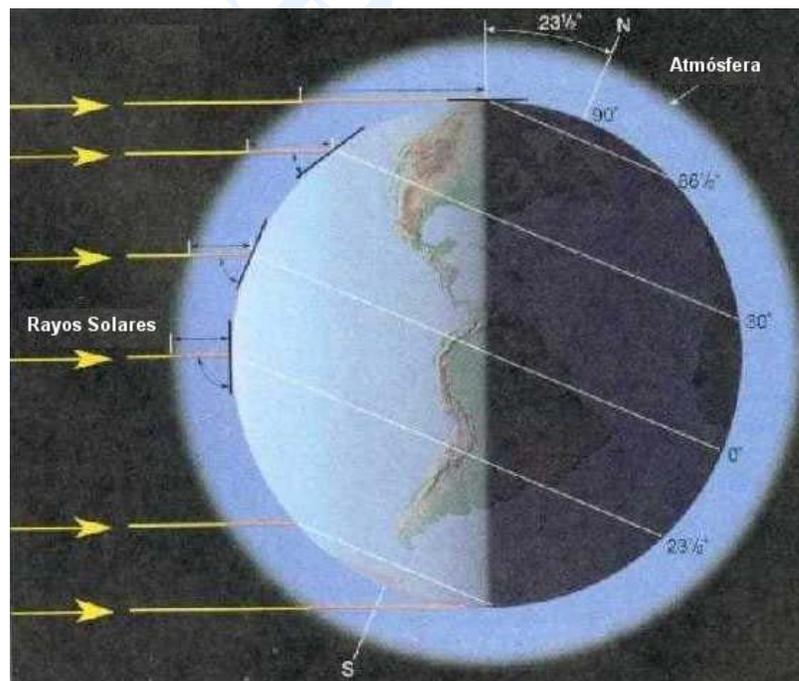
- a) Cuando el Sol está directamente en la vertical, el rayo solar es más concentrado sobre la superficie. Para un ángulo menor el rayo está más disperso y la radiación solar es menos intensa en la superficie incidente. Por lo tanto llega mayor cantidad de radiación solar a las zonas tropicales, donde los rayos solares caen mas perpendicular y disminuye hacia las zonas polares, donde los rayos caen mas inclinados sobre la superficie terrestre. Esta situación se ilustra en la figura 2.3 para un día determinado en diferentes zonas sobre la Tierra, u representa la energía solar sobre una unidad de área (en forma similar se puede ver cuando se enfoca con una linterna sobre el piso). El mismo esquema se produce con las variaciones diarias y estacionales de la posición del Sol en un lugar dado.

Figura 2.3 Inclinación de los rayos solares en diferentes latitudes.



- b) El ángulo de los rayos del Sol sobre el horizonte determina el espesor de atmósfera que el rayo puede penetrar, como se ve en la figura 2.4. Cuando el Sol de mediodía está justo en la vertical cruza un espesor de una atmósfera. Pero si el rayo solar llega al tope de la atmósfera inclinado en un ángulo de  $30^\circ$  respecto a la tangente a la atmósfera, cruza un espesor de dos atmósferas, y si llega a  $5^\circ$ , cruza un espesor de aproximadamente once atmósferas. Si la trayectoria del rayo solar es más larga, mayor es el cambio por absorción, reflexión y dispersión de la atmósfera, lo que reduce la intensidad de la radiación. La forma esférica de la tierra hace que sólo en días dados y lugares determinados el Sol se encuentre al mediodía en la vertical, recibiendo la mayor cantidad de energía solar.

Figura 2.4 Espesor de atmósfera que cruzan los rayos solares.



Las variaciones en el ángulo de incidencia de los rayos del Sol y en la longitud del día, se deben a que la orientación del eje terrestre respecto al Sol cambia continuamente en el transcurso de un año. El eje de rotación terrestre no es perpendicular al plano de su órbita en torno al Sol, sino que está inclinado en  $23.5^\circ$  respecto al plano, como se indica en la figura 2.4. Si el eje no estuviera inclinado, no habría cambios estacionales durante el año. El eje terrestre apunta siempre en la misma dirección (o mejor dicho casi siempre, en el capítulo 11 veremos que esto no es así) en la actualidad hacia la Estrella del Norte, por lo que la orientación del eje de la Tierra en su traslación en torno al Sol, siempre está cambiando respecto a los rayos solares (figura 2.4).

## **2.7 LAS ESTACIONES.**

Según la migración anual del Sol sobre la superficie terrestre, se producen cuatro días de importancia en el ciclo del tiempo.

Cuando la Tierra está en una posición en la cual su eje de rotación apunta ni acercándose ni alejándose del Sol, existe una fecha en la cual los rayos solares llegan perpendiculares sobre el ecuador. Se produce entre el 20 y 21 de marzo, llamado equinoccio (que significa igual noche) de otoño en el hemisferio sur (de primavera en el hemisferio norte), porque el día y la noche tienen la misma duración de 12 horas; esta fecha marca el inicio de esas estaciones. Las zonas cercanas al Polo Sur dejan de recibir luz del Sol las 24 horas del día y comienza la noche polar, que en el Polo Sur dura seis meses; lo contrario sucede en el Polo Norte, donde se produce el día polar.

Desde esa fecha, a medida que la Tierra se mueve en su órbita, el Polo Norte comienza a apuntar hacia el Sol. El 21 ó 22 de junio la Tierra está en una posición tal que su eje de rotación está inclinado con el Polo Norte apuntando hacia el Sol, en esta fecha los rayos llegan perpendiculares a la latitud mas al norte posible en  $23.5^\circ$  N, que se define como el Trópico de Cáncer, los rayos solares nunca llegan perpendicular en latitudes ma-

yores que esta. En esa misma fecha, los rayos solares pasan tangente a la superficie terrestre por la latitud  $66.5^{\circ}$  S, que se define como el Círculo Polar Antártico. Llega menos radiación solar al hemisferio sur, por lo que las temperaturas son mas bajas y los días más cortos. Esta fecha que se llama el solsticio, indica el comienzo de la estación de invierno en el hemisferio sur y de verano en el hemisferio norte (figura 2.5).

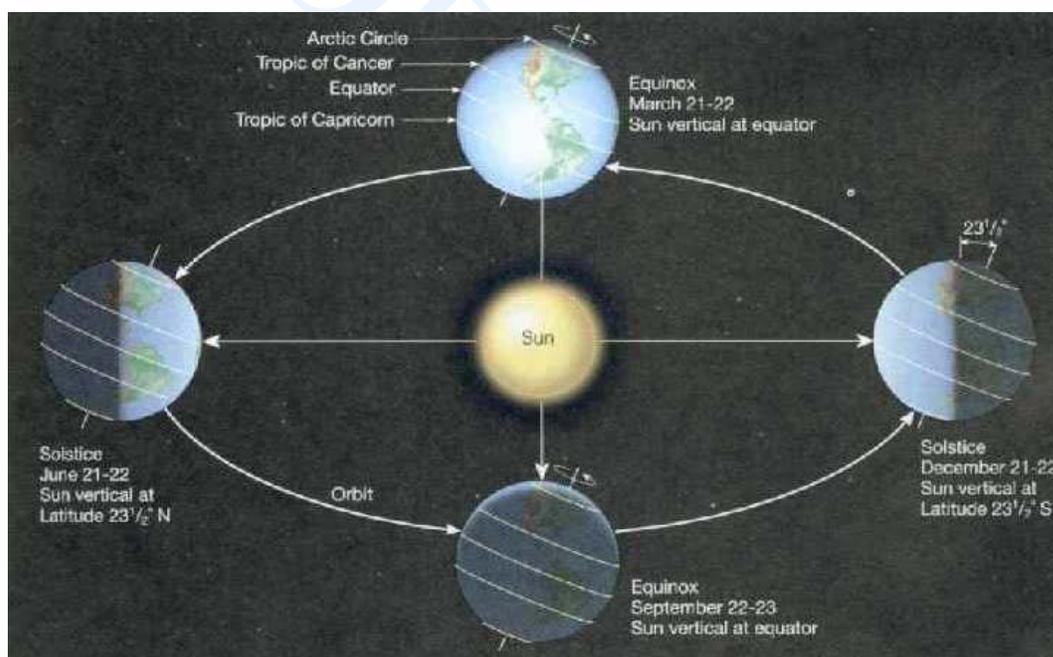
Como la Tierra continúa girando, el Polo Norte empieza de nuevo a orientarse en sentido opuesto. El 22 ó 23 de septiembre los rayos solares otra vez llegan perpendicular a la línea del ecuador, se produce el equinoccio de primavera en el hemisferio sur y comienzan a aumentar las horas de Sol. Las zonas al sur del círculo polar Antártico, reciben la luz del Sol las 24 horas del día, comienza el día polar, que en el Polo Sur dura seis meses, lo contrario sucede en el hemisferio norte.

Figura 2.5 Orientación de los rayos solares durante los solsticios.



Las horas de luz en el hemisferio sur continúan aumentando hasta el 21 ó 22 de diciembre, cuando la Tierra está en una posición tal que su Polo Sur se inclina apuntando hacia el Sol y los rayos solares llegan perpendiculares a la línea de latitud  $23.5^{\circ}$  S, que define el Trópico de Capricornio, la latitud mas al sur donde los rayos solares pueden llegar en forma perpendicular. En el hemisferio norte, los rayos solares pasan tangente a la superficie terrestre por la latitud  $66.5^{\circ}$  N, que se define como el Círculo Polar Ártico. Es el solsticio de verano del hemisferio sur y de invierno en el hemisferio norte (figuras 2.5 y 2.6).

Figura 2.6 Las estaciones astronómicas.



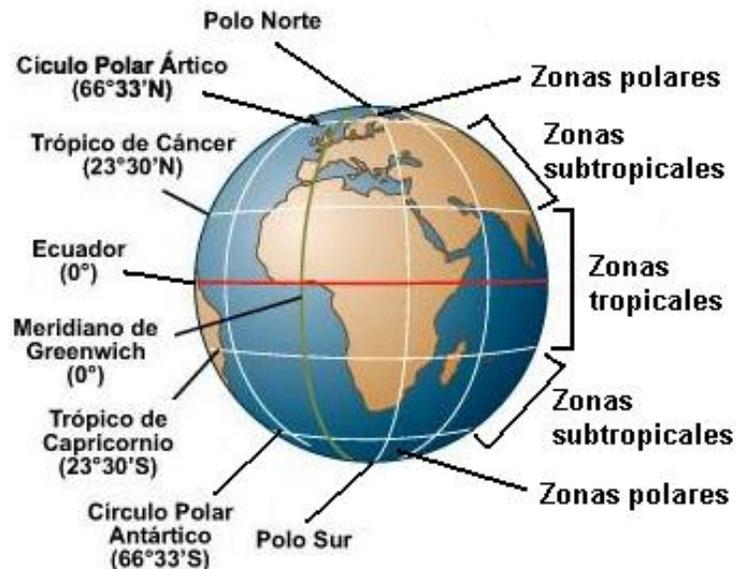
Estas son las fechas del primer día oficial de cada estación del año, se llaman las estaciones astronómicas, cuyo esquema de formación se muestra en la figura 2.6. Notar que los rayos solares nunca llegan perpendicu-

lar a la superficie terrestre en latitudes mayores a las tropicales. Las estaciones climatológicas tienen un periodo de 3 meses según la temperatura. En el hemisferio sur se tiene: verano en los meses de diciembre, enero y febrero, otoño en marzo, abril y mayo, invierno en junio, julio y agosto y primavera en septiembre, octubre y noviembre. En el hemisferio norte las estaciones son opuestas.

## 2.8 GRANDES ZONAS CLIMÁTICAS.

Las principales líneas imaginarias del globo terrestre son el Ecuador, los trópicos de Capricornio y de Cáncer, los Círculos Polar Antártico y Ártico y el meridiano de Greenwich. De acuerdo a la formación de las estaciones, se puede subdividir el planeta en distintas partes que definen las grandes zonas climáticas de la tierra, que se muestran en la figura 2.7.

Figura 2.7 Principales zonas climáticas de la Tierra.



### ***2.8.1 Zonas tropicales o de latitudes bajas o ecuatoriales.***

Comprendida entre los trópicos de Capricornio y de Cáncer, con clima cálido o tropical. Entre los trópicos la duración del día y la cantidad de radiación solar tienen una pequeña variación a lo largo del año, por lo que se pueden distinguir sólo dos estaciones: una húmeda en la zona donde el Sol está sobre la vertical, se produce alta evaporación, se calienta el aire y se eleva, en su ascenso se enfría y la evaporación se condensa, produciendo abundante precipitación, y otra seca en la región donde los rayos llegan más inclinados.

### ***2.8.2 Zonas subtropicales o de latitudes medias.***

Comprendida entre el trópico de Capricornio y el Círculo Polar Antártico en el Hemisferio Sur y entre el trópico de Cáncer y el Círculo Polar Ártico en el Hemisferio Norte, con clima templado o subtropical. El clima es muy variable a lo largo del año, con marcados períodos secos y lluviosos y grandes variaciones de temperaturas.

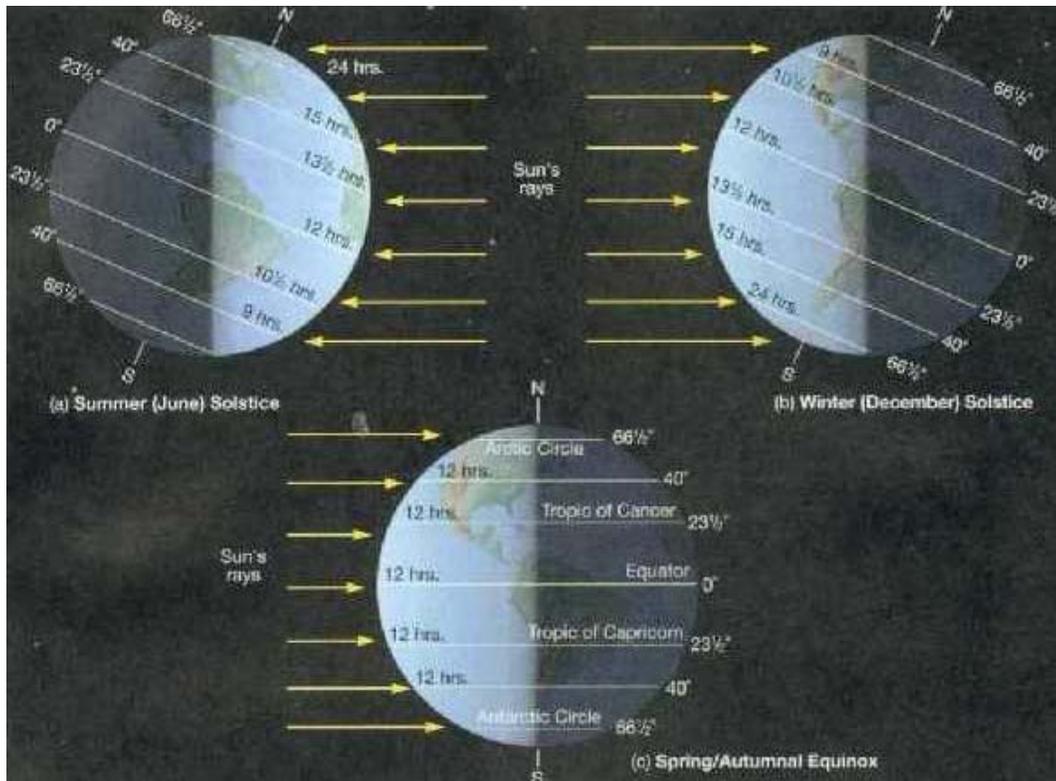
### ***2.8.3 Zonas polares o de latitudes altas.***

Comprendida dentro del Círculo Polar Antártico en el Hemisferio Sur y dentro del Círculo Polar Ártico en el Hemisferio Norte, con clima frío o polar. Tanto el otoño como la primavera son estaciones cortas en las regiones polares, y quedan mejor descritas por expresiones como “estación de luz” y “estación oscura”, debido a la enorme variación en la duración de la luz del día.

Debido a que la órbita de traslación de la Tierra no es circular, los dos equinoccios no dividen el año exactamente en la mitad. De marzo a septiembre dura 186 días y de septiembre a marzo 179 días. Esto significa que el verano del hemisferio sur es ligeramente más corto que el del hemisferio norte. Por otra parte, la longitud de los días y noches está de-

terminada por la posición de la Tierra en su órbita, situación que se muestra en la figura 2.8. En verano los días son más largos que las noches en todo el hemisferio respectivo.

Figura 2.8 Duración de los días en diferentes latitudes y épocas.



De acuerdo a lo descrito anteriormente, todos los lugares ubicados en una misma latitud, deberían tener la misma temperatura, pero esto no es así. Por lo tanto las posiciones relativas del Sol y de la Tierra son el principal control de temperatura global, pero este factor no es el único. En el próximo capítulo veremos otros.

***PREGUNTAS.***

1. Obtener de un mapa la ubicación geográfica de Arica, Santiago, Punta arenas, Isla de Pascua y del lugar donde tu vives.
2. Averiguar la hora oficial de algún país de América del Sur, América del norte, Europa, Asia, África, Australia.
3. ¿Cuál es la hora oficial del Polo Sur en cualquier instante? Explicar.
4. Explicar si la variación anual de la distancia Sol - Tierra tiene efecto en los cambios estacionales de temperatura.
5. Describir como cambia la cantidad de energía solar en la superficie de la Tierra cuando cambia la altura del Sol.
6. Describir los solsticios y equinoccios.
7. ¿Cómo se verían afectadas las estaciones si el eje de la tierra fuera perpendicular al plano de su órbita?
8. Describir las estaciones y determinar la ubicación de los trópicos y los círculos polares si el eje de la Tierra estuviera inclinado  $30^\circ$ .
9. Definir las grandes zonas climáticas de la Tierra.
10. Calcular en forma genérica la superficie cubierta por los rayos de Sol, considerando que un haz de rayos al mediodía cubre una unidad de área. Aplicar a Concepción en los solsticios y equinoccios.