

## 3.1 ORIGEN Y COMPOSICIÓN DE LA PROTOATMÓSFERA

### LA ATMÓSFERA PRIMITIVA TENÍA UNA COMPOSICIÓN DIFERENTE A LA ACTUAL

- Aunque hasta hace unas décadas los científicos consideraban que la atmósfera primitiva debió ser una atmósfera reductora que carecía de oxígeno libre y estaba formada fundamentalmente por  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2$ , diversos datos recopilados en los años setenta han hecho cambiar esta idea. En la actualidad se piensa que la atmósfera primitiva se originó a partir de los gases expulsados por la incesante actividad volcánica que se produjo durante las primeras etapas de la formación del planeta y que debió ser una atmósfera sólo ligeramente reductora formada por vapor de agua,  $\text{N}_2$  y  $\text{CO}_2$  fundamentalmente.
- Hace entre 2.500 y 2.000 millones de años, apareció oxígeno libre en la atmósfera como consecuencia de la aparición de los primeros organismos fotosintetizadores (aparecen capas de sedimentos con hematites, la forma más oxidada del hierro, y se hacen raros los minerales sedimentarios incompatibles con la presencia de una atmósfera oxidante).
- Hace unos 600 millones de años había oxígeno suficiente como para que se formara la capa de ozono en la estratosfera.
- Los cambios posteriores consisten fundamentalmente en variaciones en la cantidad de  $\text{CO}_2$  relacionadas con la glaciaciones y con la actividad humana.

## 3.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA ACTUAL

### LA ATMÓSFERA ESTÁ FORMADA FUNDAMENTALMENTE POR NITRÓGENO Y OXÍGENO

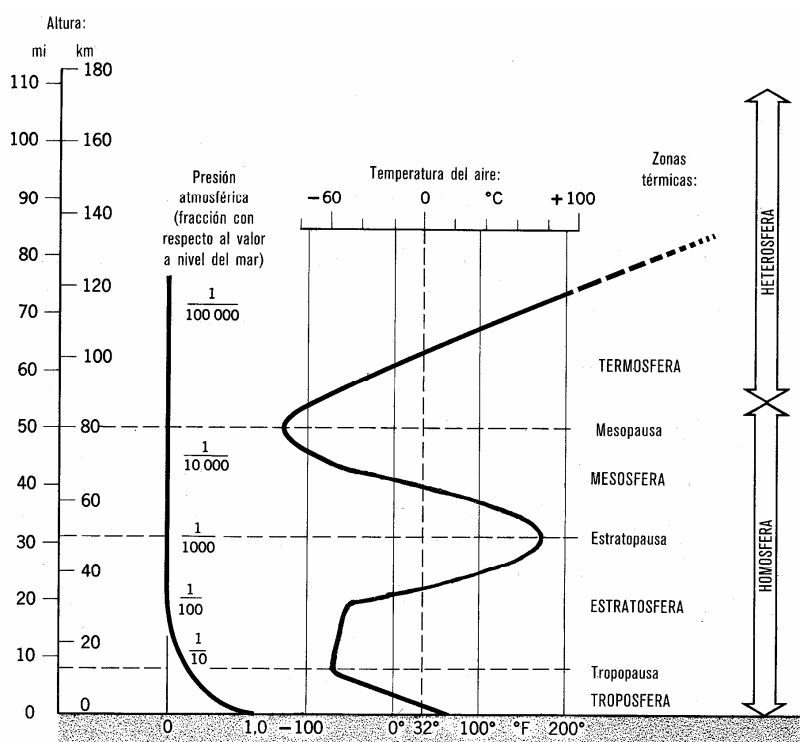
- La composición actual de la atmósfera es bastante sencilla y homogénea: 78% (en volumen) de  $\text{N}_2$ , 21% de  $\text{O}_2$ , 0,93% de Ar, 0,03% de  $\text{CO}_2$  y cantidades variables de otros gases –fundamentalmente vapor de agua y polvo en suspensión–.
- A pesar del bajo porcentaje en el que aparecen el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{O}$  tienen una gran importancia. El  $\text{CO}_2$ , además de ser la fuente de carbono para los organismos fotoautótrofos, es uno de los principales gases del efecto invernadero. El vapor de agua condiciona gran cantidad de fenómenos atmosféricos.

- Debido a la compresibilidad de los gases la mayor parte de la masa de la atmósfera se encuentra comprimida por su propio peso cerca de la superficie, de forma que el 50% del total se encuentra en los primeros 6 km, y hasta un 95% por debajo de los 15 km. Esto condiciona la rápida disminución de la presión con la altitud.

A nivel del mar la presión es de aproximadamente 1 atm = 760 mm de Hg = 1013 mb.

- Hasta los 80 km de altitud la composición es más o menos invariable, por lo que recibe el nombre de homosfera. El resto, de composición más variable (heterosfera), queda separado de la anterior por una zona de transición denominada homopausa.

- Según la dinámica, composición y características de cada nivel se divide en las siguientes capas (el espesor varía con la latitud e, incluso, según la hora del día): troposfera, estratosfera, mesosfera e ionosfera (observa el gráfico).



## EN LA TROPOSFERA LA TEMPERATURA DESCIENDE CON LA ALTITUD

- Su límite superior es la tropopausa, situada a 9 km sobre los polos y a 18 km sobre el ecuador.
- Hay importantes flujos convectivos verticales y horizontales (viento) producidos por las diferencias de presión y temperatura entre unas regiones y otras.
- Por estar en contacto con la hidrosfera y la biosfera presenta cantidades importantes de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> (son además los gases más densos y por eso permanecen en las zonas más bajas).
- En los primeros 500 m se concentra la mayor parte del polvo en suspensión (capa sucia).
- La temperatura desciende con la altitud a razón de 0,65°C/100 m (Gradiente Térmico Vertical GTV) alcanzándose en el límite superior una temperatura de unos -70°C.
- En la troposfera tienen lugar la mayor parte de los fenómenos meteorológicos, destacando la formación de nubes y las precipitaciones.

## LA CAPA DE OZONO DE LA ESTRATOSFERA NOS PROTEGE DE LAS RADIACIONES SOLARES DE ALTA ENERGÍA

- En la tropopausa el gradiente térmico se invierte y la temperatura empieza a aumentar hasta alcanzar los 15°C entre los 50 y los 60 km. A esa altitud se ha definido la segunda zona de separación denominada estratopausa.
- En esta capa no hay prácticamente circulación vertical, aunque los flujos horizontales pueden alcanzar los 200 km/h (característica que da nombre a esta capa). Estos vientos horizontales facilitan el que cualquier sustancia que llega a la estratosfera se difunda por todo el globo con rapidez, que es lo que sucede con los CFC que destruyen el ozono.
- El incremento de temperatura parece estar relacionado con la absorción por parte del O<sub>3</sub> de parte de la radiación solar.
- El O<sub>3</sub> procede de la fotodisociación del O<sub>2</sub> y ocupa la mitad superior de la estratosfera (ozonósfera) y actúa como pantalla protectora frente a las radiaciones solares de alta energía, letales para los seres vivos.

## POR ENCIMA DE LA MESOPAUSA LA DENSIDAD DE LOS GASES ES BAJÍSIMA

- La mesosfera alcanza hasta los 80 km de altura, donde se sitúa la mesopausa. La densidad es muy baja aunque la composición se mantiene por lo que se considera todavía parte de la homósfera. La temperatura desciende hasta -90°C en la mesopausa.
- La termosfera o ionosfera constituye la heterósfera. Presenta una proporción menor de gases pesados (CO<sub>2</sub>, Ar) y una mayor cantidad de H y He. Muchos autores no la consideran parte de la atmósfera puesto que su densidad es bajísima.  
La mayor parte de las moléculas se encuentran ionizadas por la acción de las radiaciones solares de alta energía (rayos X y rayos  $\gamma$ ). Estos gases ionizados absorben la radiación ultravioleta por lo que la temperatura alcanza valores superiores a los 1000°C (estas temperaturas no pueden ser registradas con los termómetros habituales por la bajísima densidad del medio en que se producen).  
En la ionosfera se producen unos fenómenos luminosos denominados auroras (boreales y australes), producidas por partículas subatómicas procedentes del sol (viento solar) canalizadas por las líneas de fuerza del campo magnético terrestre.
- La exosfera abarca desde la termopausa (400-500 Km) hasta donde la densidad es la misma que la del espacio interestelar.

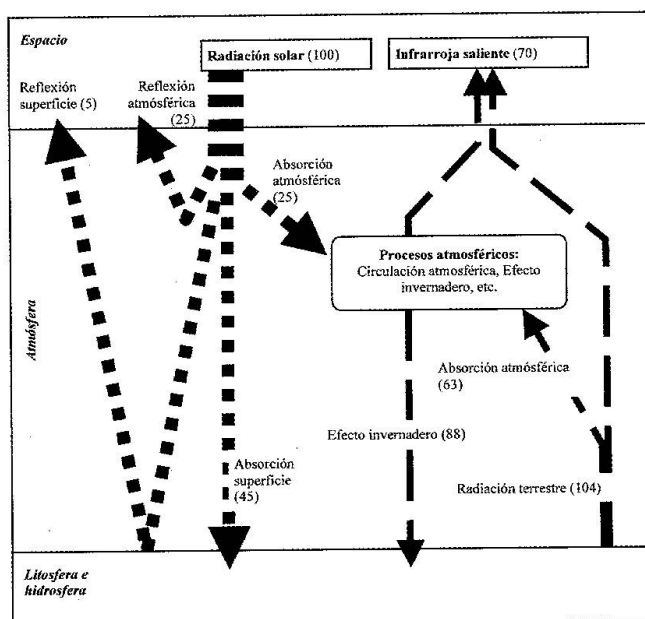
## 3.3 FUNCIONES DE LA ATMÓSFERA

### LA ATMÓSFERA NOS PROTEGE DE LAS RADIACIONES SOLARES MÁS ENERGÉTICAS

- Gran parte de la radiación solar que alcanza las capas altas de la atmósfera no llega a la superficie terrestre. En la ionosfera se absorben las radiaciones de onda corta y alta energía, como los rayos  $\gamma$ , los rayos X y parte de los ultravioleta. Además, en la ozonósfera se absorben el resto de las radiaciones ultravioleta.
- De esta manera, las radiaciones de menos de 300nm, las más energéticas y, por lo tanto, las más perjudiciales para los seres vivos, no alcanzan la troposfera. Por lo tanto podemos decir que la atmósfera actúa como un filtro protector de las radiaciones peligrosas para los seres vivos.

## LA ATMÓSFERA SE CALIENTA CON LA RADIACIÓN INFRARROJA DESPRENDIDA POR LA TIERRA

- Como hemos visto, las distintas capas de la atmósfera absorben selectivamente las longitudes de onda de la radiación solar. La atmósfera es prácticamente transparente a la luz visible, en cambio las radiaciones infrarrojas y de menor energía son absorbidas por el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{O}$ .
- De la radiación visible parte es reflejada por las nubes o la superficie terrestre (se llama albedo al % de energía reflejada por un cuerpo; para la Tierra es de un 30-35%) y parte es absorbida por el suelo y provoca su calentamiento. La radiación de calor (infrarroja) es absorbida por la atmósfera y provoca su calentamiento. En presencia de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  la absorción es más eficaz, por lo que se produce el llamado efecto invernadero.
- El efecto invernadero es fundamental para mantener caldeada la superficie terrestre, sin él la Tierra sería un planeta helado (la temperatura media de la superficie terrestre sería de  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ , en lugar de los  $15\text{ }^\circ\text{C}$  actuales). Gracias a este efecto invernadero natural, podemos decir que la atmósfera actúa como regulador del clima en la Tierra. Sin embargo, el incremento del efecto invernadero debido a la actividad humana está generando un cambio climático global de consecuencias impredecibles.
- La radiación infrarroja que alcanza las nubes es reflejada en parte hacia abajo (contrarradiación) e incrementa el efecto invernadero. Esto explica las heladas con cielos despejados.



ESQUEMA DEL BALANCE GLOBAL DE RADIACIÓN

## 3.4 DINÁMICA DE LA ATMÓSFERA

### EL AIRE FLUYE DESDE LAS ZONAS DE ALTAS PRESIONES HACIA LAS DE BAJAS

- Ya hemos visto que la presión atmosférica disminuye rápidamente con la altitud, pero éste no es el único factor que influye en sus variaciones. Las diferencias de calentamiento del aire entre unas zonas y otras provoca un movimiento convectivo del aire que determina la aparición de zonas de altas presiones (en aquellos lugares en los que el aire relativamente frío y, por tanto, más denso tiende a descender), y zonas de bajas presiones (en donde el aire cálido y menos denso tiende a ascender).
- Las zonas de altas presiones se conocen como anticiclones. En los mapas del tiempo aparecen como un conjunto de isobaras (líneas que unen puntos de igual presión atmosférica; estas isobaras no representan la presión en superficie, sino la presión equivalente a nivel del mar) en las que la presión desciende hacia la periferia.
- Las borrascas o ciclones son zonas de bajas presiones y aparecen como isobaras concéntricas en las que la presión aumenta hacia fuera.
- Las diferencias de presión provocan un movimiento horizontal del aire (viento) desde las zonas de altas presiones hacia las de bajas. Cuanto mayor es el gradiente de presión (en los mapas del tiempo se refleja por la mayor proximidad entre las isobaras), más intenso será el viento.
- En el hemisferio norte el aire gira en sentido horario en los anticiclones y antihorario en las borrascas. En el hemisferio sur la situación es la inversa.

## LA CIRCULACIÓN DE LAS MASAS DE AIRE SE PRODUCE A NIVEL GLOBAL

- La energía solar que recibe la Tierra no se distribuye de una manera uniforme. Las zonas intertropicales, por situarse perpendicularmente a la radiación solar reciben mucha más energía por unidad de superficie que las zonas polares.
- La radiación solar calienta la superficie terrestre y se transforma en radiación infrarroja que calienta la atmósfera. Al ser el aire un fluido experimenta una circulación convectiva que es el origen de los vientos.
- Existen tres células convectivas en cada hemisferio. En el ecuador el aire caliente (menos denso) asciende y se ve obligado a avanzar hacia el N y hacia el S por las capas altas de la atmósfera. Entre los 20° y los 30° el aire, ya enfriado se desploma hacia la superficie y circula por ella hacia el ecuador y hacia los polos.
- En los polos el aire frío desciende y circula por la superficie (frente polar) hacia el ecuador hasta que choca con el aire cálido procedente de las zonas tropicales. En esta zona, que corresponde a las regiones templadas, existe un cinturón de bajas presiones como consecuencia del ascenso del aire caliente procedente de los trópicos sobre el aire frío del frente polar.
- En la circulación general influye también la fuerza de Coriolis y la distribución geográfica de continentes, océanos y relieves importantes.
- La fuerza de Coriolis se debe a la rotación de la Tierra y hace desviarse cualquier objeto, especialmente los fluidos, que se desplacen en dirección norte-sur. Debido a esta fuerza desviadora los vientos de las células convectivas no se desplazan en dirección norte-sur, sino que lo hacen de forma oblicua.
- De esta manera en el hemisferio norte nos encontramos los siguientes vientos dominantes: Alisios del NE, Vientos occidentales del SO y levantes polares. En altura la circulación se produce en sentido contrario (figura 7.16, pág. 201)
- En la tropopausa y entre las células convectivas circulan fuertes vientos (corrientes de chorro o *jet stream*) dirigidas de O a E perpendicularmente a los meridianos.

## LA DISTRIBUCIÓN DE LAS MASAS DE TIERRA Y DE AGUA AFECTA A LA CIRCULACIÓN GENERAL

- El agua tiene una elevada capacidad calorífica por lo que se calienta, y también se enfría, más lentamente que la tierra. Debido a ello las zonas costeras disfrutan de un clima suave y con bajas oscilaciones, al contrario que las zonas continentales alejadas de los océanos.
- Durante el día el aire circula del mar hacia la costa, haciendo descender la temperatura. Durante la noche ocurre lo contrario. (figura 7.18, pág. 203)
- A escala de todo un continente el fenómeno es similar, produciéndose una circulación estacional del aire. Este es el caso de los monzones que se producen entre el Océano Índico y los continentes asiático y africano. En el monzón de invierno (NE) el aire, enfriado sobre el continente (sobre todo sobre grandes alturas como en el Himalaya), desciende provocando altas presiones y tiempo despejado (estación seca). En el monzón de verano los vientos oceánicos del SO se elevan sobre los continentes, se enfrían adiabáticamente y producen nubes y precipitaciones (estación húmeda). En África este efecto es menos acusado porque no existe una elevación semejante al Himalaya.

## LA CANTIDAD DE VAPOR DE AGUA QUE ADMITE EL AIRE DEPENDE DE SU TEMPERATURA

- La cantidad de vapor de agua que puede contener el aire varía en función de la temperatura, el aire caliente es capaz de contener mayor cantidad que el aire frío. La cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de presión y temperatura se conoce como humedad de saturación. Ésta aumenta con la temperatura.
- La cantidad de vapor de agua por metro cúbico que tiene el aire se denomina humedad absoluta. La humedad relativa es la cantidad de agua en el aire, expresada como un porcentaje de la máxima cantidad que el aire puede contener a una temperatura concreta.
- La humedad relativa del 100% corresponde al punto de rocío. Si existen núcleos de condensación (partículas de polvo, aerosoles), se formarán nubes; en caso contrario, el aire sobresaturado y sobreenfriado no podrá condensarse.

## EXISTEN TRES MECANISMOS BÁSICOS QUE ORIGINAN PRECIPITACIONES

- En un gas la temperatura está en función del número de moléculas por unidad de volumen, con lo que puede ser calentado o enfriado comprimiéndolo o expandiéndolo respectivamente (cambios adiabáticos). Estos cambios determinarían el descenso de la temperatura con la altitud a razón de  $1^{\circ}\text{C}$  cada 100 m (Gradiente Adiabático Seco GAS).
- Debido al enfriamiento en la superficie por evaporación del agua el GTV es de  $0,65^{\circ}\text{C}/100$  m. Esta circunstancia impediría el ascenso vertical del aire, ya que el aire ascendente, al enfriarse adiabáticamente, tendría una temperatura inferior y, por tanto, una densidad superior que las del aire estático circundante.
- En días de fuerte insolación se pueden producir GTVs de  $1,5^{\circ}\text{C}/100$  m. superior al GAS, con lo que el aire asciende, enfriándose adiabáticamente. El vapor de agua contenido en el aire se enfría también adiabáticamente alcanzándose la temperatura de condensación del vapor de agua (punto de rocío) y empezando a formarse nubosidad. Posteriormente el enfriamiento sigue pero según el GAH (G.A.Húmedo) que es menor que el anterior, ya que la condensación del agua libera energía.
- Cuando la densidad haya aumentado y la temperatura disminuido hasta igualar las del aire circundante cesará el ascenso de aire y dejará de producirse nubosidad.
- Si el  $\text{GAS} > \text{GTV}$  habrá una situación de estabilidad atmosférica (no hay ascenso de aire; situación anticiclónica).
- Si el  $\text{GAS} < \text{GTV}$  habrá inestabilidad (el aire puede ascender provocando nubosidad y precipitaciones; situación borrascosa).
- Cuando el  $\text{GTV} < 0$  aparece el fenómeno que se conoce como inversión térmica. Esta situación suele producirse en invierno, con viento en calma, cuando las noches son largas y la atmósfera está muy fría, ya que el Sol no tiene suficiente intensidad para calentar la superficie terrestre lo suficiente como para provocar el ascenso del aire. En zonas contaminadas, estas situaciones dificultan la dispersión de los contaminantes (figura 7.8, pág. 196).
- Las gotitas formadas al condensarse el vapor de agua tienden a caer por su propio peso, pero el aire ascendente vuelve a hacerlas subir. Solo cuando el peso de las gotas formadas es suficientemente grande como para contrarrestar la fuerza del aire ascendente se produce la precipitación.
- El mecanismo de formación de precipitaciones descrito hasta ahora se debe a un ascenso convectivo de una masa de aire cálido y húmedo. Este proceso se da en las zonas intertropicales y en las zonas templadas durante el verano. Existen otros dos mecanismos que pueden hacer ascender una masa de aire húmedo y provocar precipitaciones: el orográfico y el frontal o ciclónico.
- Una masa de aire puede verse obligada a elevarse sobre una cordillera. A medida que se eleva puede enfriarse adiabáticamente y, si este enfriamiento es suficiente, se producirá precipitación. Al otro lado de la cordillera, el aire seco, que además se calentará adiabáticamente al descender, puede provocar la existencia de una faja de clima seco que se conoce como sombra de lluvia (efecto Föhn).
- Las precipitaciones ciclónicas están relacionados con la colisión de una masa de aire frío con otra de aire cálido. Este mecanismo se explicará más adelante.
- La condensación también puede producirse en la capa de aire en contacto con la tierra si el enfriamiento nocturno es muy acusado, originándose así el rocío o la escarcha o incluso la niebla si este enfriamiento afecta a un cierto espesor de la atmósfera.

## 3.5 EL CLIMA

### HAY NUMEROSOS FACTORES QUE AFECTAN AL CLIMA DE UNA REGIÓN

- La latitud determina la cantidad de radiación solar incidente, los vientos dominantes y la aparición de cinturones de altas y bajas presiones como consecuencia de la circulación general.
- La altitud puesto que la temperatura disminuye con la altitud.

- La continentalidad (proximidad o lejanía del mar) determina una mayor o menor pluviosidad, por la llegada de aire húmedo procedente del mar, y que existan oscilaciones térmicas más o menos amplias.
- La orientación relacionada con la dirección de los vientos dominantes o con la situación de relieves importantes (efecto Foehn).
- También corrientes marinas tienen una gran influencia en el clima de las zonas costeras que bañan. Por ejemplo, la corriente del Golfo que es cálida, hace más suave y más húmedo el clima de toda la Europa atlántica. Las corrientes frías provocan un clima más frío y brumoso, aunque no siempre más lluvioso; por ejemplo, cerca de los trópicos facilitan la aparición de zonas desérticas costeras.

### **El Niño**

- A lo largo de la costa pacífica sudamericana las aguas frías y profundas afloran a la superficie arrastrando nutrientes del fondo y permitiendo el desarrollo masivo del fitoplancton y de los animales que se alimentan de él. Numerosas aves marinas viven a expensas de estos peces y suministran cantidades importantes de guano.
- El fenómeno conocido con el nombre de El Niño, que se repite cada 2 a 7 años, consiste en un recalentamiento de las aguas superficiales a lo largo de las costas de Perú que impide el afloramiento de las aguas profundas. Se combina con un cambio periódico de la presión atmosférica llamado Southern Oscillation que aparece en el sudeste del pacífico y el norte de Australia (la asociación de ambos fenómenos se conoce como ENSO).
- En condiciones normales las corrientes atmosféricas, desplazan ligeramente el volumen de agua del océano Pacífico hacia la costa oeste. En las condiciones del Niño las corrientes atmosféricas quedan alteradas, disminuyendo de intensidad en su dirección habitual (este-oeste) o incluso invirtiéndose. Esta disminución o incluso inversión de la corriente superficial causa una variación del nivel del. Paralelamente se da un incremento de la temperatura superficial del océano y un descenso de la termoclina (línea que separa las aguas frías ricas en nutrientes, de las cálidas, más pobres) que impide el afloramiento de las aguas profundas y conlleva importantes consecuencias sobre la vida marina.
- La anomalía térmica de la superficie oceánica altera el clima habitual de las regiones afectadas (costa de Sur América, especialmente Perú, y archipiélagos del Pacífico como las Galápagos) en forma de fuertes inundaciones y sequías. Sin embargo sus efectos pueden llegar a extenderse a dos tercios del globo.

El episodio de 1982-83 fue particularmente intenso y marcado por inundaciones y tornados en América del Sur y en el Oeste de los Estados Unidos. Perú y Ecuador recibieron este año las mayores lluvias de su historia con ciertos ríos que alcanzaron un caudal de mil veces el normal. Lluvias y tormentas anormales castigaron Francia y España. La sequía en África, la India y Australia desencadenó fuegos en los bosques y tormentas de polvo.

- La vegetación contribuye a aumentar de forma muy significativa los niveles de evapotranspiración y se ha comprobado que cuando en algunas zonas de selva tropical se ha producido la tala de grandes extensiones de árboles, al subir menos vapor de agua del suelo a la atmósfera, se han producido notables alteraciones climáticas.
- El clima tiene un carácter estacional como consecuencia de la variación de la tasa de radiación solar incidente. Los cinturones de altas y bajas presiones se desplazan hacia el norte en verano (del hemisferio norte) y hacia el sur en invierno.

### **LOS DIAGRAMAS CLIMÁTICOS INDICAN LAS RELACIONES DE TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES MEDIAS EN UN DETERMINADO LUGAR A LO LARGO DEL AÑO**

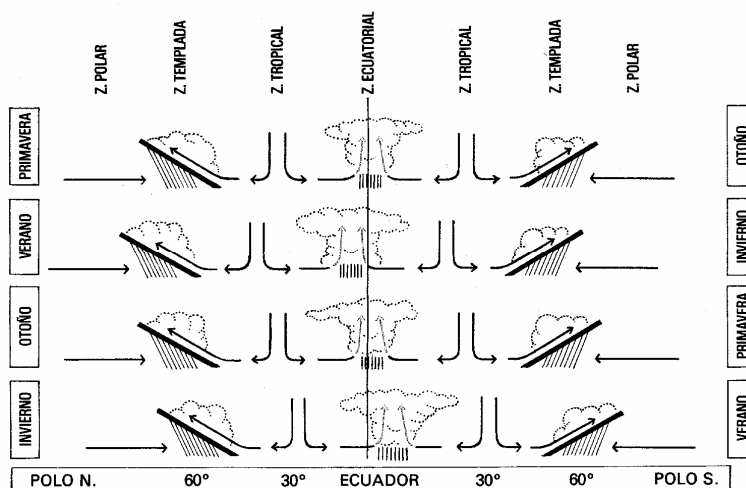
- La temperatura y la pluviosidad son los principales factores que condicionan el clima. En los climogramas, climatogramas, diagramas climáticos o diagramas ombrotérmicos se reflejan las variaciones de estos dos parámetros durante el año.
- Para que sean representativos deben estar confeccionados con las observaciones de muchos años (de 20 a 30).
- Un diagrama climático nos muestra la existencia, la duración y la intensidad de una estación relativamente húmeda o relativamente árida, así como la duración y la intensidad de un invierno frío y la posibilidad de aparición de heladas tardías o precoces.

- El diagrama climático se construye sobre ejes de coordenadas. En el eje vertical izquierdo se marcan las temperaturas en grados centígrados y en el eje vertical derecho las precipitaciones en milímetros, a doble escala que las temperaturas (5°C-10 mm, 10°C-20 mm...). En el eje horizontal se colocan los meses del año. A cada mes corresponden datos de temperatura y precipitación.

Si la curva de temperaturas queda por encima de la de precipitaciones, tendremos un periodo de sequía. Si, por el contrario, es la curva de precipitaciones la que queda por encima de la de temperaturas, tendremos un periodo de humedad. Frecuentemente se representan con una trama diferente los periodos húmedos en los que las precipitaciones superan los 100 mm.

### EXISTEN CINTURONES DE ALTAS Y BAJAS PRESIONES QUE RODEAN EL GLOBO

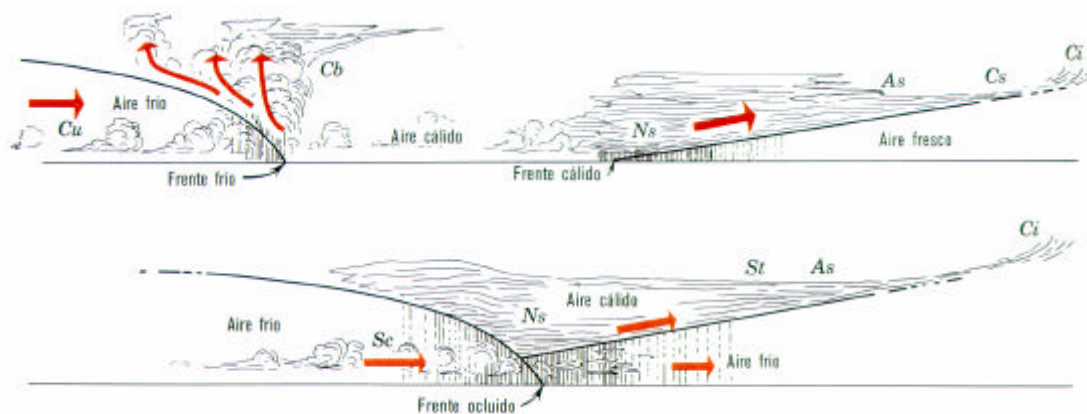
- Se llama clima al conjunto de condiciones atmosféricas que caracteriza a una región, mientras que el tiempo atmosférico es el conjunto de circunstancias climatológicas (temperatura, humedad, viento, ...) que se dan en un momento y lugar determinados.
- La radiación solar no se distribuye uniformemente por toda la Tierra. Esta circunstancia, unida a la circulación general que hemos estudiado anteriormente condiciona la aparición de una serie de zonas climáticas en forma de bandas a ambos lados del ecuador.
- Entre el ecuador y los 30° de latitud N y S existen sendas células convectivas constituidas en superficie por los vientos alisios (NE y SE) que confluyen en la zona de convergencia intertropical (ZCIT).
- En estas zonas el aire cálido y húmedo tiende a ascender de forma casi permanente, se enfría adiabáticamente y produce abundante nubosidad y precipitaciones (sobre todo al final del día).
- La ZCIT sufre desplazamientos estacionales al N y al S, también condicionados por los monzones locales.



- El aire que circula por las capas altas hacia el N y hacia el S se enfría y entre los 20° y los 30° desciende provocando una zona de altas presiones y precipitaciones escasas. En las áreas continentales dicha situación condiciona la aparición de extensas zonas desérticas.
- En el hemisferio norte el aire descendente de las zonas tropicales fluye hacia el S (alisios) o hacia el N (vientos occidentales) alcanzando las zonas templadas (latitudes medias). Al chocar con las masas de aire frío procedente de los polos (frente polar) ascienden originándose nubes y precipitaciones, normalmente asociadas a perturbaciones atmosféricas conocidas como borrascas (lugares en los que el aire adquiere un movimiento circular ascendente). El origen de estas perturbaciones parece estar relacionado con las ondulaciones que aparecen en el frente polar debidas a la dinámica de la corriente de chorro polar que circula al nivel de la tropopausa entre las células convectivas. Las borrascas se desplazan de O a E provocando la variabilidad, que se conoce como tiempo atmosférico, que caracteriza a las zonas templadas.

## Frentes

- Cuando una superficie frontal se desplaza de tal manera que es el aire frío el que desplaza al aire caliente en superficie, se dice que estamos en presencia de un frente frío. Como la masa de aire frío es más densa, "ataca" al aire caliente por debajo, como si fuese una cuña, lo levanta, lo desaloja y lo obliga a trepar cuesta arriba sobre la empinada superficie frontal. El fenómeno es muy violento y en estos ascensos se producen abundantes nubes de desarrollo vertical. En los mapas se los representa con una línea azul continua o una negra orlada de "picos".
- En un frente cálido el aire caliente avanza sobre el frío, pero al ser este último más pesado, se pega al suelo y, a pesar de retirarse la masa fría, no es desalojada totalmente, de manera que el aire cálido asciende suavemente por la superficie frontal que hace de rampa. En general la nubosidad es estratiforme y las precipitaciones menos intensas que en un frente frío. En los mapas se representa con una línea continua roja o una negra orlada por semicírculos.
- Dado que los frentes fríos se desplazan más rápidamente que los frentes calientes, acaban por alcanzarlos. En estas condiciones el sector caliente desaparece progresivamente de la superficie, quedando solamente en altitud. Cuando los frentes se han unido forman un frente ocluido o una oclusión. Las oclusiones pueden ser del tipo frente frío o del tipo frente caliente.



- Estas zonas de convergencia entre los vientos occidentales y el frente polar sufren también desplazamientos estacionales hacia el N y hacia el S.
- En las zonas polares las condiciones son casi siempre anticiclónicas como consecuencia del descenso del aire frío que luego fluye hacia el S.
- En el hemisferio sur la situación es semejante pero invertida.

## EL CLIMA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA ES MUY VARIADO

- España es un país con mucha variedad de climas. El relieve abrupto y variado con cadenas montañosas (Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sierra Nevada, Cordillera Ibérica o Sistema Central), amplias mesetas y estrechas franjas litorales, origina una complicada distribución de nubes, insolación, lluvia y vientos.
- Junto a esto la ubicación de la Península entre las zonas tropicales y las templadas hace que sea una zona en la que se mezclan las influencias de la corriente en chorro polar, con sus frentes y borrascas asociados, y las altas presiones tropicales del anticiclón de las Azores. Esto añade una gran variabilidad en las temperaturas y precipitaciones.
- En verano los anticiclones característicos de las zonas tropicales, como el de las Azores, se desplazan hacia el norte hasta rozar la cordillera Cantábrica y los Pirineos. Por eso esta época del año se caracteriza por una prolongada sequía veraniega y frecuentes olas de calor provocadas por la llegada de masas de aire cálido desde el norte de África. Los frentes y borrascas característicos de la zona templada sólo afectan a la franja cantábrica en donde llueve con frecuencia, aunque en menor cantidad que en otras épocas. En el resto de la península se suelen producir tormentas que se forman cuando el aire de la superficie, recalentado fuertemente por la insolación del día, asciende y se enfría.



- En invierno los frentes y borrascas característicos de la zona templada se desplazan hacia el sur llegando a afectar a toda la península. Lo característico de esta época del año es que el paso de borrascas acompañadas de lluvias y nieves se alterne con otros periodos secos y fríos cuando entra en la península aire frío procedente de las zonas polares del norte de Europa y Siberia.
- Primavera y otoño son dos estaciones de transición en las que se dan indistintamente situaciones típicas de invierno o verano. No son infrecuentes las heladas tardías en abril o mayo, ni los días veraniegos en octubre o noviembre.
- Los climas de España son, dada su heterogeneidad, difíciles de clasificar, pero hay amplio acuerdo en diferenciar los siguientes grupos principales:
  - *Clima oceánico*, también llamado *templado húmedo*. Se da en el borde norte, desde Galicia hasta el Pirineo occidental, que permanece todo el año bajo la influencia de la circulación templada. La pluviosidad es alta, distribuida a lo largo de todo el año. Las diferencias de temperatura a lo largo del año son pequeñas con veranos frescos e inviernos templados. El paisaje y la vegetación son muy parecidos a los de Europa occidental.
  - *Clima mediterráneo* en sentido estricto.- Se localiza en la franja costera del Mediterráneo. Este clima se caracteriza por veranos secos y áridos y pocas lluvias e inviernos suaves. Las precipitaciones tienen lugar sobre todo en primavera y otoño, en situaciones de Gota Fría que ocasionan lluvias torrenciales muy localizadas. Se alternan años de sequía con años lluviosos.
  - *Clima mediterráneo interior* o *continental*.- Se extiende por el centro y este de las mesetas, por el valle del Ebro y por el interior de Andalucía. Con inviernos muy fríos y veranos cálidos, porque no le llega la influencia marina. En verano se forman tormentas
  - *Clima mediterráneo oceánico*, o *continental suavizado*.- En la zona occidental del interior de la Península. Los veranos son secos, como en el caso anterior, pero las lluvias son más abundantes y se producen fundamentalmente en invierno, con la llegada de frentes procedentes del Atlántico (influencia de la zona templada). Las temperaturas invernales son suaves.
- Además de estas regiones climáticas principales, existen otras de menor extensión pero de notable interés:
  - *Clima árido*.- Se sitúa en el sur de la franja mediterránea. Lluve muy poco como resultado de una mayor frecuencia de situaciones anticiclónicas que en el resto del mediterráneo y de su situación geográfica en el extremo oriental de las cordilleras Béticas que frenan la influencia que podría llegar del Atlántico.
  - *Clima oceánico subtropical*.- En una estrecha franja costera desde Granada hasta Huelva. Con precipitaciones relativamente abundantes en invierno y temperaturas cálidas.
  - *Climas subtropicales* de Canarias.- Con temperaturas muy suaves y uniformes a lo largo del año y con precipitaciones similares a las del clima mediterráneo, aunque más escasas, en general. Lo más característico de este clima es la gran influencia de las montañas. Las masas de aire procedentes del mar vienen cargadas de vapor de agua que se condensa al chocar con las laderas de la montaña, formando mares de nubes que humedecen los lugares en los que se sitúan, aunque no llueva.

#### **CIERTOS FENÓMENOS CLIMÁTICOS ORIGINAN RIESGOS PARA LAS PERSONAS**

- Huracán, ciclón o tifón son distintas denominaciones de un mismo fenómeno que afecta a las latitudes bajas a finales del verano (fig. 7.41, pág. 218). Se originan en las proximidades del ecuador, donde la fuerte insolación calienta el agua de mar hasta los 27°C, originando una intensa evaporación y una fuerte convección que forma nubes de tormenta de un enorme desarrollo vertical. En el ojo del huracán el tiempo está en calma, pero las bajas presiones reinantes provocan una elevación del nivel del mar que origina grandes olas que pueden arrasar las costas. Cuando el huracán penetra en tierra se debilita, ya que se les corta el suministro de humedad y se convierten en tormentas tropicales. También se debilitan al alejarse de las aguas cálidas en las que se han originado debido a que se produce el mismo efecto corte de suministro de humedad. Los riesgos provocados por los huracanes se deben a la gran velocidad de los vientos y a las inundaciones debidas al oleaje y a las fuertes lluvias. En la actualidad se hace un seguimiento vía satélite de estos fenómenos y existen sistemas de alerta a la población.
- Los tornados son vórtices o remolinos de reducida extensión horizontal (desde unos pocos a unos cientos de metros; 250 m de promedio) y gran intensidad que se prolongan hacia abajo desde la base de una nube de tormenta (*cumulonimbus*). Cuando ocurren sobre océanos o lagos se denominan trombas. La acción combinada de la fuerza del viento giratorio, que puede sobrepasar los 500 km/h, y la diferencia de presión que ejerce en áreas muy localizadas, sumadas a las intensas lluvias, el granizo y los rayos, convierten a los tornados en los fenómenos climáticos más devastadores.

Los tornados se originan como consecuencia de un remolino que resulta de un calentamiento excesivo de la superficie terrestre. El giro suele comenzar cuando el viento de las capas altas sopla con mayor intensidad y en distinto sentido que el de las capas bajas.

Se producen por lo general en verano, especialmente a las horas de mayor calentamiento, en la zona de transición entre las masas de aire polar y tropical (entre los 20 y 50° de latitud a ambos lados del Ecuador).

- Los monzones son una especie de brisa marina a gran escala en la que la alternancia de movimientos tierra-mar es semestral en lugar de diaria.  
En el monzón de invierno (NE) el aire, enfriado sobre el continente (sobre todo sobre grandes alturas como en el Himalaya), desciende provocando altas presiones y tiempo despejado (estación seca).  
En el monzón de verano los vientos oceánicos del SO se elevan sobre los continentes, se enfrían adiabáticamente y producen nubes y precipitaciones (estación húmeda). En África este efecto es menos acusado porque no existe una elevación semejante al Himalaya.
- La gota fría o DANA (Depresión Aislada de Niveles Altos), como prefieren denominarlo los meteorólogos, es un fenómeno frecuente en la costa mediterránea española a finales de verano o principios de otoño que provoca lluvias torrenciales.  
Su origen está relacionado con la intensificación de las ondulaciones de la corriente en chorro polar que adquiere una componente norte-sur muy marcada y termina por provocar la escisión de una masa de aire frío y denso que circula sobre aire cálido. El hundimiento del aire frío y el ascenso del aire cálido puede provocar la evolución de grandes nubes de desarrollo vertical (*cumulonimbus*) si el aire cálido está cargado de humedad, como puede ocurrir en las zonas costeras al final del verano debido a la alta temperatura del agua del mar.

### 3.6 GRANDES CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA HISTORIA DE LA TIERRA

#### EL CLIMA EN LA TIERRA OSCILA ENTRE PERIODOS GLACIARES E INTERGLACIARES

- El clima de la Tierra ha oscilado a lo largo de su historia entre periodos glaciares e interglaciares. Para los geólogos, una glaciación es cualquier periodo de la historia terrestre en el que hay glaciares a nivel del mar, como ahora ocurre en la Antártica, Groenlandia, Alaska o la Tierra del Fuego. Por lo tanto, podemos considerar que actualmente nos encontramos todavía en la glaciación cenozoica, que comenzó hace unos 25 millones de años, aunque tal vez en una etapa final.  
La glaciación cenozoica se caracteriza por un avance y retroceso cíclico de los hielos y, aunque tradicionalmente se ha venido considerando que el retroceso del hielo en Europa y Norteamérica señala el final de la glaciación, no hay nada en el registro geológico que apunte a que la última fase glacial fuera la última de las de la glaciación cenozoica.
- Existen varias hipótesis no excluyentes que intentan explicar el origen de los ciclos glaciares y que se resumen en la siguiente tabla:

| POSIBLES CAUSAS DE LAS GLACIACIONES |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
|                                     | Cambios del balance global   | Cambios de la distribución de energía  |
| Causas extraterrestres              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la actividad solar</li> <li>• Posición del sistema solar en la galaxia</li> <li>• Impactos de asteroides</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclos de la órbita terrestre: precesión, inclinación y excentricidad.</li> </ul>                                 |
| Causas terrestres                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de composición atmosférica (reducción de la concentración de los gases de efecto invernadero).</li> <li>• Cambios de intensidad del campo magnético.</li> <li>• Actividad volcánica intensa.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la distribución de los continentes</li> <li>• Orogenia y creación de áreas de gran altitud.</li> </ul> |