



ATMÓSFERA

TEMA 3 bis. DINÁMICA GENERAL ATMOSFÉRICA.

3.1. Factores que determinan el movimiento de las masas de aire. 3.2. Circulación general de la atmósfera y zonas climáticas. 3.3. Estabilidad e inestabilidad atmosférica: anticiclones y borrascas. 3.4. Riesgos climáticos: tornados, lluvias torrenciales (“gota fría”), sequías, olas de calor y frío.

Conceptos básicos: clima, presión atmosférica, isobaras, humedad absoluta, humedad relativa, punto de rocío, gradiente vertical de temperatura, inversión térmica, frente frío, frente cálido, frente polar, células convectivas, células de Hadley, fuerza de Coriolis, vientos del oeste, alisios, corriente en chorro, efecto Foëhn, zona de convergencia intertropical, climograma.

3.0. INTRODUCCIÓN

El clima es el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región. Estos valores promedio se obtienen con la recopilación de la información meteorológica durante un periodo de tiempo suficientemente largo. Según se refiera al mundo, a una zona o región, o a una localidad concreta se habla de clima global, zonal, regional o local (microclima), respectivamente.

Tiempo atmosférico y clima no son lo mismo aunque se tiende a confundir estos dos conceptos. La diferencia fundamental radica en la escala de tiempo. Mientras el **tiempo atmosférico** nos habla del estado de las variables atmosféricas, de un determinado lugar, en un momento determinado (hoy, mañana, el año que viene, un día concreto de dentro de 300 años...), el **clima** informa sobre el promedio de esas mismas variables en el mismo lugar, pero en un periodo temporal mucho más largo, usualmente 30 años.

Podemos, por tanto, no estar seguros de si el próximo año lloverá mucho o poco en la zona de Valdepeñas (qué tiempo hará), pero podemos decir que a la vista del clima que tiene esta región, en teoría, deberían caer unos 900 litros de agua. E incluso, podría decirse que a lo largo de los últimos años se está observando una tendencia a que cada vez llueva menos (parece que el clima se está haciendo más seco).

3.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL MOVIMIENTO DE LAS MASAS DE AIRE.

Las variaciones de temperatura, humedad y presión de una masa de aire determinan movimientos verticales en la troposfera que constituyen **corrientes de convección**.

Una masa de aire queda definida por sus características de *temperatura* y *humedad*. El valor de estas variables en un lugar y un momento determinados condiciona su tiempo meteorológico o tiempo atmosférico.

Conviene definir y explicar una serie de características del aire para poder entender más adelante el comportamiento del mismo y de los fenómenos que en él suceden.

HUMEDAD DEL AIRE: la humedad es el contenido en vapor de agua del aire. Se mide mediante el higrómetro, aparato del que existen diferentes modelos: de condensación, de absorción, de evaporación (psicrómetro), etc. [Antiguamente en las casas solía haber un higrómetro muy rudimentario que servía para predecir el tiempo: consistía en un pelo de crin de caballo conectado a una aguja indicadora. El pelo aumenta su longitud al captar humedad del ambiente. La escala sobre la que se desplazaba la aguja marcaba “buen tiempo” cuando



el pelo se encontraba en su longitud mínima por falta de humedad; “tiempo variable” cuando una cierta humedad lo hacía alargarse y “lluvia” cuando la humedad ambiental antes o durante las precipitaciones lo llevaba a su máxima longitud. Algo más moderno fueron unas figuritas, desde una virgen a un animal, que cambiaban de color según el tiempo [El **higroscopio colorimétrico** se basa en el cambio de coloración del cloruro de cobalto, según el nivel de humedad. En aire seco estas sales son de color azul, que pasa al violeta en un aire algo húmedo o al rosa cuando se llega al punto de saturación].

La **humedad absoluta** es la cantidad total de agua en estado de vapor que hay en cada metro cúbico de aire (se expresa en gramos de vapor de agua/m³). Este valor, además de difícil de medir, es poco significativo, pues la capacidad de admisión de vapor de agua en el aire varía con la temperatura: cuanto más caliente está el aire, más vapor admite. Pero siempre existe un límite, pasado el cual no “cabe” más vapor pues el aire está ya saturado. La **humedad relativa** del aire es la relación entre la humedad absoluta y la humedad de saturación a la temperatura a la que se encuentre la masa de aire estudiada. Ese cociente multiplicado por cien nos dará un porcentaje o proporción entre el vapor de agua que contiene la atmósfera y la cantidad máxima que pueda contener (a cada temperatura le corresponde un máximo de vapor de agua). La humedad relativa por lo tanto se expresa en tantos por ciento: $\% HR = (HA/Hs) \cdot 100$, donde Hs es la humedad de saturación. En el caso de que la humedad absoluta coincida con la humedad de saturación, tendremos un 100% de humedad relativa y podremos decir que está lloviendo o tenemos niebla. En un día soleado, la humedad relativa va disminuyendo conforme la temperatura aumenta. Al atardecer y conforme la temperatura del aire disminuye, aumenta la humedad relativa. Esta humedad es la que miden los higrómetros. La humedad relativa del aire puede aumentar si:

a) Añadimos vapor de agua al aire, por ejemplo evaporando agua (del mar, de un gran río, de un lago, etc.). En este caso aumenta la humedad absoluta.

b) Si disminuye la temperatura del aire, con lo que disminuye su capacidad para contener vapor de agua. [La temperatura del aire puede disminuir por descompresión (= expansión): fenómeno importante como ya estudiaremos] en este caso no aumenta la humedad absoluta].

Se llama **punto de rocío** a la temperatura crítica a la cual una masa de aire se satura por enfriamiento. Por debajo de ella la condensación se manifiesta mediante la producción de diminutas gotitas de agua (por ejemplo, el empañado de los cristales). Cuando el punto de rocío se alcanza en las proximidades del suelo, la condensación del vapor de agua en el aire constituye la niebla. Cuando la condensación tiene lugar sobre el propio suelo y sobre los objetos que hay en él (un coche por ejemplo) hablamos de rocío. Esto sucede porque en general durante la noche el suelo se enfría mucho y el vapor de agua del aire en contacto se enfría también y cambia de estado (el mismo efecto puedes comprobarlo observando lo que le sucede al vaso con un refresco que contenga cubitos de hielo).

EL VIENTO: llamamos viento al movimiento del aire respecto a la superficie terrestre. Se trata de un movimiento más o menos horizontal de aire. Las corrientes de aire se mueven siguiendo **gradientes de presión**, desde zonas de altas presiones a zonas de bajas presiones. Idealmente, en una Tierra estática la trayectoria seguiría el camino más corto entre ambas zonas y cortarían ortogonalmente (perpendicularmente) a las **isobaras** o líneas que unen puntos de igual presión atmosférica (esquemas). Sin embargo, el giro de la Tierra desvía la trayectoria, hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur, formando un cierto ángulo con ellas. Esta desviación es debida a la llamada **fuerza de Coriolis** (Se explicará más adelante) [y por eso, las borrascas y los anticiclones que nos muestran los mapas del tiempo siempre tienen forma de remolino]. El aire se desplaza sobre la superficie terrestre transmitiendo parte de su energía y perdiendo velocidad. El efecto del rozamiento es mayor cerca de la superficie, mientras que a altitudes



de más de un kilómetro es prácticamente despreciable. (En el epígrafe 3.3 se explica lo que son las zonas de alta y baja presión).

Podemos hacer una clasificación de los vientos en función de su constancia y también en función de la zona en la que dejan sentir sus efectos:

- a) Vientos constantes: circulan generalmente en la misma dirección y sentido y continuamente. El caso más claro es el de los **vientos Alisios**, que se dirigen permanentemente hacia el ecuador (vientos del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur). [En las islas Canarias son los vientos dominantes].
- b) Vientos periódicos:
 - Estacionales, como los **Monzones** del sur de Asia, que en verano proceden del mar y aportan lluvias, mientras que en invierno se dirigen desde el continente hacia el mar y son secos.
 - Diarios: las **brisas** de las zonas costeras; de día circula de mar a tierra un ligero viento fresco y húmedo, y de noche se invierte el sentido.
- c) Vientos locales: son todos los vientos que no tienen un régimen tan estricto como los anteriores; se conocen por sus nombres particulares: cierzo, tramontana, levante, mistral, siroco, etc. En Valdepeñas se habla de viento solano, norte... Unos y otros dependen de circunstancias concretas y suelen ser propios de regiones no muy amplias.

LAS PRECIPITACIONES: consisten en el retorno a la superficie terrestre, en forma líquida o sólida, del vapor de agua que el mar y los continentes suministran constantemente a la atmósfera. Los tipos de precipitación pueden ser:

- De forma líquida: lluvia (por caída) y rocío (por contacto con una superficie fría).
- De forma sólida: nieve (cristalización ordenada lenta), granizo (cristalización desordenada rápida) y escarcha (por contacto con una superficie fría a menos de 0°C. También se habla de escarcha cuando el rocío que se produjo se hieló al descender posteriormente aún más la temperatura, por ejemplo a lo largo de la noche).

Las precipitaciones se clasifican, según su origen, en:

Convectivas. Por calentamiento local (en verano en latitudes medias y todo el año en la zona ecuatorial) el aire se dilata y asciende con toda su humedad, originando un área de baja presión. Si el calentamiento es intenso, el ascenso será rápido y si la humedad es elevada, se forman nubes de evolución diurna que originarán lluvias copiosas (evolución diurna: no es que vengan nubes de otro lado sino que se forman y van creciendo a lo largo del día en una zona), pudiéndose dar fenómenos de producción de electricidad estática (tormentas). Si el aire llega a los 0°C se forma granizo. (Las típicas tormentas de verano en Valdepeñas son de este tipo).

Orográficas. Si una masa de aire que se mueve de una zona de alta presión a otra de baja se encuentra un relieve que la obstaculiza, se verá obligada a ascender para salvarla. Al ganar altura, el aire pierde presión y se expande. Esta expansión produce un enfriamiento por separación de las partículas (y no por intercambio de calor). Cuando la masa de aire alcanza su punto de rocío, se condensa su humedad y se forman pequeñas gotas de agua, que continúan ascendiendo, enfriándose al expandirse más el aire y acumulando más agua líquida. En el momento en que el peso de las gotas es mayor que la fuerza de ascensión del aire, se produce la caída de las mismas, esto es, la lluvia. Cuando en Jaén no llueve y sí lo hace aquí, estamos ante lluvias orográficas. Recuerda que la pluviometría de Jaén es de unos 600 litros/m² ·año y Valdepeñas alcanza más de 900 litros/m² ·año). **La idea de que llueve porque las nubes chocan contra las montañas no es correcta.**



Frontales. Un frente es la superficie de contacto entre dos masas de aire con distintas características de temperatura y humedad relativa. Al producirse el choque entre las dos masas de aire, la más caliente (menos densa) asciende por la superficie del frente, enfriándose por expansión y condensando su humedad. (Las lluvias de otoño y primavera que afectan a nuestra península son de este tipo). [Un frente tiene aproximadamente la forma de un plano inclinado. Más adelante se diferenciarán los tipos de frentes que pueden aparecer]. Contrariamente a lo que pueda suponerse, masas de aire con diferentes condiciones de presión y de temperatura, no se mezclan con facilidad.

ANTICICLONES Y BORRASCAS: hay un epígrafe dedicado a estos dos fenómenos, pero conviene nombrarlos aquí para tener una noción básica de los mismos.

Las áreas de altas presiones se llaman **anticiclones**, y se representan por **A**. En su interior el aire desciende, aplastándose contra el suelo, a cuyo nivel es despedido hacia el exterior. El aire describe un remolino, que en el hemisferio norte tiene el mismo sentido de giro que las agujas del reloj (y en el hemisferio sur el contrario).

Las áreas de bajas presiones son conocidas como **borrascas** o **ciclones**, y se representan por **B**. En su interior la presión disminuye (es menor que en el aire circundante), por lo que los vientos convergen hacia ellas (el aire de los alrededores tiende a ocupar el vacío dejado por la masa de aire que asciende al tener menos presión), entrando con trayectoria espiral o remolino en las capas bajas y ascendiendo en su centro. El sentido en el hemisferio norte es el contrario a las agujas de reloj y en el hemisferio sur el mismo sentido que éstas. (Ver esquemas). Estos centros de altas y bajas presiones relativas (son altas o bajas con respecto al aire de alrededor) se producen por fenómenos de convección y supondrán tiempo estable en el primer caso e inestable con posibilidad de lluvias en el segundo. El aire tiende a desplazarse desde los centros de alta presión a los de baja presión, pero ya hemos visto que no utiliza el camino más corto al ser desviado por el efecto Coriolis. [Observa el mapa del tiempo en televisión cuando ponen las imágenes recogidas por el satélite Meteosat a lo largo de unas horas. Al proyectar las distintas fotos unas a continuación de otras se aprecia el movimiento de las bandas de nubes que se forman en las borrascas].

GRADIENTES VERTICALES DE TEMPERATURA. Llamamos gradiente vertical de temperatura a la diferencia de temperatura entre dos puntos situados a 100 metros de distancia en altura. Distinguimos tres tipos de gradientes verticales:

Gradiente vertical de temperatura, GVT. Representa la variación vertical de temperatura de una masa de aire estática o en reposo. El *valor medio* de este gradiente es de $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, aunque en cada caso resulta muy variable (dependerá de la humedad, de la estación del año, de la altitud, etc.). Debemos tener claro que una masa de aire inmóvil, salvo excepciones, siempre estará más fría arriba que abajo dado que a igualdad de agitación térmica de sus partículas, el hecho de que haya menos de ellas por unidad de volumen (menos presión) implica una menor temperatura. [Todas las cerillas emiten una misma cantidad de calor, sin embargo, 1.000 cerillas encendidas en una habitación elevarán más la temperatura que si sólo encendemos una].

A pesar de todo, podemos encontrarnos con la excepción de que una masa de aire en reposo aumente su temperatura con la altura (hasta un punto determinado), en este caso decimos que el gradiente vertical es negativo y hablamos de **inversión térmica**. Normalmente estas inversiones térmicas no son permanentes sino estacionales o bien se dan en lugares muy concretos en los que hay causas topográficas o de otro tipo que las propician. Las inversiones térmicas suelen alcanzar poca altitud, no más allá de algunos centenares de metros. Veremos la importancia que tienen en el tema de contaminación atmosférica. (Recuerda que la estratosfera presenta una inversión térmica permanente así



como la ionosfera, pero en temas de climatología, las que nos interesan están siempre en la troposfera). [Por supuesto la estratosfera y la ionosfera suponen inversiones térmicas permanentes y de gran magnitud, pero de ahora en adelante nos referiremos a las inversiones térmicas que tienen lugar muy próximas al suelo y por lo tanto dentro de la troposfera.] [Decimos gradiente negativo cuando la temperatura aumenta con la altura sencillamente porque es lo contrario a lo “natural”]. En Valdepeñas, durante el invierno, se forman inversiones térmicas en las zonas próximas a los ríos: por eso allí se suelen helar los olivos y los frutales, no ocurriendo esto en zonas más elevadas.

Gradiente adiabático seco, GAS. El valor medio de este gradiente es de $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ y se denomina seco porque lleva el agua en estado de vapor. Se trata ahora de un gradiente dinámico, lo que significa que nos estamos refiriendo a una masa de aire que se encuentra en movimiento al estar en diferentes condiciones que el aire de alrededor (está en desequilibrio con este último). Ya sabemos que si una masa de aire se halla a más temperatura que el aire circundante será menos densa que éste y en consecuencia ascenderá. De igual modo, si está más fría y por consiguiente es más densa que el aire circundante tenderá a descender. (Como esta masa de aire en desequilibrio no se mezcla con el aire estático de alrededor y no intercambia calor constituye un sistema adiabático, que es lo que significa ese término).

Al analizar una zona concreta en un momento dado, los GVT y el GAS nos marcarán perfectamente cuál es la condición climatológica: estabilidad (anticiclón) o inestabilidad (borrasca). Al estudiar las gráficas de los gradientes directamente podremos saber si hay masas de aire en ascenso o en descenso.

[Cuando hacemos una hoguera, el calor emitido por la materia en combustión calienta el aire situado justo encima: ese aire, más caliente que el de alrededor asciende a gran velocidad: hemos creado una pequeña zona de baja presión. Ponte unas chanclas y abre la puerta del frigorífico: notarás cómo te “cae” en los pies el aire frío que sale del refrigerador. Se trata de una masa de aire en desequilibrio, más fría y densa que el aire de la cocina. Se trata de un pequeño anticiclón.]

Gradiente adiabático húmedo o saturado, GAH. Si una masa de aire se halla ascendiendo según su gradiente adiabático seco, llegará a un punto en el que debido a la expansión que sufren sus partículas al llegar a zonas de menor presión, se alcanza por enfriamiento el punto de rocío y, en consecuencia, el vapor de agua comenzará a condensarse. Como para evaporarse el agua precisó de calor, éste, que se mantenía como **calor latente**, ahora se desprende pasando a calor sensible por lo que conforme el aire asciende y el vapor se condensa, el gradiente de enfriamiento que era de $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ pasa a ser menor, unos $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. (En nuestra gráfica, la recta se hace más vertical). Una vez que todo el vapor ha pasado a agua líquida, el gradiente vuelve a tomar otra vez su valor inicial, ya como GAS: el aire en ascenso se ha secado (ver gráficas). Tanto el valor del GAH como el rango de alturas en el que se mantiene dependerán de la cantidad de vapor de agua inicial. (En los trópicos, la gran cantidad de humedad reinante a nivel del suelo hace que el GAH sea muy bajo, apenas $0,3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, ya que cuanto más vapor haya, mayor calor latente se desprenderá en la condensación y además el gradiente húmedo se mantiene casi hasta la estratosfera).

3.2. CIRCULACIÓN GENERAL DE LA ATMÓSFERA

Es difícil encontrar un sólo día al año en el que el aire a nuestro alrededor esté absolutamente quieto. Y son tantos los factores que influyen en el movimiento del aire que es ciertamente difícil saber lo que sucederá exactamente al cabo de unas horas en un lugar. El movimiento del aire en la troposfera en cada momento y en cada lugar es la resultante de una serie de fuerzas que clasificaremos en mayores y menores, en función de su contribución a la circulación atmosférica general. (Es imprescindible entender los esquemas y saber realizarlos).



Las Fuerzas mayores ponen en marcha la dinámica de la atmósfera y son:

Giro de la Tierra. Vista desde el Norte (estrella Polar), la Tierra gira en sentido antihorario, transmitiendo una cantidad de movimiento a la atmósfera, que se mueve siguiéndola con una cierta inercia. Debido a la esfericidad de la Tierra, la velocidad lineal en un punto de la superficie es mínima en los polos y máxima en el ecuador ($v = \omega \cdot r$, de donde ω es la velocidad angular de la Tierra y r la distancia al eje de giro). Como la atmósfera no es un sólido ni está pegada a la superficie, tiende a fraccionarse en anillos que circulan, cada uno con su masa y su velocidad propias. Pero además, toda masa de aire que se desplace hacia el sur o hacia el norte sufrirá desviaciones debidas a la denominada fuerza de Coriolis.

Fuerza de Coriolis. Una masa de aire que se desplace hacia el sur con velocidad constante no recorrerá un meridiano, sino que experimentará un retraso respecto a la superficie terrestre. La fuerza de Coriolis hace que las masas de aire en movimiento tiendan a desviarse con respecto a la superficie de la Tierra hacia **su** derecha en el hemisferio Norte y hacia **su** izquierda en el hemisferio Sur. Visto desde fuera de la Tierra, si esta masa de aire se desplaza desde el polo norte hacia el sur, se producirá una desviación hacia el oeste, en el hemisferio norte. Si el movimiento es del ecuador al polo norte, la desviación llevará la masa de aire hacia el este. En el hemisferio sur sucederá al contrario. El ejemplo real más característico es el de los vientos alisios que, inicialmente llevarían una dirección N-S en el hemisferio norte, pero que se desvían progresivamente hasta tomar dirección suroeste (por lo tanto se dice que son vientos del nordeste).

Efecto de la insolación diferencial. Debido a la esfericidad de la Tierra, las zonas ecuatoriales reciben mayor cantidad de radiación que las polares. La forma de compensar de forma natural esta diferencia es mediante una circulación convectiva: bajada de aire frío hacia las latitudes ecuatoriales y remontada, en altura, del aire caliente, menos denso, hacia las altas latitudes –los polos– (las masas de aire se moverían siguiendo la dirección de los meridianos). Este esquema, que debería contener sólo una gran célula convectiva en cada hemisferio, debido al giro de la Tierra y a Coriolis, es más complejo y aparecen tres células de convección en cada hemisferio.

Las Fuerzas menores modifican los movimientos provocados por las fuerzas antes descritas complicando en gran medida los modelos matemáticos que se emplean para la predicción del tiempo. Algunas de estas fuerzas menores son:

Distribución de tierras y mares. La diferencia de calor específico entre continentes y océanos condiciona el grado y ritmo de calentamiento de las capas de aire que están por encima. Esta diferencia entre tierras y mares hace que el suelo al recibir una cierta cantidad de energía solar durante un tiempo eleve su temperatura más que una superficie de agua en las mismas condiciones. En verano los continentes se comportan como centros de baja presión, ya que el aire que está sobre ellos es calentado más que el que hay sobre el océano y asciende rápidamente. En invierno ocurre lo contrario: el aire del océano está más caliente que el del continente, ya que el agua, por esta misma propiedad, se enfría más lentamente. [El alto calor específico del agua es responsable de estos hechos].

Influencia del relieve. Los sistemas montañosos orientados transversalmente al flujo de aire actúan como una barrera física, obligándolo a ascender. Al hacerlo aquél se enfría (por descompresión), alcanza el punto de rocío (temperatura a la que el vapor de agua del aire se satura) y condensa su humedad, precipitando sobre la ladera de barlovento. En la vertiente opuesta (sotavento) el aire desciende originando un viento seco y cálido; es el llamado **efecto Foëhn**. [Ver esquema].

LOS GRANDES CONJUNTOS DE CIRCULACIÓN.

A pesar de la variedad de factores que intervienen en la circulación de la atmósfera y de su movimiento aparentemente caótico, ésta posee unas regularidades que permiten distinguir ciertos rasgos generales de circulación.



En el Ecuador se enfrentan los **vientos alisios** de cada hemisferio en la llamada **Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)**. Estos vientos son debidos a las bajas presiones creadas por la emisión de calor desde el suelo, en la zona más insolada todo el año (la zona ecuatorial) que a su vez calienta el aire que por este motivo asciende y a su vez provoca un vacío que será ocupado por aire de otras latitudes (este aire en movimiento son los alisios). El aire húmedo que asciende deja abundantes lluvias a partir del momento en que alcanza la temperatura de su punto de rocío (ocurre **todas** las tardes del año). La zona ecuatorial es, por tanto, una zona de circulación atmosférica ascendente y bajas presiones permanentes (las selvas del Amazonas, las Africanas y las de Indonesia ocupan esta región ecuatorial (ver fig.).

El aire ya seco de las capas altas toma dirección meridiana y se dirige hacia los polos, pero sufre el desvío producido por Coriolis (formando los contraalisios de altura). Ya enfriados en su elevación, y más por su permanencia en los niveles altos, resultan pesados y ejercen una fuerte presión sobre las capas bajas, descendiendo hacia el suelo y formando un cinturón permanente de altas presiones alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios.

Parte del aire descendido retorna de nuevo hacia el Ecuador como vientos alisios; inicialmente su dirección es Norte-Sur (en el hemisferio Norte), pero la fuerza de Coriolis los desvía progresivamente (hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur) hasta que adquieren una dirección Este-Oeste; de esta manera se cierra una **célula de circulación o célula de Hadley**.

Las masas de aire que salen del cinturón de altas presiones hacia latitudes superiores sufren una desviación, hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur, originando los vientos de poniente, también llamados **vientos del oeste o westerlies**. (En conjunto su intensidad es mayor que la de los alisios, siendo frecuentes los vientos huracanados, pero no son tan constantes, pudiendo faltar o cambiar de dirección).

Sobre los Polos el aire es muy frío y, por ello, muy denso y pesado: son zonas de altas presiones permanentes. En el hemisferio Norte, el aire despedido por estos anticiclones viaja hacia el sur como viento polar, y en su trayecto es desviado hacia su derecha a la vez que se calienta por contacto con tierras y mares menos fríos. Hacia los 60° de latitud confluye en la zona de bajas presiones subpolares con los vientos de poniente procedentes del cinturón de altas presiones (de la latitud 30°), originando el **frente polar**. (Se tratará más adelante).

En las latitudes en las que se ponen en contacto masas de aire templadas y frías se desarrolla en el límite superior de la troposfera una corriente que rodea latitudinalmente la Tierra en dirección oeste a este (siguiendo la dirección de giro del planeta). Tienen forma tubular aplanada, de 100 a 200 Km. de anchura y tan sólo 2 ó 3 Km. de espesor, y se caracterizan por viajar a gran velocidad, llegando a alcanzar los 500 Km/h, por lo que se las denominan **corrientes de chorro o jet stream**. Aunque aparecen sobre las zonas de bajas y altas presiones permanentes: Ecuador, 30° y 60°, las de mayor interés son las de las latitudes altas: bajas presiones subpolares a los **60° de latitud**. Nos interesan particularmente porque pueden llegar a afectar a nuestra península (nos encontramos en una latitud 40° N: frecuentemente, la trayectoria de este viento sufre perturbaciones estacionales afectadas por las fuerzas de Coriolis a modo de ondulaciones llamadas de **ondas de Rossby**. Éstas pueden llegar a cerrarse constituyendo núcleos de alta o baja presión en las latitudes medias (son una complicación más del ciclo general de la atmósfera). Son las responsables de ciertas borrascas que pueden producir fenómenos tales como tormentas de nieve (olas de frío) y, en nuestro país, la famosa "gota fría" (se tratará más adelante).

El clima de una región está condicionado por factores físicos como la **latitud, altitud, orientación y grado de continentalidad**. Estos factores influyen en los llamados elementos climáticos que son la temperatura y humedad del aire, temperatura y humedad del suelo, precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) e insolación. El promedio de estos valores caracteriza



las diferentes zonas climáticas.

Principales factores que determinan el clima:

La **esfericidad** de la Tierra es causa en sí de una distribución zonal del clima en función de la latitud. La energía que llega es decreciente del ecuador a los polos, ya que la inclinación de los rayos solares sobre la superficie es cada vez mayor.

La **inclinación** del eje de giro respecto a la perpendicular al plano de la eclíptica (23° $27'$) es la causa de que al efecto anterior se suma, para cada latitud, una estacionalidad, por la cual un punto de la superficie no recibe la misma insolación a lo largo de todo el año. Ésta es mayor durante el verano, en que los días son más largos que las noches, y menor en invierno, que ocurre lo contrario.

Las **corrientes superficiales marinas** pueden tener un significativo impacto en el clima. Por ejemplo, las costas del norte de Europa están bañadas por cálidas aguas que tienen su origen en el Golfo de México. Los vientos reinantes del oeste transfieren parte de este calor tierra adentro, siendo en parte responsables de las condiciones relativamente cálidas de la zona norte de Europa. Las costas occidentales son más húmedas que sus equivalentes orientales.

La lejanía a fuentes de humedad como son los océanos da lugar a un fenómeno conocido como **continentalización**, caracterizado por la escasez de precipitaciones y por amplias oscilaciones térmicas, ya sean diarias o estacionales.

La circulación atmosférica determina la distribución de lluvias que, junto con la intensidad y la duración de la insolación, conforman el clima de una región.

EL CLIMA EN NUESTRAS LATITUDES

Frente polar y corriente en chorro

El **frente polar** es la superficie de contacto entre el aire polar muy frío procedente del polo y el aire caliente que llega desde la latitud subtropical. Hay dos, uno en cada hemisferio pero nos referiremos de aquí en adelante al frente norte. Este frente rodea el globo terrestre y aunque su origen se sitúa en la latitud 60° , sufre desviaciones estacionales que lo llevan a penetrar en las latitudes medias (recordemos que dado el escaso poder de transmisión de calor del aire, las dos masas de diferente temperatura en contacto se comportan como lo hace una capa de aceite en una de agua: no se mezclan).

La superficie de contacto entre ambas masas de aire es en principio un *plano inclinado* hacia el norte, ya que este aire, más frío y denso se introduce bajo el cálido como una cuña. Pero los desequilibrios en las fuerzas de empuje a uno y otro lado así como el efecto Coriolis provocan una serie de ondulaciones en el frente que se van desplazando hacia el este a la vez que se retuercen más y más. Estas ondulaciones son el inicio de borrascas ondulatorias constituidas por una masa de aire frío anterior, otra de aire frío posterior y otra de aire cálido intermedio, separadas por un frente frío y otro cálido (ver esquema).

Como borrascas que son, giran en sentido antihorario; y se trata de borrascas puesto que estamos en una zona de baja presión permanente. En su giro, la masa de aire cálido queda atrapada por una masa de aire frío anterior y por otra también fría posterior. Como puede suponerse, este movimiento de aire obliga a la masa cálida a elevarse y con ello a enfriarse y en consecuencia se producen lluvias. Las borrascas evolucionan y al llegar a la situación de *oclusión*, se van debilitando, y cuando el aire caliente que está por encima del frente ocluido se enfría y deja las últimas lluvias, terminan por desaparecer, restaurándose el frente polar (se "rectifican" las ondas).

En conjunto, se trata de familias de borrascas que van asociadas en altura con la corriente en chorro, y que se desplazan de oeste a este a grandes distancias, dando lugar a precipitaciones e inestabilidad. Entre cada dos borrascas con sus frentes, aparece un



anticiclón o cuña anticiclónica. Es habitual que en Europa durante el otoño y la primavera haya periodos de inestabilidad en los que llegan series de borrascas dejando lluvias. [Sólo hay que entender el concepto de frente polar y cómo se producen las borrascas que llegan a nuestra latitud].

La corriente en chorro (o jet stream) es una corriente impetuosa situada a unos 11.000m de altitud que se origina en el límite superior de la troposfera por contraste térmico entre dos masas de aire. Aunque existen varias en cada hemisferio, la más importante para nosotros es el **chorro polar**, debida al contraste que se produce entre el aire frío polar y el tropical cálido y que se localiza sobre el frente polar. Se presenta de un modo casi constante, en las latitudes medias de ambos continentes y sigue una trayectoria O-E. Tiene forma tubular aplanada, de 100 a 200 km. de anchura y unos 2 a 3 km. de espesor, y alcanza velocidades de más de 500 km./h. Al igual que el frente polar, la corriente en chorro sufre perturbaciones describiendo grandes "meandros" denominados **ondas de Rossby** (estas ondas se refieren tanto al frente polar como a la corriente en chorro) que originan núcleos de baja presión al norte y núcleos de alta presión al sur, que son los gérmenes de borrascas y anticiclones a gran altura, respectivamente. Al extinguirse alguna de estas borrascas por oclusión, queda un vacío (aire muy frío a baja presión) a mucha altura que puede llegar a latitudes más bajas y cálidas; se forma así, la conocida gota fría.

3.3. ESTABILIDAD E INESTABILIDAD ATMOSFÉRICA:

ANTICICLONES Y BORRASCAS.

Condiciones de inestabilidad: se denominan así a las condiciones atmosféricas que se dan cuando existen movimientos ascendentes de convección de una masa de aire cuya temperatura varía según su gradiente térmico GAS ($1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) en medio de una masa estática de aire con su gradiente GVT. Para que se dé un ascenso del aire en desequilibrio se tienen que cumplir que **GVT > GAS** (en una gráfica, la recta del GVT está por debajo de la que representa el GAS: si a una misma altitud el aire en desequilibrio está a más temperatura que el aire estático, será menos denso y tenderá a subir). Como es un aire que sube, se expande y enfría en altura y según la cantidad de humedad que lleve, se pueden producir condensación y precipitaciones. Por esto, se dice que provoca inestabilidad en el ambiente. Otro de los fenómenos que acompañan a estos movimientos ascendentes es que el aire al subir crea una depresión, por eso se habla de **baja presión o borrasca**. En la zona próxima a la superficie, el vacío dejado por el aire que se eleva es ocupado por otro de los alrededores que a nivel del suelo será un viento que converge como un remolino (efecto de Coriolis) que gira en sentido contrario a las agujas del reloj (en el hemisferio norte). Las condiciones de inestabilidad atmosférica son propicias para la eliminación de contaminación al elevar y dispersar los contaminantes.

Condiciones de estabilidad o subsidencia: Esta situación es opuesta a la anteriormente tratada. En este caso, la masa de aire en desequilibrio se halla, para una altitud dada, más fría que el aire estático, lo que significa que es un aire más denso y que por lo tanto tiende a bajar, aplastándose sobre la superficie y generando una **alta presión o anticiclón** en la zona. El aire, que sale despedido desde la zona de alta presión, lo hace radialmente pero desviándose (efecto de Coriolis) siguiendo el sentido de las agujas del reloj. Como el aire baja, se comprime y en consecuencia se calienta (efecto opuesto al del aire en ascenso), el vapor de agua que lleve se mantendrá aún más estable por lo que no se condensará y lloverá. Por eso, la subsidencia es una condición de estabilidad o buen tiempo.

Podemos encontrar dos situaciones de estabilidad:

GVT < GAS Si ambos gradientes son positivos (la temperatura disminuye con la altitud) pero el gradiente vertical es menor que el gradiente adiabático seco (menor significa que el enfriamiento en altura es más lento) tendremos la situación de subsidencia o estabilidad que se ha explicado.



GVT < 0 A veces se da la circunstancia de que el gradiente vertical de temperatura es negativo, esto es, que el aire estático aumenta de temperatura con la altura. Esto sucede hasta una cierta altitud y suele ser debido a un suelo muy frío que enfría el aire en contacto con él. En estos casos, las gráficas de GVT y GAS se cruzan y hay que entender que se ha producido una **inversión térmica**. El punto de cruce nos indica la altura bajo la cual existe la inversión y en la que el aire tiende a subir, pero sólo hasta allí. Por encima de la inversión el aire tiende a bajar, de modo que la inversión térmica se muestra como una superficie límite que no deja pasar el aire.

Tanto en el primer caso, porque el aire denso baja, y en el segundo, porque el aire no puede subir más que una pequeña altura, quedando prácticamente estancado, la subsidencia es una situación atmosférica que dificulta la dispersión de contaminantes y los concentra en torno a los centros de producción.

Estos conceptos, que parecen complicados se aclaran a la vista de las gráficas. Lo importante es entender por qué hay borrascas y suponen inestabilidad, por qué hay anticiclones y no llueve y por qué tienen lugar las inversiones térmicas para más adelante estudiar fenómenos de contaminación atmosférica ligados a ellas.

3.4. RIESGOS CLIMÁTICOS.

En este apartado incluimos aquellos fenómenos de la dinámica atmosférica, que por sus características causan efectos catastróficos en mayor o menor grado. No se tratan las inundaciones, a pesar de que son originadas por lluvias, dejando sus efectos para el tema de la hidrosfera.

GOTA FRÍA

La llamada **gota fría** es una borrasca muy especial de aire frío situada a gran altura, no reconocible en los mapas meteorológicos de superficie, en donde existe una situación anticiclónica (es decir, de buen tiempo). Se origina por ruptura de las ondulaciones de la corriente en chorro (situada en la latitud 60°), dejando así aislada una pequeña masa de aire frío que puede penetrar hasta latitudes medias (30-45°) [quedando (proporcionalmente una «gota fría») en medio de un «océano» de aire caliente].

Esta área de baja presión en altura, al poco tiempo de su formación, producirá una succión del aire de debajo, lo cual creará una depresión cerca de la superficie (si existe un vacío en lo alto, dicha depresión absorberá aire que esté a más presión, en este caso del suelo). Entre ambas borrascas se establece una enorme chimenea, casi completamente vertical, por donde asciende el aire cálido desde las proximidades de la superficie terrestre y desciende a su alrededor el aire frío. Si la masa de aire ascendente está cargada de humedad y es verano, causa grandes aguaceros y si es invierno, copiosas nevadas. El primer caso es común en las costas levantinas de nuestro país, cuando al final del verano y comienzos del otoño el mar está muy recalentado y cede calor y humedad al aire. El resultado suele ser desastroso para las comunidades asentadas en esa amplia zona.

HURACANES, TIFONES Y CICLONES

Son los distintos nombres de un mismo fenómeno atmosférico, el denominado **ciclón tropical**, que ocasiona fuertes vientos y lluvias torrenciales a finales del verano y principios del otoño. En las zonas del Caribe se conocen con el nombre de *huracanes*, con el de *tifones* en Japón y China; *ciclones* en Madagascar, Arabia y golfo de Bengala; [*baguíos* en Filipinas y en Australia *willy-willy*], y son los responsables de grandes catástrofes por los efectos devastadores del viento y el agua (Recuerda el huracán que asoló la zona de Nueva Orleans en USA).



Estas perturbaciones atmosféricas están producidas por ciclones formados en las proximidades de la zona ZCIT cuando hay un desequilibrio de fuerzas entre los vientos alisios de ambos hemisferios (semejante a las borrascas del frente polar ya estudiadas). Tienen su origen en los océanos cálidos, situados entre las latitudes 5-20° N y S, es decir, en las proximidades del ecuador, pero no en él, encima de cuyas aguas se extiende una capa de aire húmedo. En su formación, según parece, participan dos borrascas muy próximas: el aire caliente y húmedo de cada una asciende en forma de torbellino, y a medida que se enfría da origen a nubes de tipo cumulonimbos que producen lluvias torrenciales, y desciende por el espacio entre ambas borrascas (ojo del huracán), lo que produce su calentamiento y la disipación de las nubes; por eso en esta zona hace buen tiempo. La enorme energía que poseen se debe al calor latente almacenado en el vapor de agua, que es liberado al producirse la condensación.

Aunque los huracanes nacen próximos al ecuador, no se producen allí, pues de ser así, el efecto Coriolis, que es nulo en esa latitud, no proporcionaría el giro suficiente para formar los fuertes torbellinos del aire, que en sentido contrario a las agujas del reloj (en el hemisferio norte), giran alrededor del centro de bajas presiones.

Los huracanes ocupan un área, en forma de círculo normalmente, de 80-500 Km. de diámetro y se desplazan a una velocidad de unos 30 a 40 Km./h acompañados de fuertes lluvias. Pero la velocidad del viento en el interior del huracán sobrepasa con facilidad los 120 Km./h e incluso llega a los 250 Km./h, aunque el centro, u ojo, es bastante tranquilo y sin lluvias.

Los huracanes comienzan a debilitarse cuando se adentran en tierra firme o cuando alcanzan latitudes más altas sobre aguas oceánicas más frías, pues al ser menor la cantidad de vapor de agua disponible, menor es el transporte de calor latente. Al final quedan reducidos a una borrasca de una cierta intensidad, llamándose tormenta tropical, con mucha lluvia pero sin el viento huracanado.

Una amplia red de radares, situados a lo largo y ancho de los mares intertropicales, y de satélites, facilita la detección y seguimiento de los huracanes, y alertan a la población a fin de adoptar las medidas preventivas oportunas. No obstante, sabemos que las medidas no son tan eficaces como podría parecer y así, un huracán que llegó a las costas del país más rico de la Tierra produjo enormes pérdidas humanas y económicas.

TORNADOS Y TROMBAS DE AGUA

Un **tornado** es una borrasca de pequeñas dimensiones pero de gran intensidad, que origina remolinos de viento, largos y estrechos (*chimeneas*), de extrema violencia acompañados de truenos, relámpagos y, muchas veces, de granizo. Sus efectos son enormemente destructores y se deben a la velocidad del viento que puede llegar a los 500 km/h y a que en el interior de los tornados se producen corrientes ascendentes que pueden llegar a alcanzar velocidades de hasta 300 km/h. Asimismo, la repentina bajada de presión puede causar el estallido de los edificios.

Se producen en muchas partes del mundo, pero son relativamente frecuentes en los Estados Unidos (centro del país). Ocurren en cualquier época del año, pero principalmente en primavera y otoño. [Si succionan una laguna, es normal que luego "lluevan ranas"].

Las **trombas de agua** son igualmente borrascas, pero de dimensiones aún más pequeñas que los tornados, que se originan sobre masas de agua cálidas entre mayo y octubre. Suelen ser frecuentes en la costa de Florida y en las Bahamas, pero no en latitudes medias (no deben confundirse con la gota fría o con un aguacero consecuencia de una tormenta de verano).

En los últimos años estamos viendo en nuestro país pequeños remolinos, que no pueden llegar a considerarse tornados, pero que causan grandes destrozos allí donde se forman. No hay una explicación clara para su aparición.



TORMENTAS (LLUVIAS TORRENCIALES)

Las **tormentas** son perturbaciones atmosféricas que pueden ir acompañadas de rayos, relámpagos y truenos, producidas por nubes de desarrollo vertical (cumulonimbos), que dejan abundantes lluvias, y en muchas ocasiones granizo. Causan anualmente enormes pérdidas económicas debido a las inundaciones, incendios y destrucción de cosechas. Para la formación de una tormenta es necesario que exista inestabilidad atmosférica, y esta situación se consigue por la presencia de aire muy caliente y suficientemente húmedo en niveles bajos. Se dan en verano y sobre los continentes en su mayoría. Se trata de las lluvias convectivas de las que ya se habló.

OLAS DE FRÍO Y DE CALOR

Las olas de frío suelen darse en el invierno en latitudes medias y sobretodo en latitudes altas. Como ya se ha comentado, suelen ser debidas al fenómeno de gota fría que produce un brusco temporal que en este caso se acompaña de muy bajas temperaturas y nevadas espectaculares.

Las olas de calor no son tan fáciles de explicar, pero podemos simplificar diciendo que puede tratarse de situaciones en las que un anticiclón y una borrasca se instalen por más tiempo del habitual en una zona concreta, de modo que los vientos generados por la diferencia de presión soplen desde una zona muy cálida como un desierto hacia otra que de ordinario recibe vientos más húmedos que suavizan la temperatura. Pensemos en el viento "solano" de aquí, que eleva la temperatura general por encima de la que se considera como normal en esa época del año. Si el fenómeno se mantiene muchos días y sucede en verano, podríamos hablar de ola de calor.

SEQUÍAS

Se entiende por sequía a la situación que se da en una región en la que hay escasez de precipitaciones durante un tiempo mayor que el que es habitual.

El tiempo atmosférico es difícil de diagnosticar, sobre todo a largo plazo, no porque los fenómenos atmosféricos se originen al azar constituyendo un sistema caótico sino porque a la vez interaccionan miles de factores, algunos de los cuales pueden encontrarse en puntos muy alejados del planeta (ver el fenómeno de El Niño).

Por lo tanto, la sequía es una **situación climatológica anormal**, durante la que la **escasez de lluvias** provoca cambios importantes en el nivel de aguas de los sistemas húmedos, como pantanos, marismas, charcas y ríos, con un notable descenso del nivel de las aguas subterráneas y que conlleva a grandes desastres en la agricultura y en la vida vegetal en general. Como consecuencia de sequías prolongadas, las plantas liberan mucho menos vapor de agua al aire que en condiciones normales (transpiración), las temperaturas suben y el agua residual del suelo se evapora.

En España y otros países mediterráneos, la sequía viene asociada con el aumento de incendios y la consiguiente deforestación, lo que conlleva muy peligrosamente a la desertificación. La degradación del suelo por la sequía, junto a los incendios, favorece un lavado del terreno en cuanto caen las primeras lluvias intensas. La pérdida de suelo hace entonces imposible la reforestación.

Existen medidas para prevenir estos efectos catastróficos, tales como plantaciones de árboles, cultivo de plantas apropiadas y una mayor utilización de las técnicas de regadío. Los países más afectados por los cambios climáticos son los del Tercer Mundo, pues no disponen de medios para afrontar estas catástrofes.

Es posible que estemos entrando (la península Ibérica) en una nueva etapa de sequía, algo que periódicamente se repite y que causa graves problemas a nuestra economía.