

**Universidad Nacional de La Plata**  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

**Climatología y Fenología Agrícola**

**Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícolas  
del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing Agr  
Edmundo Damarío**

**Contenidos teóricos**

**Unidad temática A**

**METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA**

**Profesora Titular: Ing. Agr. Susana Martínez  
Profesora Adjunta: Dra. Ing. Agr. Mariana Garbi**

2020

## LA CIENCIA METEOROLOGICA

La elevación de la cantidad de alimento para el mundo, sólo se logrará con el aumento de los conocimientos que así lo permitan. Tenemos la necesidad de aumentar la producción de alimentos y las vías posibles son:

- a) **Mejorar la eficiencia de las áreas productivas**
- b) **Incorporar áreas no fértiles por medio de la sustentabilidad**
- c) **Aumentar los rendimientos, incorporando técnicas nuevas como la biotecnología o la ingeniería genética**

Para esto, es imprescindible conocer los elementos productivos y sus asociaciones: a) Físicos, como el suelo y la atmósfera, b) Biológicos, como las plantas y animales y la interrelación entre ellos, de donde surge la producción. Cada uno de estos elementos puede actuar en forma independiente en el proceso productivo o en interrelación entre ellos.

La biosfera, capa constituida por agua (hidrósfera), tierra (litósfera) y una masa delgada de aire (atmósfera), y en la cual se desarrollan los seres vivos, constituye el ecosistema productivo, y está determinada por la forma en que los elementos se comportan en la superficie terrestre. De estos tres elementos, predomina el atmosférico.

Todos los organismos vivientes necesitan y exigen que la biósfera en que viven les provea o satisfaga ciertas condiciones de temperatura, humedad, radiación solar. Es por ello que los cultivos y/o razas ganaderas posibles en un lugar; están determinados por las condiciones atmosféricas favorables o desfavorables. Asimismo, las grandes formaciones vegetales han sido determinadas por los elementos actuantes o el clima.

Esto no significa que en dos lugares con iguales condiciones atmosféricas, tengan iguales vegetales; pero sí que iguales formaciones vegetales naturales son producto de la actuación de iguales condiciones atmosféricas. Esas mismas condiciones son las que caracterizan otro elemento importante: **el suelo**. Las condiciones de fertilidad de un suelo dependen tanto su clase como de sus variaciones a través del tiempo y de cómo incidan las condiciones atmosféricas.

A pesar de la importancia de la atmósfera en el ciclo final de la producción, su efecto no ha merecido igual interés de estudio que el suelo o los elementos biológicos, siendo recién a partir de 1870, comienza el desarrollo de la meteorología.

La meteorología agrícola constituye una disciplina que busca interpretar las reacciones y el comportamiento de los diferentes cultivos y ganados de explotación económica, en relación de las condiciones, las magnitudes, y las variaciones de los procesos atmosféricos. Por lo tanto está compuesta por dos disciplinas: **la ciencia agrícola y la meteorología.**

## DESARROLLO DE LA METEOROLOGIA

La meteorología como ciencia cubre todas las actividades humanas, y su aplicación se subdivide en ramas:

- Meteorología. aeronáutica: procesos meteorológicos que influyen en la aviación.
- Meteorología. marítima: vinculada a la oceanografía.
- Meteorología. humana: dedicada al estudio de la influencia de los procesos meteorológicos sobre el hombre.
- Meteorología. médica: influencia sobre el hombre y sus enfermedades.
- Meteorología agrícola: que cubre todos los aspectos del conocimiento de la acción de los procesos atmosféricos sobre el campo
- Meteorología sinóptica: estudio de los procesos atmosféricos en un tiempo dado, y en una región dada, o lugar geográfico, y su evolución posterior, para dar el pronóstico del tiempo.

Actualmente la meteorología está muy cerca de ser una ciencia pura, pero el progreso de ella ha sido lento en sus principios. Los primeros conocimientos (empíricos) se amalgaman con la astronomía o astrología. No se sabe cuando nació. Las civilizaciones antiguas, relacionándola con la navegación, fueron los primeros que comenzaron este conocimiento. Los primeros indicios: Siglo V a. C.: Aristóteles, 300 años a. C. escribe el primer texto de Meteorología. Pero es todo empírico. Describe bien las heladas y los granizos.

El gran salto aparece con los primeros instrumentos. Galileo, Plinio, Torricelli, realizaron grandes esfuerzos que facilitaron ese salto. En 1597 aparece el primer instrumento, antecesor del termómetro: el termoscopio (Galileo). Permite al hombre tener una idea de medida de la sensación térmica. En 1643, Torricelli crea su famoso barómetro de cubeta, cuyo diseño aún se emplea. Esta dupla permitió contar con una serie de datos que permitieron realizar las primeras comparaciones del clima de diversos lugares y en 1680 el higrómetro.

Por otra parte, las ciencias básicas (Física y Matemáticas) experimentan un gran avance, por lo que facilitan el estudio; por ejemplo, la gran ley de los gases, la ley de la conservación del calor de Carnot, etc.

Otro avance importante está vinculado como consecuencia de las guerras, en especial a mediados y a fines de la primera guerra mundial, cuando aparece el avión. Obliga a nuevas técnicas y observaciones de altura.

El mayor desarrollo de la observación meteorológica fue la creación de estaciones meteorológicas, que obedeció a la aplicación de la meteorología al problema agrícola. Exceptuando Inglaterra, la mayor parte de los países europeos comenzó a realizar observaciones mediante redes de estaciones para resolver problemas de agricultura práctica, y fue Rusia (con más problemas climáticos), en 1834, el primer país que creó un servicio meteorológico oficial. Ya existía cierta cantidad de estaciones, pero no de característica oficial. El servicio que creó Rusia fue dirigido al principio por físicos o astrónomos y eso determinó que no fuera aplicable a la agricultura. En

1849 Rusia reorganiza el servicio creando un servicio central a cargo de meteorólogos y biólogos.

Entre 1852-1853 nace en Inglaterra el servicio meteorológico oficial, para la navegación. Al año siguiente, en Francia se crea para fines agrícolas. A fines del siglo XIX ya todos los países europeos y algunos americanos, tenían sus servicios.

En la Meteorología sucede un hecho destacable y es una de las ciencias donde la colaboración internacional brinda muchos beneficios. Esta colaboración se inicia con las comparaciones entre lugares, y para ello se usan iguales técnicas, logrando que las observaciones sean comparables. En 1853 se creó un organismo internacional en Bruselas (Bélgica) por iniciativa de un grupo de meteorólogos de ciertos países (en especial marítimos), con objeto de crear un organismo que tuviera por razón fundamental dar las normas de cómo se debían realizar las observaciones. Ese organismo estaba formado por individuos que en forma particular se reunían en distintos lugares (cada 4 años). Luego se vio la necesidad de extraer mayores resultados y se transformó en un organismo estatal (1873). Estuvo ya formado por los directores de los servicios meteorológicos de los países; contaba con respaldo oficial y fondos. Funcionó unos 70 años y dio las normas adecuadas. En 1947 se realizó en Washington la reunión anual de directores y se vio la necesidad de un mayor apoyo. La mejor forma era incorporar ese organismo a la organización de las Naciones Unidas.

Nace así la **Organización Meteorológica Mundial (OMM)** que es una organización internacional creada en 1950 en el seno de la ONU, cuyo objetivo es asegurar y facilitar la cooperación entre los servicios meteorológicos nacionales, promover y unificar los instrumentos de medida y los métodos de observación.

En la actualidad cuenta con 191 estados miembros y territorios. La OMM es la heredera de la antigua Organización Meteorológica Internacional (OMI), fundada en Viena (Austria) en 1873. La OMM tiene su sede central en Ginebra, Suiza. En el decimocuarto congreso del ente, celebrado en Ginebra en mayo de 2003 fueron elegidos secretario general y presidente el francés Michel Jarraud y el canadiense David Grimes, respectivamente.

Los objetivos de la organización son:

1. Facilitar la cooperación mundial para crear redes de estaciones que efectúen observaciones meteorológicas, así como hidrológicas y otras observaciones geofísicas relacionadas con la metodología, y favorecer la creación y el mantenimiento de centros encargados de prestar servicios meteorológicos y otros servicios conexos;
2. Fomentar la creación y mantenimiento de sistemas para el intercambio rápido de información meteorológica y conexas;
3. Fomentar la normalización de las observaciones meteorológicas y conexas y asegurar la publicación uniforme de observaciones y estadísticas;
4. Intensificar la aplicación de la meteorología a la aviación, la navegación marítima, los problemas del agua, la agricultura y otras actividades humanas;

5. Fomentar las actividades en materia de hidrología operativa y proseguir una estrecha colaboración entre los Servicios Meteorológicos y los Hidrológicos;
6. Fomentar la investigación y enseñanza de la meteorología y, cuando proceda, de materias conexas, y cooperar en la coordinación de los aspectos internacionales de tales actividades.

La meteorología agrícola en la Argentina tiene una historia corta. La observación meteorológica en la Argentina nace en 1801, y se hacen las primeras observaciones en Buenos Aires. En 1872 Sarmiento crea por ley lo que hoy se llama el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En el mes de octubre de 1872 sanciona la ley de creación. En la actualidad hay 116 estaciones meteorológicas en funcionamiento dependientes del SMN

## ELEMENTOS DE METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

### Qué se entiende por tiempo y por clima

**Clima:** Proviene del griego Klima que significa "inclinación". Un país de geografía accidentada como Grecia, estaba caracterizado por las condiciones particulares de los distintos lugares, muy próximo entre sí, según la inclinación con que se recibía la radiación solar. Esa palabra se extendió. Es el estado medio de la atmósfera

**Tiempo:** es el estado que caracteriza a la atmósfera presente en un momento dado o determinado.

Cuando se quiere explicar el estado atmosférico que hay en un momento dado, se habla de tiempo meteorológico. Decir, por ejemplo, que el tiempo del 15 de enero de 1968 en Mendoza fue cálido y seco, es decir (siempre que hablemos de un estado meteorológico) que estamos hablando de tiempo meteorológico. La meteorología se relaciona siempre con el tiempo atmosférico. En cambio, si se habla de clima estamos refiriéndonos a las condiciones atmosféricas que como promedios más frecuentes y normales se presentan en un lugar, y en ese sentido, al hablar de clima no se habla de un periodo meteorológico determinado. Por ejemplo, hablamos del clima de julio de Buenos Aires, sin hacer referencia a un año determinado. Es decir, nos referimos a las condiciones más frecuentes y normales que suelen presentarse en una época del año, en un lugar. El estudio del clima es materia de la climatología.

El clima puede tomar distintas definiciones, según distintos climatólogos: Por ejemplo Humboldt, tenía en su definición una base esencialmente biológica: "Clima es el conjunto de las variaciones atmosféricas que afectan nuestros sentidos de una manera considerable".

La definición más aceptada de clima es la que dio el climatólogo alemán Hann, en 1882. Para él, "clima es el conjunto de los fenómenos atmosféricos o meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un lugar de la superficie terrestre". Esa definición fue con el tiempo modificada y reducida, y se la puede enunciar como sigue: "Clima es el estado medio de la atmósfera en un lugar determinado". Conserva dos fundamentos:

1. Clima es el conjunto de los fenómenos meteorológicos.
2. Esos fenómenos se deben expresar a través de valores medios o promedios normales.

Esa definición de Hann, y en especial el hecho de que los fenómenos se debían expresar en su valor medio, inició los métodos de trabajo de la climatología. Esta nació como ciencia estadística (tomando los valores de varios años tomados por la estación meteorológica de un lugar y luego determinando el clima promedio normal de ese lugar). Pero luego debió tomar y determinar los valores extremos y la frecuencia con que estas se presentaban. Por ejemplo, el mes más caluroso es de 30 °C y el mes más frío de 0 °C. O sea que entonces es un lugar de promedio anual de 15 °C. Ese promedio se habrá obtenido de distintas temperaturas, por lo tanto, los valores extremos que se presentan son importantes para la determinación del verdadero clima del lugar.

A la climatología le interesa más conocer la frecuencia con que pueden presentarse diversos fenómenos (por ejemplo, una helada de 0 °C o de -20 °C), es decir, lo más importante es la frecuencia media con que se presentan los valores extremos.

Otra definición es la de De Fina, que la aplica a problemas de índole agrícola. "Clima es el conjunto de las diversas modalidades diarias y anuales que el tiempo presenta, con diferente frecuencia en un lugar".

De la misma definición de clima podemos deducir que un clima queda caracterizado o definido cuando se enumeran o expresan categóricamente los valores de los distintos fenómenos meteorológicos que se presentan, esos fenómenos que se refieren a la temperatura, a la humedad, a la presión, a la precipitación, a las nubes, etc. Son los que se llaman **elementos del clima**.

Estos elementos son el resultado de la acción de una serie de causas de distinta índole, que por tal motivo se conocen como factores del clima. La climatología como ciencia, busca o trata de explicar los resultados que los distintos factores del clima producen sobre los elementos del clima, de los distintos lugares de la Tierra. Dentro de los que podemos considerar como elementos del clima, debemos mencionar:

1. Radiación solar: todos los procesos meteorológicos necesitan energía en su desarrollo, y esta es provista por el sol. La tierra absorbe esa energía y aumenta su temperatura (ya sea agua, rocas, hielos, etc.) y esa temperatura le da calor al aire, que sólo se calienta o se enfría por contacto sobre el suelo o agua, frías o calientes.
2. Temperatura: que representa la magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general.
3. Presión atmosférica: como consecuencia de la temperatura del aire y del suelo, cuando el aire se calienta pierde densidad y por lo tanto, peso, y ese peso será tanto menor cuanto más caliente esté, y mayor cuanto más frío. Por lo tanto, la presión ejercida será menor o mayor respectivamente. Si en 2 lugares hay distintas presiones (ocasionadas por los factores ya vistos), las

masas de aire se desplazan para compensar, y esas masas o capas de aires desplazadas son el tercer elemento.

#### 4. Los vientos

Hay otra suerte de elementos que se refieren al agua, por lo tanto elementos hídricos, y el más importante es:

5. Evaporación: condicionada por los elementos mencionados previamente. Este vapor que se condensa forma las nubes, nos lleva al otro elemento:

6. Humedad: (o estado higrométrico)

7. Nubosidad: este elemento determina:

8. Precipitación: además estos fenómenos hídricos determinan una mayor o menor humedad de la atmósfera.

Esos elementos se pueden presentar con distinta magnitud sobre los distintos lugares, como consecuencia de la acción de los factores del clima.

**FACTORES:** Son las causas que modifican los elementos **y** los podemos clasificar en primer lugar como:

I) Factores de características astronómicas:

- Latitud (posición con respecto al sol)
- Movimiento de traslación y rotación (que determina las estaciones y la duración de días y noches)

II) Factores de características geográficas:

- Distribución de tierras y mares (efecto de Oceanidad HS y Continentalidad HN)
- Altura sobre el nivel del mar (modifica la temperatura, presión atmosférica y precipitaciones).
- Corrientes oceánicas (grandes transportadores de calor, por ejemplo, del Ecuador a latitudes más alejadas).
- Barreras Orográficas por ejemplo, la Cordillera de los Andes.

III) Factores de índole meteorológica:

- Distribución de la presión atmosférica sobre la superficie terrestre; y de los vientos y las masas de aire (modifican las condiciones de temperatura y humedad).

IV) Factores de índole local o microfactores:

- Topografía local.
- Tipo de suelo (suelo firme, arenoso, arcillosos, agua, hielo).
- Tipo de cubierta (cubierta vegetal, hielo, nieve).

Podemos concluir que tanto los elementos como los factores constituyen los componentes del Tiempo y el clima

## MEDIO FISICO

### La atmósfera

#### Principales características del medio en que se desarrolla el fenómeno agro-meteorológico

Los fenómenos agrometeorológicos se desarrollan en la atmósfera y el suelo. Es de sumo interés el intercambio de energía y agua que se opera a través de la superficie de separación, ente atmósfera y suelo.

La atmósfera está formada principalmente por aire; el aire es una mezcla mecánica de gases:

<b>Ni</b>	78,08 % en volumen
<b>O</b>	20,046 % en volumen
<b>Ar</b>	0,943 % en volumen
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,036 % en volumen
<b>Ne</b>	18,2 ppm
<b>He</b>	5,7 ppm
<b>Kr</b>	1,2 ppm
<b>H<sub>2</sub></b>	0,5 ppm
<b>CH<sub>4</sub></b>	2 ppm
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,5 ppm
<b>O<sub>3</sub></b>	0,02 ppm

Estos elementos casi no varían en los 12 primeros km; en esa zona los movimientos verticales del aire determinan una mezcla y la consiguiente homogeneidad.

El oxígeno se encuentra como O<sup>0</sup> (en capas superiores), O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. El O<sub>3</sub> (ozono) es capaz de absorber e interceptar las radiaciones ultravioletas del sol, nocivas para la vida. Ese ozono si bien es de baja concentración en capas bajas, entre los 25 y 30 km de altura, hay una capa de acumulación. A veces como consecuencia de distintas turbulencias, baja hasta la superficie.

El CO<sub>2</sub> producido por la respiración de los animales y los vegetales tiene, desde el punto de vista biológico, la importancia de mantener la vida. Y desde el punto de vista meteorológico, el CO<sub>2</sub> absorbe la radiación calorífica. El gran regulador de CO<sub>2</sub> es el H<sub>2</sub>O que lo disuelve.

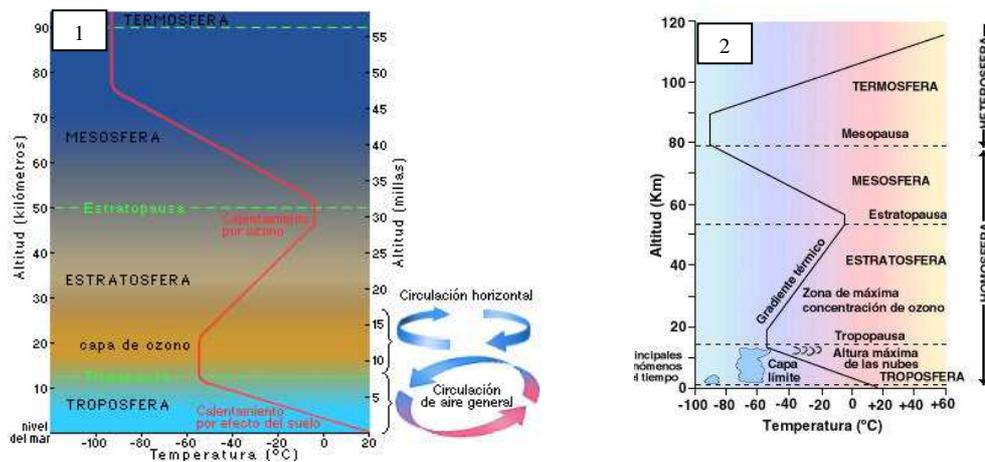
Hay otros constituyentes en el aire puro, por ejemplo el H<sub>2</sub>O (puede estar en 3 formas: líquida, gaseosa y sólida). Por ejemplo, cristales de hielo, en nubes muy altas. Desde el punto de vista meteorológico es muy importante, pues el agua al pasar de un estado a otro, es una fuente de producción o absorción de energía, en mucha intensidad. La mayor parte esta como gas o vapor, a pesar de que el volumen de vapor de agua en el aire es de 0,2 a 0,6%, sin embargo, si consideramos el peso de esa cantidad, es de 150 billones de toneladas,

suficientes para producir una lluvia de 25 mm sobre toda la superficie del planeta. Además el aire seco pesa más que el aire húmedo. Cuando el vapor de agua pasa a estado líquido, desprende energía, muy importante en el proceso meteorológico. Cuando el agua líquida pasa a vapor libera una cantidad de calor de  $590 \text{ cal.g}^{-1}$ , como calor latente de vaporización. El pasaje del estado líquido al sólido (Proceso de helada) libera  $80 \text{ kcal.mol}^{-1}$  de agua. Además, el agua absorbe radiaciones caloríficas (infrarroja o de onda larga). Si es líquida absorbe en su totalidad y como vapor también absorbe de manera parcial. La radiación solar de onda corta (visible), al incidir sobre la superficie, calienta la tierra que en forma continua la devuelve en radiación de onda larga (invisible). La tierra, es un cuerpo negro por lo tanto, por la Ley de Stefan-Boltzmann liberará calor al espacio. Las moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  que están en la atmósfera absorben ese calor y lo emiten hacia arriba y abajo, devolviendo por lo tanto parte del calor, generando el efecto invernadero natural de la atmósfera, transformándose en un amparo térmico, podemos decir que el vapor de agua actúa como una pantalla gigante.

Otro componente atmosférico está constituido por elementos no constante en la atmósfera: las impurezas (sólidas). Son: polvo atmosférico, tierra, hollín (proveniente de las combustiones) y en especial, una cantidad grande de sales; en especial porque allá comienza la condensación del vapor de  $\text{H}_2\text{O}$ . Sin ellas no habría condensación.

Normalmente el vapor de agua, para pasar a líquido, necesita indispensablemente de esas partículas llamadas "núcleos de condensación". No son visibles a simple vista, sino en conjunto, como bruma o niebla seca. El conjunto de los gases que componen la atmósfera (sin contar las partículas sólidas) son elásticas y compresibles (todos los gases lo son), y ejercen una presión o peso. El aire pesa aproximadamente  $1,3 \text{ kg.cm}^{-3}$  (a nivel del mar) y es tanto menos pesado cuanto mayor cantidad de agua tiene. A igualdad de volumen el aire húmedo es más liviano que aire seco. El peso del aire se manifiesta sobre la superficie terrestre como presión atmosférica. Si consideramos el espesor de la atmósfera (aprox.) 800 km y el peso del aire, el cálculo del peso total de la atmósfera es de 5.000 billones de toneladas. Ese peso es igual al peso de una capa de agua de 10 m de espesor, que rodeara a la tierra. Eso quiere decir que una columna de aire de la altura atmosférica, ejerce sobre la superficie terrestre una presión igual a la de una columna de agua de 10 m de altura. Esta presión es la presión atmosférica. A medida que ascendemos, la presión atmosférica disminuye, pues disminuye por un lado la densidad del aire y por el otro, el espesor de las capas de gases. Por lo tanto, disminuye considerablemente la presión atmosférica. Si a nivel del mar es aproximadamente de  $1 \text{ kg.cm}^{-2}$  a los 5.000 m de altura es la mitad, y a los 10.000 m la cuarta parte.

En la atmósfera se produce también una modificación de la temperatura con la altura, lo que se llama estratificación atmosférica. Esa división tiene en cuenta la temperatura de cada capa y el movimiento prevalente de las corrientes de aire que componen estas capas.



### Variación de la temperatura en las distintas capas de la atmósfera

Fuente de las imágenes: <sup>1</sup>Proyecto Biosfera:

[http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/energia\\_externa/contenidos6.htm](http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/energia_externa/contenidos6.htm)<https://meteo.maicas.net/articulos/circula.html>

<sup>2</sup>Meteo: [http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/energia\\_externa/contenidos6.htm](http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/3ESO/energia_externa/contenidos6.htm)

La tropósfera (0-12 km) o "esfera de mucho movimiento", es la parte de la atmósfera caracterizada por los mayores movimientos verticales del aire, que hacen una mezcla total de los gases. Allí se desarrollan la mayor parte de los procesos meteorológicos y principalmente los del agua. Por ejemplo, las nubes más altas están entre los 10 y 12 km de altura. Dentro de la tropósfera, la disminución de la temperatura con la altura es de 0,6 °C por cada 100 m de altura. O sea, la temperatura disminuye según lo que se llama el gradiente normal de temperatura. (**Gradiente: es la variación de un elemento con la distancia vertical u horizontal**).

Esa disminución con la altura obedece al hecho de que el aire no se calienta por efecto de la radiación solar (sino sólo en poca cantidad), y que solo se enfría o calienta con el contacto con la superficie. Por lo tanto, la temperatura será mayor en la superficie que en capas superiores. El efecto del calor de la superficie terrestre se extiende hasta el fin de la tropósfera: mas allá lo determina otra serie de circunstancias.

Hasta 0-2 m de altura es la Atmósfera adyacente, es decir donde están los gradientes más altos de temperatura. Entre 2 m y 2 km es donde hay predominancia en los movimientos verticales de aire. Es la capa convectiva. Entre 2 y 8 km es la capa de movimientos horizontales del aire o Advectiva con vientos siempre con dirección oeste, y con temperaturas variables entre 10 y 40 °C bajo cero.

La tropósfera culmina con la tropopausa, que en realidad no es una capa sino un límite. Su altura varía entre 8 y 12 km. Es prácticamente el límite donde la disminución de la temperatura con la altura termina y comienza una capa donde la temperatura no desciende con la altura. El límite (la tropopausa) está a 8 km en los polos a los 12 km en el Ecuador. Cuando la temperatura deja de descender y se mantiene constante, a medida que ascendemos, entramos en

la Estratosfera (que va desde la tropopausa hasta 80 km de altura) que se caracteriza por movimientos horizontales del aire y con vientos hacia el oeste (a causa de la rotación de la tierra al este). La estratosfera tiene dos zonas:

1. Isotérmica: entre los 12 y 35 km, en la que no hay variación de la temperatura con la altura
2. Caliente: entre los 35 y 50 km, donde la temperatura asciende en forma marcada, hasta una diferencia de 130 °C en 10 km (desde -50 hasta +80 °C). Se supone que aquí se disuelven los meteoros. La alta temperatura parece ser como consecuencia de la absorción de radiaciones ultravioleta solares, por el ozono, lo que elevaría la temperatura.

Luego, en la Mesósfera, la temperatura comienza nuevamente a disminuir con la altura y comienza un gradiente casi constante de disminución con la altura. A continuación se encuentra la Ionósfera, hasta los 800 km; y después, donde la densidad se hace 0: la Exósfera, donde se desarrollan las auroras boreales (choque de partículas solares con partículas de aire). Por lo tanto, allí todavía, aunque muy enrarecido, hay aire.

De interés es la troposfera y dentro de esta, lo de mayor interés es la capa inferior, donde se desarrolla la mayor parte de la vida vegetal, y donde la temperatura, humedad, etc., posibilita la agricultura.

### **El suelo, composición, características**

El otro medio de nuestro interés es el suelo (o parte extensa de la corteza terrestre).

Se debe considerar en su composición como un sistema disperso con 50% en volumen de materia sólida (compuestos orgánicos y minerales), 25% de agua (humedad) y el otro 25% de aire.

Físicamente, tiene una composición partícula, siendo el asiento de plantas y medio de reacciones biológicas de interés: hay 2 elementos o caracteres fundamentales que deben ser estudiados con preferencia: las variaciones de temperatura y las de humedad. Estos elementos y sus variaciones forman el clima del suelo.

La composición del aire del suelo es aproximadamente igual al de la atmósfera y hay un intercambio constante entre ambos. Sin embargo, el aire del suelo tiene una composición alterada por los procesos de descomposición y respiración que se realizan dentro de ese suelo. Tal es así que el aire del suelo tiene una cantidad aproximada de N de 78%, pero la cantidad de O es menor (10-20%), con una cantidad elevada de CO<sub>2</sub> hasta (10-15% en volumen). Dentro de todo ese medio constituido por la atmósfera por un lado, y por el suelo por el otro, hay un constante intercambio de energía, es decir de calor. Ese intercambio se opera principalmente a través de la línea límite de capas del aire o atmósfera, y el suelo por la otra. Esa es la superficie activa de intercambio que puede estar constituida por suelo firme, agua, la parte superior de la cubierta de nieve, o de la parte superior de la cubierta vegetal.

## Formas de intercambio de calor

A través de esa capa límite entre el aire y el suelo se desarrollan una serie de procesos de cambio, en especial de calor y de agua, y eso comprende el balance de calor y balance de agua. El intercambio de calor se realiza en distintas formas desde el momento que tenemos distintos elementos físicos (entre dos cuerpos de distinta temperatura, hay intercambio de calor, buscando el equilibrio térmico). Ese intercambio se puede dar de diversas maneras; lo más simple es la conducción molecular propia y típica de los sólidos, el calor pasa de una molécula a otra, o sea, se necesita que los cuerpos se toquen y es la forma de llevar calor de la superficie del suelo a la profundidad, y luego de la profundidad a la superficie (como si fuera un sólido, aunque no lo sea).

Esa forma de conducción casi no se realiza en los fluidos en general. En estos la transmisión de calor se hace por convección (transmisión e intercambio de calor por movimientos de masas en partes de un fluido: líquidos o gases). La convección es la forma de transmisión del calor en el aire (atmósfera). Esta convección o movimientos de masas, puede ser suave, por ejemplo cuando la tierra se calienta no en exceso, y por lo tanto el aire sube pues pierde densidad y baja el aire frío. Ese movimiento es la convección laminar o suave. Si el calentamiento es muy grande o se suma el efecto del viento, la convección es forzada o turbulenta (en forma desordenada, rápida, en forma de remolinos). En uno u otro caso, la convección es el movimiento vertical del aire, de abajo hacia arriba y viceversa.

Pero además existe el transporte horizontal de calor por medio de los vientos o sea por advección (que significa, sentido horizontal).

Hay otra forma de transferencia de calor, que son todos los procesos de cambio de estado del agua, cuyos pasajes significan absorber calor al pasar del estado líquido al estado de vapor (aproximadamente  $600 \text{ cal.g}^{-1}$ ). Esa cantidad de calor queda en estado latente como Energía potencial en la molécula del vapor, y cuando el vapor se condensa, el calor se desprende en igual cantidad. Para licuar 1 g de hielo se necesitan 80 cal, y al congelarse el  $\text{H}_2\text{O}$ , devuelve ese calor.

Esas cantidades que parecen pequeñas se hacen grandes al considerar la gran cantidad de agua de la atmósfera.