

## **UNIDAD 1. BIOFÍSICA Y AGRONOMIA.**

APUNTES EN BORRADOR, PERO BUENOS.

### **Objetivos de la meteorología agrícola.**

El objetivo principal de la meteorología agrícola es extender y utilizar totalmente nuestros conocimientos de los procesos atmosféricos y ciertos procesos asociados, con el fin de alcanzar una máxima producción de alimentos; un segundo objetivo casi tan importante como el primero, se refiere al aumento al máximo posible de la producción de madera y otros productos forestales, cierta fibras vegetales (como algodón o lino), caucho forestal y productos animales (por ejemplo cuero).

La preocupación en la conservación de los recursos naturales y la protección del medio ambiente contra los usos nocivos o aún contra su destrucción puede imponer restricciones a una manera particular de usar el suelo, en un determinado momento o lugar.

Los distintos puntos incluidos en el estudio son:

- a) Ciencias de la Tierra (físicas) y especialmente la física de la atmósfera (es decir meteorología), ciencias del suelo e hidrología.
- b) Ciertas ciencias biológicas, específicamente botánica, fisiología y patología animal.

### **Alcance de la meteorología agrícola.**

La meteorología agrícola trata de la acción mutua que se ejerce entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte y la agricultura en su mas amplio sentido, incluida la horticultura, la ganadería y la silvicultura, por otra. Su objeto es detectar y definir dichos efectos para después aplicar los conocimientos que se tienen de la atmósfera a los aspectos prácticos de la agricultura. Su campo de acción se extiende desde la capa del suelo desde las raíces de las plantas y árboles, pasando por la capa de aire próxima al suelo donde viven los cultivos y animales, hasta alcanzar niveles más altos de la atmósfera que interesan a la aerobiología, en el transporte de semillas, esporas, polen e insectos.

Además del clima natural y sus variaciones locales, la meteorología agrícola trata de las modificaciones del medio ambiente (como las producidas por los paravientos, barreras de protección, riego y medidas contra las heladas), de las condiciones climáticas durante el almacenamiento, tanto en el interior como sobre el terreno, de las condiciones ambientales en los edificios agrícolas y en el interior de los vehículos durante el transporte de los productos agrícolas.

La producción agrícola todavía depende del tiempo y del clima, a pesar de los espectaculares progresos que la tecnología ha realizado en las últimas décadas. El conocimiento de los recursos ambientales disponibles y de las condiciones previstas desde las capas situadas debajo de la superficie del suelo, pasando por la capa límite suelo-aire hasta llegar a los niveles inferiores de la atmósfera, permiten establecer directrices para tomar decisiones estratégicas en lo que se refiere a la planificación de largo plazo de los

sistemas agrícolas. Como ejemplos podemos mencionar la planificación de sistemas de riego, la elección de programas de aprovechamiento y cultivos de las tierras, la selección de cultivos y animales, variedades y razas y de la maquinaria agrícola. Las detalladas estimaciones en tiempo real de los elementos meteorológicos y de los índices de ellos deducidos, son de importancia para las decisiones tácticas que han de tomarse en la planificación a corto plazo de las operaciones agrícolas. En las decisiones tácticas se incluyen las que implican gastos medios referentes a las fechas en que han de realizarse determinadas prácticas agrícolas, tales como la siembra, cultivo y recolección, y por otra parte incluyen también las decisiones que implican gastos importantes tales como el uso de productos químicos de elevado precio o la aplicación de costosas medidas de protección de los cultivos. Cualquiera sea la decisión que se tome, es necesario tener un conocimiento adecuado de los efectos que el tiempo y el clima ejercen en el suelo, en las plantas y en la producción agrícola para poder usar con eficacia la información meteorológica y climatológica destinada a la agricultura.

Cualquiera sea la manera en que se distribuyen sobre la tierra los acontecimientos meteorológicos, tanto favorables como desfavorables, a largo plazo habrá insuficiencia de alimentos adecuados para la población mundial si ésta sigue su actual incremento demográfico, a menos que:

- a) se mejore extraordinariamente la tecnología agrícola,
- b) se utilicen con mayor eficacia los recursos naturales y
- c) los organismos nacionales e internacionales responsables de la planificación y ordenación de los recursos alimenticios dispongan de información actualizada de las condiciones de los cultivos y de los posibles fallos de los mismos, como base de las decisiones que se adopten.

La principal función de la actual meteorología agrícola a escala mundial es pues garantizar que los investigadores, los planificadores y las personas encargadas de tomar las decisiones dispongan de datos agrometeorológicos adecuados, así como de los medios de investigación y conocimientos oportunos, a fin de que puedan hacer frente a una gran variedad de problemas relacionados con la producción agrícola.

### ***Componentes de la meteorología agrícola.***

Es importante identificar los problemas que enfrenta la agricultura en relación con el tiempo y el clima. Entre estos se pueden mencionar:

1. ***Control agrometeorológico.*** El control de las condiciones meteorológicas en la biosfera incluye determinadas medidas físicas en la troposfera y algunos metros bajo el suelo. Es necesario establecer un plan general de observaciones, redes y experimentos en las zonas más importantes de producción, continuas, bien documentadas y accesibles a los investigadores y personal de los distintos servicios.

2. ***Medio ambiente de las plantas.*** Las plantas se ven afectadas por las condiciones ambientales en cada fase de su crecimiento. La influencia meteorológica se extiende aún al periodo anterior a la plantación o siembra y posterior a la recolección. La calidad de la planta depende de las condiciones meteorológicas del año en que se produjo dicha planta, e incluso de años anteriores. La productividad de ciertos cultivos puede ser afectada por las condiciones meteorológicas registradas en varias estaciones precedentes. Los bosques son el ejemplo más evidente de un largo cultivo rotativo en el cual las condiciones meteorológicas de muchos años o décadas contribuyen al rendimiento final. También los factores meteorológicos desempeñan una función muy importante en la ocurrencia y defensa contra los incendios de bosques y pastos. El uso racional de la información meteorológica exige conocer: a) las influencias específicas que ejercen los factores climáticos en el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos durante su ciclo fisiológico y b) las características climáticas específicas de una zona de cultivo dada, expresada en términos estadísticos.
3. ***Efectos nocivos en las plantas.*** El efecto meteorológico es triple. Las condiciones meteorológicas influyen en la sensibilidad de las plantas a los ataques de la contaminación atmosférica, de las plagas y de las enfermedades. En muchos casos la propagación de la enfermedad y su control y erradicación dependen de agentes atmosféricos. También intervienen en la biología de los insectos y en los mismos organismos causantes de las enfermedades, por lo que afecta la naturaleza, número y actividad de las plagas y amplitud y virulencia de las enfermedades. Finalmente ejerce su influencia en las fechas de aplicación y eficacia de las medidas de control, así como en la cantidad y toxicidad de los residuos de las fumigaciones en los cultivos cosechados.
4. ***Recursos climáticos.*** Para lograr una aplicación práctica del clima para fines forestales, se debe hacer un análisis de las frecuencias y amplitudes de las ocurrencias de las condiciones meteorológicas peligrosas que causan daños a las plantas. Las fluctuaciones del clima afectan significativamente la utilización de la energía y del agua, y por lo tanto la producción. Se deben hacer evaluación del ecosistema, estudio del aprovechamiento de tierras, estudio de condiciones climáticas análogas, estadísticas climatológicas y datos elaborados.
5. ***Recursos del suelo.*** La intemperie constituye un factor importante que determina la naturaleza del suelo. El clima afecta las propiedades químicas, físicas y mecánicas del suelo, a los organismos que contiene y a su capacidad para retener y liberar calor y humedad. La lluvia añade componentes químicos al suelo, pero también arrastra las materias nutritivas que el suelo contiene. Se necesitan datos de erosión del suelo en relación con las estadísticas específicas de la intensidad y dirección del viento y datos de viento en relación con la lluvia, datos sobre ciclos de lluvias intensas, de fusión de nieve, ocurrencia de rocío, que constituyen un elemento importante en la erosión del suelo durante los regímenes áridos. Las condiciones locales del tiempo influyen en

gran medida sobre el estado mecánico del suelo, que afecta la labranza, el control de plagas, la cosecha de cultivos, explotación de pastos, etc. En todas las regiones que tienen una variación estacional del tiempo, los cambios influyen decisivamente en las condiciones del suelo y por lo tanto en el calendario de plantaciones y cultivos.

6. **Recursos hídricos.** El balance hídrico en el suelo y sus componentes principales que son la lluvia, humedad del suelo, evaporación, escorrentía y drenaje, es un tema importante en muchas partes del mundo, pero especialmente en las regiones propensas a las sequías. Los estudios tienen aplicaciones prácticas para el desarrollo de recursos hídricos, planificación de la utilización del agua entre los consumidores (ciudades, industria, agricultura), determinación de las necesidades de drenaje, con el objeto de lograr su uso más eficaz.
7. **Actividades de dirección.** Se deben tener en cuenta las condiciones climáticas al proyectar las actividades forestales, analizar el tiempo y el clima en relación con el calendario de trabajo sobre el terreno, condiciones para la recolección de plantas, control de plagas y enfermedades, mantenimiento y utilización eficaz de la maquinaria forestal.
8. **Modificación artificial de los regímenes meteorológicos e hidrológicos.** Protección contra las condiciones meteorológicas adversas, clima controlado y modificación artificial del clima. La protección puede adoptar la forma de a) planificación de cultivos, variedades y lugares para evitar los correspondientes valores extremos de las variables que pueden deteriorar las plantas y b) mejoramiento de los lugares para evitar o reducir el impacto de estos valores extremos. Los extremos que habitualmente hay que evitar son los de temperatura (especialmente las bajas), radiación, precipitación, sequía y viento. La irrigación, las barreras rompevientos, el almacenamiento y la conservación de la nieve y el agua, así como las prácticas del cultivo del suelo, tienen una importante influencia sobre ciertos aspectos del medio ambiente local, tales como la humedad del suelo, la velocidad del viento y la humedad atmosférica. En este punto también se incluye el efecto sobre la forestación de los cambios climáticos producidos por la actividad humana, como por ejemplo los cambios en el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera producto del consumo de combustibles fósiles.
9. **Edificaciones y equipos agrícolas.** Las condiciones climáticas se deben tener en cuenta en la planificación de las edificaciones rurales, particularmente el diseño para depósitos de productos agrícolas y de alojamientos para animales. La elección de las maquinarias agrícolas, su mantenimiento y el despliegue óptimo en cualquier situación, tanto de las maquinarias como de la mano de obra son susceptibles a las influencias del tiempo.

10. **Animales de granja.** Aparte de los efectos directos del clima en todas las etapas de crecimiento y desarrollo y las condiciones de los animales sanos y bien alimentados como los enfermos y mal alimentados, (principalmente aunque no únicamente expresados a través de los efectos del excesivo calor o frío), el tiempo afecta al ganado básicamente en su provisión de alimentos y al terreno donde se crían. Afecta a su alimentación, crecimiento, fecundidad y salud, y en consecuencia, su distribución geográfica. El rendimiento y la calidad de los productos y animales y su elaboración, así como la capacidad de almacenamiento y transporte, se ven igualmente afectados.

**Tipos de problemas agrometeorológicos.**

Aunque una clasificación lógica es difícil de lograr, se puede hacer una subdivisión simple de la siguiente manera:

1º Protegerse contra, o evitar los factores de producción adversos. Se le concede prioridad a este punto, porque los siniestros siempre suscitan mas comentarios que los buenos resultados. Estos peligros que tienen un contenido meteorológico incluyen la incidencia y alcance de las plagas y enfermedades en cultivos, contaminación del aire, erosión del suelo, el impacto ambiental sobre cultivos y animales y los límites y restricciones impuestas sobre todas las operaciones agrícolas, la incidencia, frecuencia y extensión de las heladas, los peligros de incendios de bosques y matorrales, las pérdidas durante el almacenamiento o transporte. La figura 1.1 ilustra el efecto de diversos factores que limitan la producción de los cultivos.

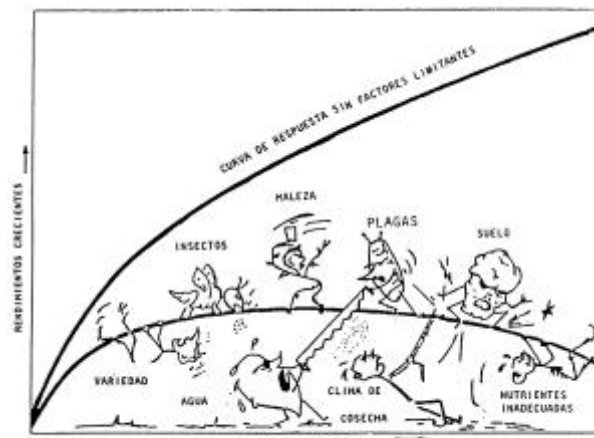


Figura 1.1 El efecto de distintos factores que limitan la producción de las cosechas.

2º Las técnicas de mejoramiento basadas en una interpretación de los conocimientos meteorológicos. Algunas técnicas se pueden usar para superar riesgos mencionadas en el punto anterior. Tales técnicas incluyen la irrigación, la protección contra el viento y el frío, la protección contra el sol excesivo, las medidas de protección contra las heladas, incluyendo la elección del emplazamiento; medidas antierosivas, cubierta del suelo y cubierta vegetal, protección de las plantas usando vidrios y materiales

plásticos; climas artificiales de salas de crecimiento o estructuras calefaccionadas; alojamiento y manejo de animales; control del clima del lugar de almacenaje y transporte; la fumigación de los cultivos, el tratamiento veterinario, utilización de fertilizantes, rotación de cultivos y sistemas de manejo del suelo.

3º Como todas las soluciones pretenden, esencialmente aumentar el rendimiento, deben incluirse por lo tanto todos los factores de producción tales como los que intervienen en la germinación, en el crecimiento, los efectos sobre la calidad y las condiciones de la cosecha y el tratamiento subsiguiente. La cría del ganado implica los efectos del medio ambiente físico sobre la concepción, la preñez y parición, y sobre el crecimiento y rendimiento de los productos animales, incluyendo la calidad y cantidad.

Conocer los efectos del tiempo sobre la producción alimenticia tiene dos ventajas: indica como mejorar la producción y permite realizar pronósticos de rendimiento, siendo muy valiosas las advertencias tempranas de malas cosechas.

La agrometeorología y la agroclimatología pueden además ser útiles en otras dos categorías de problemas: táctica y estratégica de la producción. Estas consisten en los procesos de tomas de decisiones, que implican la correcta evaluación de los factores del tiempo. La táctica implica que el tiempo y el clima deben, por lo tanto, interpretarse correctamente en relación de temas como la elección de los cultivos, diseño de maquinaria agrícola y su alcance, métodos de cultivo de suelo, regulación de tiempo de las operaciones agrícolas, selección de animales de granja y todo lo que conlleva a una buena ganadería. La estratégica incluye en particular la correcta elección del uso del suelo, planificación de la producción y planeamiento genético.

Aun cuando los pronósticos climáticos hechos durante períodos largos, durante décadas o mas sirven indudablemente para lograr soluciones óptimas a problemas relacionados con el uso de la tierra y otro recursos, actualmente se podría sacar provecho del estudio de climas pasados, tomando en cuenta la variedad de posibilidades y particularmente los extremos y secuencias que puede generar la atmósfera. Al consignar las estadísticas de lo que ha sucedido y de lo que podría suceder, el análisis de riesgo respecto a futuras propuestas puede mejorarse sustancialmente.

El pronóstico del tiempo convencional desempeña un papel muy importante, si sus predicciones son confiables, accesibles y si se comprende cuales son los efectos de las condiciones meteorológicas futuras. Es más, se debe tener en cuenta que para que un pronóstico tenga utilidad, debe haber algún tipo de acción que el interesado pueda realizar, ya sea sacando provecho de las circunstancias favorables o minimizando los efectos adversos. Con demasiada frecuencia, el productor agrícola no puede actuar: un avión puede desviar su ruta para evitar una tormenta o granizada, pero un agricultor no puede mover o cubrir sus cultivos.

La necesidad de comprender los efectos de determinadas condiciones físicas es común a todo tipo de problemas. La comprensión total de tales efectos exige un mayor conocimiento de los procesos biológicos fundamentales. Por lo tanto, la investigación básica

debe realizarse por equipos de científicos. No es de esperarse que un biólogo sea un experto en meteorología o viceversa. Si bien los progresos en la ciencia interdisciplinaria deben ser siempre lentos, una de las virtudes alentadoras de la agrometeorología es que se pueden lograr algunos progresos valiosos para obtener un grado apreciable de precisión intermedia útil, sin esperar a que se conozcan totalmente los resultados de la investigación fundamental.

### **1.3 METEOROLOGIA, TIEMPO Y CLIMA.**

Por los efectos combinados de la energía del Sol y los movimientos de la Tierra, la atmósfera reacciona produciendo diversos tipos de tiempo que a su vez crean los patrones globales del clima. Tiempo y clima no son idénticos, pero tienen mucho en común.

#### **1.3.2 Meteorología.**

La **meteorología** es la rama de la Física que estudia la atmósfera y los fenómenos físicos que en ella tienen lugar. Deriva de las voces griegas *meteoro* y *logos*, que significan fenómeno celeste y tratado. Su objetivo es estudiar los fenómenos atmosféricos y resolver el problema fundamental de la meteorología, a saber, la predicción del tiempo. Es una ciencia observacional, por lo que su comprensión depende fuertemente de los sistemas de medidas y de observación. Incluye el análisis de las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas (meteorología sinóptica), el estudio de las propiedades dinámicas, térmicas, eléctricas, ópticas y otras de la atmósfera (meteorología física); el estudio del clima, las condiciones medias y extremas durante largos periodos de tiempo (climatología), la variación de los elementos meteorológicos cerca del suelo en un área pequeña (micrometeorología) y muchos otros fenómenos. El estudio de las capas más altas de la atmósfera (superiores a los 50 km) suele implicar el uso de técnicas y disciplinas especiales, y recibe el nombre de aeronomía. El término aerología se aplica al estudio de las condiciones atmosféricas a cualquier altura.

#### **1.3.3 Tiempo.**

El **tiempo** se puede considerar como una compleja combinación de movimientos horizontales y verticales de las masas atmosféricas, de su temperatura y de su contenido de agua. Es el estado de la atmósfera en un instante y lugar dado, cambia continuamente, a veces en forma muy errática, por lo que es impredecible.

#### **1.3.4 Clima.**

Los movimientos en apariencia desordenados de la atmósfera obedecen a unas leyes; la propia atmósfera manifiesta tendencias regulares, aunque no constantes, a adoptar estados semejantes en unos mismos lugares y en unos mismos instantes del ciclo solar anual. De esta forma se distinguen frecuentes sucesiones de tipos de tiempo, a los que se llama **clima**. Clima es el efecto a largo plazo de la radiación solar sobre la superficie y la atmósfera de la Tierra en rotación. La palabra clima viene del griego *klima*, que hace referencia a la inclinación del Sol. Aunque el tiempo cambia erráticamente, es posible en-

contrar un comportamiento regular de esas variaciones, definiéndose el clima. El modo más fácil de interpretarlo es en términos de la información estadística de muchos años del tiempo, medias anuales o estacionales de temperatura y precipitaciones, en un lugar o región dada, que incluye variaciones extremas y la probabilidad que tales anomalías se produzcan. La *climatología* como ciencia esta estrechamente relacionada con el rápido y progresivo desarrollo de la meteorología. El objetivo de la climatología es tratar de predecir como se va a comportar la atmósfera en el futuro a partir de lo que ha ocurrido con la atmósfera en el pasado. La posibilidad de predecir el clima tiene fuertes implicancias socioeconómicas.

El estudio del tiempo y clima se hace en términos de elementos básicos, cantidades que se miden regularmente. Algunos de los más importantes son temperatura del aire, humedad del aire, presión atmosférica, rapidez y dirección del viento, tipo y cantidad de precipitación, tipo y cantidad de nubes; estas son consideradas las variables del tiempo y clima. Aunque cada una de ellas se estudia en forma separada, se debe tener en cuenta que están relacionadas entre sí, ya que el cambio de una produce una variación de las otras. La comprensión del clima puede ser obtenida con estudios de diagnóstico basados en análisis observacionales tanto de las leyes físicas como de modelos matemáticos.

Las áreas de tierra firme y las marinas, al ser tan diversas, reaccionan de modos muy distintos ante la atmósfera, que circula constantemente en un estado de actividad dinámica. Las variaciones día a día en un área dada definen el tiempo meteorológico, mientras que el clima es la síntesis a largo plazo de esas variaciones. El clima se mide por medio de termómetros, pluviómetros, barómetros y otros instrumentos, pero su estudio depende de las estadísticas. Hoy tales estadísticas son realizadas competentemente por ordenadores. Con todo, un resumen sencillo a largo plazo de los cambios climáticos no proporciona una representación exacta del clima. Para obtenerla, es necesario el análisis de los patrones diarios, mensuales y anuales. La investigación de los cambios climáticos en términos de tiempo geológico es el campo de estudio de la paleoclimatología, que requiere las herramientas y métodos de la investigación geológica.

Además de los efectos de la radiación solar y sus variaciones, el clima siempre está bajo la influencia de la compleja estructura y composición de la atmósfera y de los mecanismos por los que ésta y los océanos transportan el calor. Así pues, para cualquier área dada de la Tierra, debe considerarse no sólo su latitud (que determina la inclinación del Sol), sino también su altitud, el tipo de suelo, la distancia del océano, su relación con sistemas montañosos y lacustres, y otras influencias similares. Otra consideración a tener en cuenta es la escala: el término macroclima hace referencia a una región extensa; mesoclima, a una más pequeña; y microclima, a un área diminuta. Por ejemplo, puede especificarse que un buen microclima para cultivar plantas es el que hay al abrigo de grandes árboles y de su sombra.

El clima tiene una gran influencia en la vegetación y la vida animal, incluyendo a los humanos. Desempeña un papel significativo en muchos procesos fisiológicos, desde la concepción y el crecimiento de los seres vivos hasta la salud y la enfermedad. El ser humano, por su parte, puede influir en el clima al cambiar su medio ambiente, tanto a

través de la alteración de la superficie de la Tierra como por la emisión de contaminantes y productos químicos, como el dióxido de carbono, a la atmósfera.

### ***¿QUÉ ES LA CLIMATOLOGÍA?***

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

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

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

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

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

Recordemos que los conceptos de tiempo y clima, hacen referencia a escalas temporales diferentes. El tiempo se define como el estado de la atmósfera en un determinado momento. Se toman en cuenta la humedad, la temperatura, la presión, precipitación, vientos, etc. en un determinado lugar y momento. El comportamiento del tiempo atmosférico

cambia con el paso de las horas y los días, pero tienden a repetirse tipos de tiempo atmosférico similares en ciclos anuales y en las mismas fechas aproximadamente. A esa repetición anual de tipos de tiempo es a lo que llamamos clima. El clima es, pues, la sucesión de tipos de tiempo que tienden a repetirse con regularidad en ciclos anuales.

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

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

### ***Climogramas.***

El tiempo, y el clima tienen lugar en la atmósfera del planeta. El estudio de esta atmósfera es por tanto fundamental como base para definir el clima. Las observaciones de temperatura, precipitaciones, humedad y tipo de tiempo atmosférico se recogen en las estaciones meteorológicas. Con estos datos se elaboran tablas cuyos resultados se representan en gráficos, llamados ***climogramas***, que tratan de reflejar como esas variables han cambiado a lo largo del año, o a lo largo de varios años, como se muestra en la figura 2 de temperaturas máximas y mínimas y de precipitación para Valdivia.

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

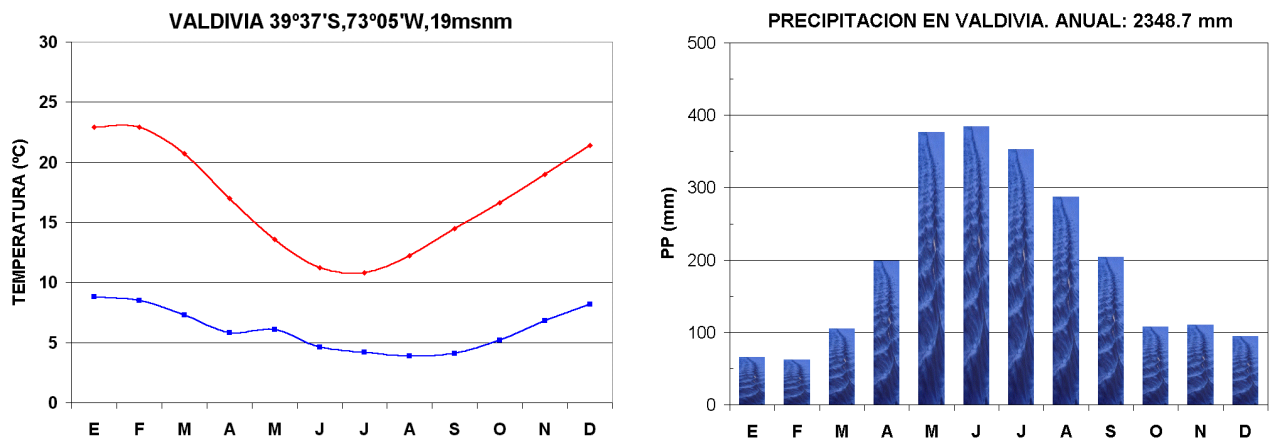


Figura 2. Climograma de Valdivia: temperaturas extremas y precipitación.

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

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

A comienzos del siglo XX, el climatólogo y botánico alemán Wladimir Köppen (1846 – 1940) le dio una nueva estructura a la ciencia de la climatología, cuando presentó una clasificación por zonas climáticas del mundo basándose en los diversos tipos de vegetación que en ellas se encuentran. Pero el mayor reto con el que se enfrentaron los primeros científicos que estudiaron el tema de la climatología fue obtener datos de la propia atmósfera, datos de los principales parámetros climáticos. Gracias al desarrollo de los globos sonda, esto comenzó a ser posible, aunque tenían el inconveniente de que no se podía disponer de los datos en tiempo real. Posteriormente, con el uso de la radiotelegrafía se solucionó ese problema, permitiendo una fineza y flexibilidad mucho mayores en los experimentos. Además, el desarrollo de la aviación permitió el registro de datos mucho más precisos y de forma directa. En la actualidad, el uso de radiosondas y estaciones meteorológicas locales es fundamental, pero se cuenta también con los satélites y radares meteorológicos que aportan importantes datos para el estudio de estos fenómenos.

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

La existencia de los diferentes climas en la Tierra es posible debido a una serie de factores que van a afectar a las condiciones de temperatura, humedad, presión, viento, precipitación, etc. Estos factores ambientales, junto con los factores geográficos de cada zona van a determinar el tipo de clima, se resumen a continuación:

### ***Factores geográficos.***

La geografía de una zona, su posición respecto al mar o la latitud, va a definir en parte la existencia de un determinado tipo de clima. Son factores preponderantes en la zonificación climática la latitud, la altura y la ubicación. Todos ellos son factores intrínsecos de cada zona, por ejemplo puede variar el tipo de lluvias o cambiar el grado de humedad, pero no se puede variar la latitud donde está situada una zona geográfica.

#### ***a. Latitud.***

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

#### ***b. Altura.***

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

#### ***c. Ubicación.***

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

### ***Factores ambientales.***

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

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

Generalmente interesan el promedio y sus oscilaciones, es decir, por un lado se determina cual es la temperatura media de una zona durante un margen de tiempo determinado (semanal, mensual, estacional, anual, etc) y por otro, el margen de temperaturas entre las que oscila, esto es, la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas, llamada

amplitud térmica. Un promedio de 20 grados Celcius, puede deberse a un clima primaveral eterno o a que la mitad del año estamos a 5 grados y el resto del año a 35. De ahí que la oscilación o amplitud de temperaturas sea casi más importante a la hora de determinar un tipo de clima, que la temperatura media de la zona.

**b. Humedad.**

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

**c. Presión atmosférica.**

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

**d. Viento.**

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

**e. Precipitaciones.**

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

**RELACIÓN SOL - TIERRA.**

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

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

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

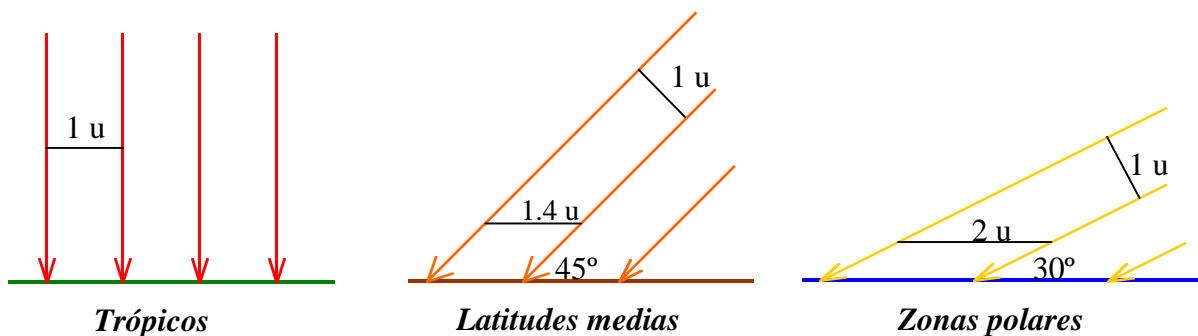


Figura 2.3 Inclinación de los rayos solares en diferentes latitudes.

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

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

### **GRANDES ZONAS CLIMÁTICAS.**

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

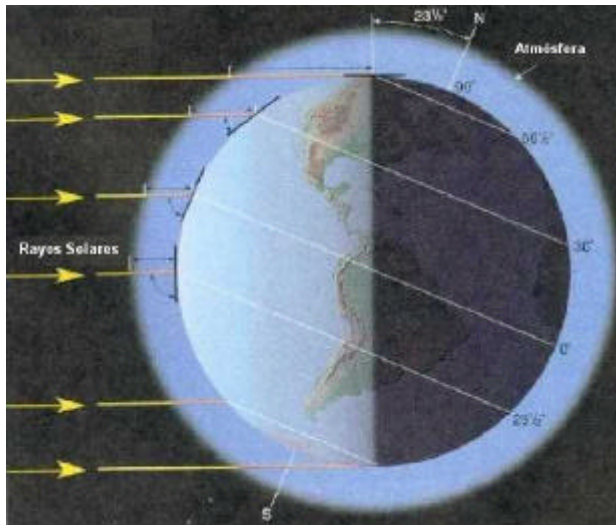


Figura 2.4 Espesor de atmósfera que cruzan los rayos solares.

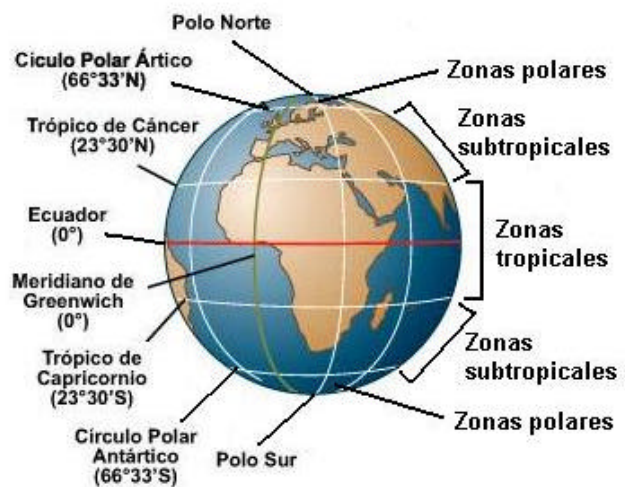


Figura 2.7 Principales zonas climáticas de la Tierra.

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

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

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

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

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

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

Debido a que la órbita de traslación de la Tierra no es circular, los dos equinoccios no dividen el año exactamente en la mitad. De marzo a septiembre dura 186 días y de septiembre a marzo 179 días. Esto significa que el verano del hemisferio sur es ligeramente más corto que el del hemisferio norte. Por otra parte, la longitud de los días y noches está determinada por la posición de la Tierra en su órbita, en verano los días son más largos que las noches en todo el hemisferio respectivo. De acuerdo a lo descrito anteriormente, todos los lugares ubicados en una misma latitud, debieran tener la misma temperatura, pero esto no es así. Por lo tanto las posiciones relativas del Sol y de la Tierra son el principal control de temperatura global, pero este factor no es el único.