



Facultad de  
Ciencias Agrarias  
y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

**TECNICATURA UNIVERSITARIA EN AGROECOLOGÍA**  
**Agroclimatología y Agrometeorología**

**RADIACIÓN SOLAR**

## Radiación solar

Los vegetales requieren de la radiación solar para diferentes procesos que son fundamentales para su crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, considerando la radiación solar incidente en una hoja, aproximadamente un 49 % de la energía es usada para la evaporación, además de la energía utilizada para la fotosíntesis (1 %). La dirección de la radiación puede también incidir en la orientación de las plantas (fototropismo) o en procesos de desarrollo independientes de la fotosíntesis (fotomorfogénesis), como la germinación de la semilla, el desarrollo de plántulas o el pasaje de la fase vegetativa a reproductiva.

El rendimiento final de un cultivo depende fundamentalmente de tres procesos:

- Intercepción de la radiación solar a lo largo del ciclo de cultivo por parte de los órganos capaces de efectuar la fotosíntesis
- Eficiencia con la que esta radiación interceptada es utilizada para producir biomasa
- Fracción de esta biomasa total que se destina a los órganos aprovechables

## Radiación solar y radiación fotosintéticamente activa

El sol es la única fuente de energía natural que mantiene a los seres vivos a través de procesos como la fotosíntesis, así como la fuente de casi todos los procesos meteorológicos y de sus variaciones. El sol entrega energía en forma de radiación electromagnética (como fotones, que se desplazan en el vacío a la velocidad de la luz:  $300.000 \text{ km s}^{-1}$ ). El espectro de radiación presenta diferentes longitudes de onda y frecuencia, siendo su energía directamente proporcional a su frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda.

La longitud de onda de la radiación o frecuencia de la radiación determina su calidad. El 99% de la radiación solar está comprendida en longitudes de onda de 150 a 4000 nm (nanómetros), entre las que se encuentran:

*Radiación ultravioleta (UV) (230 y 380 m $\mu$ ):* Posee, en general, escasa acción térmica y fotosintética. Este tipo de radiación es la gran responsable del deterioro de los plásticos utilizados en horticultura, para evitar lo cual, se comercializan láminas plásticas con una protección especial anti-ultravioleta, consiguiéndose mayor duración.

*Radiación visible (380 y 730 m $\mu$ ):* Juega un papel primordial en la fotosíntesis. Las reacciones luminosas de la fotosíntesis son el resultado de la absorción de fotones por las moléculas de los pigmentos, especialmente de la clorofila. La energía de los fotones de longitudes de onda superiores a los 760 nm no activa a las moléculas de los pigmentos, los fotones de longitudes de onda inferiores a los 390 nm tiene demasiada energía, y causa la ionización y degradación de los pigmentos. La radiación fotosintéticamente activa representa un 45 - 50% de la radiación solar incidente, y es la comprendida entre 390 y 760 nm. La incidencia de una débil luminosidad visible es responsable de determinadas anomalías como el ahilado de plantas (frecuente en almácigos), la coloración irregular y menor firmeza en frutos (tomate, pimiento, etc.), menor contenido de materia seca y azúcares. Una radiación visible muy elevada puede inducir desequilibrios hídricos de la transpiración, conduciendo a fisiopatías como desecamiento de cálices en berenjenas, podredumbre apical en frutos de tomate o pimiento.

*Radiación infrarroja (730 y 4000 m $\mu$ ):* Es una radiación térmica, responsable del aporte de calor.

## Intensidad de la radiación

La energía o intensidad de la radiación se expresa como la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie y de tiempo ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1} = \text{Ly.min}^{-1} = 7 \times 10^2 \text{ W.cm}^{-2}$ ).

La producción de biomasa de un cultivo está estrechamente vinculada con la radiación total interceptada durante su estación de crecimiento, ya que la intensidad de radiación determina las tasas de fotosíntesis a lo largo de su ciclo y éstas la producción de materia seca.

Si los factores ambientales, tales como el agua, la temperatura o los nutrientes minerales no limitan la producción, hay un aumento lineal de la producción final de biomasa al incrementarse la integral de la radiación interceptada durante todo el ciclo del cultivo.

Sin embargo, no todas las plantas muestran la misma exigencia en iluminación para conseguir una mayor eficiencia fotosintética. En función de esta exigencia, puede obtenerse la siguiente clasificación:

*Plantas heliófilas*: se saturan lumínicamente con valores muy elevados de radiación (600 a 1000  $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ): melón, pimiento, berenjena, batata, clavel, rosa.

*Plantas con necesidades intermedias*: la máxima eficiencia fotosintética se consigue con iluminación de 190 a 380  $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ : repollo, papa.

*Plantas de sombra*: se saturan lumínicamente con valores entre 200 a 300  $\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ : plantas ornamentales de interior.

Para un uso eficiente de la radiación por parte de la planta, es importante realizar un manejo adecuado del proceso fotosintético, de tal forma que su eficiencia sea máxima. Las siembras tempranas, el uso de cultivares adaptados a condiciones climáticas específicas y los cultivos múltiples en zonas donde la estación de crecimiento es larga, son prácticas diseñadas para hacer un uso óptimo de la fotosíntesis. También es importante mantener superficie foliar fotosintéticamente activa (duración del área foliar), dado que las diferencias en la producción final de biomasa se deben principalmente a la duración del área verde más que a la capacidad fotosintética del tejido vegetal en sí. Otra vía para alcanzar una intercepción de radiación eficiente es manejando la densidad de la población del cultivo. Para determinar la densidad óptima de un cultivo hay que considerar el tamaño de la planta y la limitación de factores medio ambientales, tales como radiación, agua disponible, o fertilidad del suelo, que pueden reducir la densidad óptima para cada especie.

## Heliofanía

Conjuntamente con la temperatura, la duración del día tiene una acción fundamental en el desarrollo de los seres vivos (procesos fotoestimulantes). La respuesta biológica a un cambio de las proporciones de luz y oscuridad en un ciclo diario de 24 horas se denomina fotoperiodismo.

La duración del día se computa según la cantidad de horas de luz, definiéndose:

Heliofanía teórica o astronómica (HT): cantidad de horas que el sol se encuentra por encima del horizonte, y varía según la latitud y la época del año. Su valor se obtiene por tablas.

Heliofanía efectiva o real (HE): duración de las horas de luz en función de la presencia de nubosidad, nieblas, polución, etc.

Heliofanía relativa (HR): relación porcentual entre la HE y la HT;  
 $HR = (HE/HT) \times 100$

El fotoperiodo se define como la duración de horas de luz, sumando a la heliofanía teórica o astronómica los crepúsculos matutino y vespertino (sol 6° por debajo del horizonte) (Figura 1).



Figura 1: Crepúsculos

El efecto de la duración del día no se refiere a la intensidad de la luz, sino a la cantidad de horas del periodo de iluminación diaria. Pequeñas intensidades de luz, como la luz crepuscular o la recibida bajo cielos nublados producen efecto fotoperiódico. Desde el momento que la acción fotoperiódica puede ser provista por luz de muy baja intensidad, la luz lunar puede actuar con efecto fotoperiódico en plantas a día largo produciendo una especie de inducción que las lleva a florecer rápidamente.

Según la exigencia de las plantas en la duración del día para florecer, pueden clasificarse en:

**Plantas a días cortos:** florecen con días de menos de 12 a 14 horas. Su desarrollo se acelera, anticipando la entrada en floración tanto más, cuantos más cortos son los días. Son originarias de regiones tropicales o subtropicales. Dentro de las especies cultivadas se encuentran: maíz, soja, arroz, mijo, algodón, tabaco, haba, sésamo, poroto. Se los siembra en primavera y florecen del solsticio de verano, cuando los días empiezan a acortarse.

**Plantas a días largos:** florecen con días de más de 12 a 14 horas. Su desarrollo se acelera y su floración se anticipa tanto más, cuanto más largos son los días. Corresponde a especies originarias de latitudes medias o zonas montañosas de la zona templada. Son cultivos invernales cuya floración se manifiesta en primavera con los días alargándose: cereales de invierno, alpiste, lino, arveja, vicia, lechuga, espinaca.

**Plantas intermedias o indiferentes:** no manifiestan exigencia fotoperiódica, siendo capaces de florecer con cualquier duración del día. Por ejemplo: tomate, algunas variedades de girasol.

### **Radiación solar en la superficie terrestre**

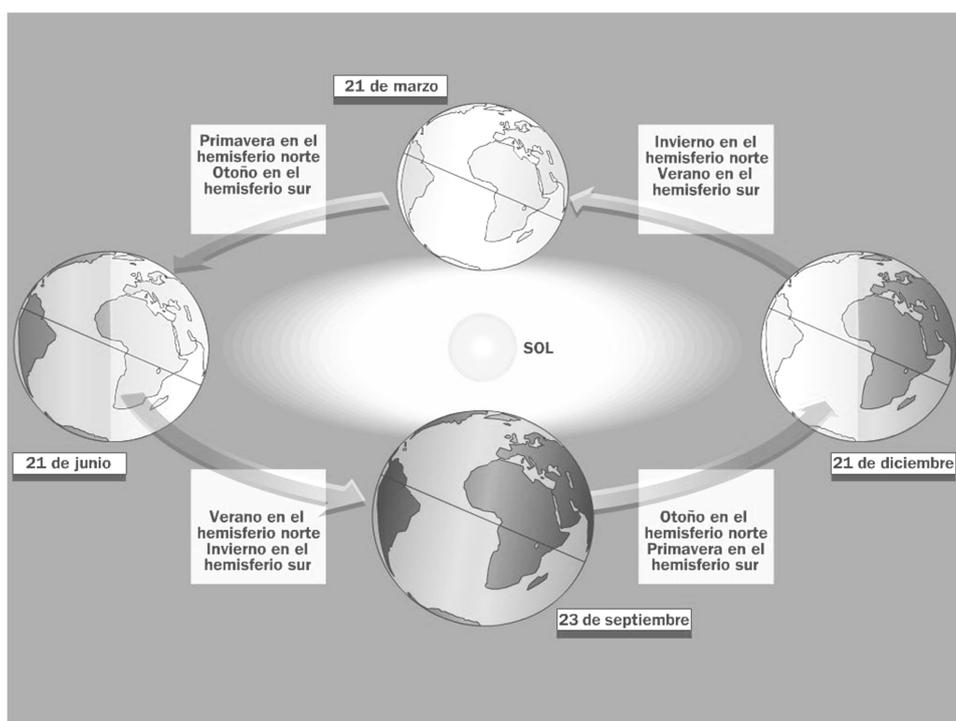
La intensidad y duración de la radiación que se recibe sobre un punto dado de la superficie terrestre están determinadas por factores de orden astronómico, como los movimientos de rotación y traslación de la Tierra. Estos desplazamientos, junto con la inclinación del eje terrestre, condicionan el ángulo con que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre en distintas latitudes, momentos del día y del año.

En el movimiento de rotación, la tierra gira sobre sí misma de oeste a este en torno a un eje imaginario que cruza al planeta por sus polos y tiene una inclinación de  $66^{\circ} 33'$  respecto al plano de la órbita terrestre, ángulo que se mantiene constante durante todo el año. El movimiento de rotación tiene una duración de 23 h 56 min y determina la alternancia de los días y las noches.

La traslación alrededor del sol se completa en 365,26 días, y provoca la sucesión de las estaciones del año. Hay dos momentos en el año (21/03 y 23/09) en que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el Ecuador ( $0^{\circ}$  de latitud). Estos momentos se denominan equinoccios y producen que el día y la noche duren 12 horas en cualquier punto de la Tierra.

Durante el periodo que transcurre desde el 21/09 al 21/03, equinoccios de primavera y otoño respectivamente, el Hemisferio Sur queda más expuesto al sol. En la mitad de este periodo (21 - 22 de diciembre) los rayos inciden perpendiculares al Trópico de Capricornio ( $23^{\circ} 27' S$ ) determinando el Solsticio de verano, donde la duración del día es más larga y la noche más corta. El 21 de junio los rayos solares caen perpendiculares al Trópico de Cáncer, determinando el Solsticio de invierno. Lo opuesto se registra para cada una de estas fechas en el Hemisferio Norte (Figura 2).

Figura 2. Traslación terrestre y su influencia en el goce de radiación



Hay que tener en cuenta que la radiación solar incide con mayor intensidad cuanto más perpendiculares llegan los rayos solares a una determinada superficie. Debido a la curvatura de la Tierra, la misma cantidad de luz solar se extenderá sobre un área mayor en los polos en comparación con el ecuador. Por lo tanto, el ecuador recibe luz solar más intensa, y una mayor cantidad de calor por unidad de área (Figura 3).

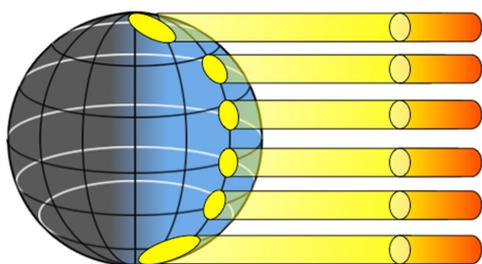


Figura 3. Radiación solar recibida según latitud

Fuente de la imagen: Webb, P. [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Oceanograf%C3%ADa/Libro%3A\\_Introducci%C3%B3n\\_a\\_la\\_Oceanograf%C3%ADa\\_%28Webb%29/08%3A\\_Oc%C3%A9anos\\_y\\_clima/8.01%3A\\_8.1\\_Presupuesto\\_de\\_Calor\\_de\\_la\\_Tierra](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Oceanograf%C3%ADa/Libro%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Oceanograf%C3%ADa_%28Webb%29/08%3A_Oc%C3%A9anos_y_clima/8.01%3A_8.1_Presupuesto_de_Calor_de_la_Tierra)

Además, la intensidad de la radiación disminuye rápidamente al aumentar el espesor de la capa atmosférica que debe atravesar, de tal manera que un pequeño aumento en la masa atravesada determina una gran merma de la intensidad de la radiación. Una mayor inclinación de los rayos solares hace que el trayecto a través de la atmósfera sea mayor, disminuyendo así la intensidad con que alcanzan la superficie (Figura 4).

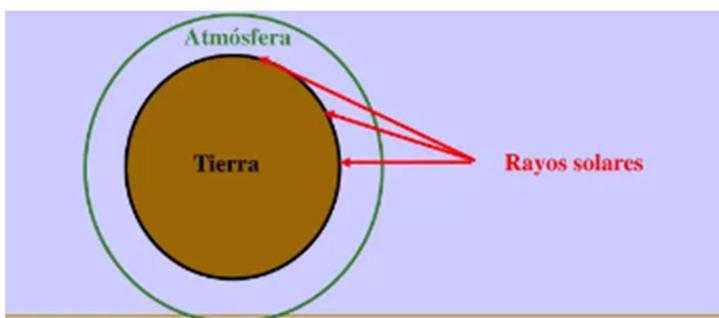


Figura 4. Atenuación de la radiación por la atmósfera

Fuente de la imagen: <https://www.slideserve.com/trevor-camacho/ley-de-bouguer>

En resumen, a medida que aumenta la distancia al ecuador (aumenta la latitud), se observa que los rayos solares llegan al suelo con mayor inclinación, disminuyendo la cantidad de calor recibida al año por centímetro cuadrado de suelo horizontal.

Consecuencia de todo lo anterior, se observa:

- ✓ En otoño, invierno y primavera la cantidad de calor solar recibida diariamente disminuye desde el ecuador a los polos
- ✓ En verano, la cantidad de calor solar recibida diariamente aumenta desde el ecuador a los polos
- ✓ Cuanto mayor es la latitud, mayor es la variación de las cantidades a lo largo del año

### **Efecto de la atmósfera sobre la radiación solar**

La energía que llega a la parte superior de la atmósfera, llamada constante solar, comienza a transformarse a medida que atraviesan las diferentes capas atmosféricas. Así, se producen distintos fenómenos de variada significación meteorológica como:

**Reflexión:** se produce cuando la radiación al incidir sobre un cuerpo reflector (gases, nubes, partículas sólidas) cambia la dirección de los rayos con igual ángulo al incidente, sin modificar su intensidad ni calidad (sin cambiar  $\lambda$ ). El porcentaje de energía reflejada respecto al incidente se denomina albedo.

**Absorción:** la radiación incidente puede traspasar la superficie del cuerpo, entrar a él y ser captada por sus moléculas que aumentan su energía cinética, y por lo tanto, su temperatura. El cuerpo se comporta como absorbente de la radiación recibida. En la atmósfera los principales responsables de la absorción son el oxígeno, el ozono y el vapor de agua, seguidos por el dióxido de carbono.

**Transmisión:** la radiación puede también penetrar la superficie de un cuerpo y traspasarlo, saliendo de él sin modificarse ni en calidad ni en intensidad. Es decir, el cuerpo es transparente a esa radiación.

**Dispersión:** el rayo incidente puede ser desviado por diversos constituyentes de la atmósfera en todas direcciones, sin modificar su calidad. Durante este proceso las partículas no modifican su energía, por lo que su temperatura permanece constante.

A causa de estos fenómenos, la radiación global experimenta modificaciones en su intensidad y calidad, resultando diferentes flujos de radiación:

**Radiación Directa:** es el flujo de radiación que llega en forma unidireccional a la superficie terrestre sin transformar su calidad (longitud de onda) e intensidad. Su dirección o inclinación corresponde a la latitud, al momento del día o época del año (estaciones) variando su intensidad en función del ángulo con el que incide sobre la superficie.

**Radiación difusa:** es el flujo de radiación que alcanza la superficie terrestre luego de sufrir fenómenos de dispersión y absorción al atravesar la atmósfera. No varía su intensidad ni calidad. Se recibe en forma multidireccional, midiéndose indirectamente, a través del flujo de radiación incidente por unidad de superficie, impidiendo la recepción de la radiación directa mediante una pantalla.

**Radiación global (RG):** es el conjunto de las radiaciones directas más las radiaciones difusas que se registran en la superficie terrestre.

**Albedo ( $\alpha$ ):** parte de la radiación global que alcanza la superficie es reflejada en función de las características y del estado de la superficie. Es la relación porcentual entre la radiación incidente sobre la superficie y la reflejada.

**Radiación terrestre (RT):** es el flujo de radiación emitido por unidad de superficie desde la tierra. La superficie terrestre transforma los flujos de energía (absorbida) de longitud onda corta en energía (emitida) de onda larga.

**Contrarradiación atmosférica (CR):** es el flujo de radiación emitido por la atmósfera, recibido sobre una superficie horizontal. La atmósfera es casi transparente a la onda corta (radiación solar), pero no a la radiación de onda larga proveniente de la radiación terrestre. De esta manera, la atmósfera absorbe, en forma parcial, la radiación terrestre y la devuelve hacia la tierra produciendo un “amparo térmico”. La diferencia entre ambas se conoce como **Radiación Efectiva**.

El aporte de estos distintos flujos de radiación constituye el balance de radiación o radiación neta ( $R_n$ ):

$$R_n = R_G - \alpha - RT + CR$$

La  $R_n$  es positiva durante el día, incrementando su valor desde la salida del sol (momento en donde  $R_n = 0$ ) hasta alcanzar un valor máximo durante el mediodía; luego decrece y alcanza el valor cero en el anochecer, momento a partir del cual  $R_n$  tomará valores negativos.

### **Clima argentino: radiación solar**

El territorio continental se extiende desde los 21°47' S hasta los 55° 58' S. El gran desarrollo latitudinal provoca la variación anual de la cantidad de radiación solar recibida y la duración astronómica del día.

En el norte del país, en La Quiaca, la radiación astronómica durante el solsticio de verano (21/12) es de 990 cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, mientras que en el solsticio de invierno es de 570 cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>. En Tierra del Fuego la radiación es de 1035 cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> y 170 cal cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en el solsticio de verano e invierno, respectivamente.

En lo que respecta a la heliofanía, en La Quiaca, el día más largo (21/12) tiene una duración de 13 h 30', mientras que el día más corto (21/06) es de 10 h 47', esto significa que en el transcurso de un año la duración del día sufre una oscilación de 2 h 43'. A medida que avanzamos hacia el sur los días de verano se hacen cada vez más largos, con relación a los registrados en La Quiaca. En la ciudad de Buenos Aires la duración del día el 21/12 es de 14 h 29' y la de junio es de 9 h 51', siendo su variación anual de 4 h 38'. En el extremo sur del país, en Ushuaia, se observa una duración del día de 17 h 26' para el solsticio de verano y de 7 h 07' en el invierno, siendo su variación anual de 10 h 19'. Sintetizando en el país, a partir del solsticio de verano, la duración del día aumenta notablemente del extremo norte al extremo sur, y en el solsticio de invierno ocurre a la inversa. No existe en el territorio argentino, incluyendo las dependencias antárticas, lugares donde el día más largo dure 24 h, como en poblaciones del Hemisferio Norte. La heliofanía efectiva oscila entre 8 y 6 h con un máximo en la zona de cuyo por los cielos diáfanos y mínima en la selva tucumano-oranense y en los bosques andino-patagónicos lugares con elevados valores de precipitación anual.

### **Bibliografía**

De Fina, A.; Ravelo, A. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. EUDEBA

Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). 2013. Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía.