

TECNOLOGÍAS
SOSTENIBLES

LED IT GROW

USANDO LEDS PARA IMPULSAR EL CRECIMIENTO
DE LAS PLANTAS



Imagen: Osram

es.rs-online.com



LED it grow

Usando LEDs para impulsar el crecimiento de las plantas

Para 2050, se espera que la población mundial alcance los 9.700 millones de habitantes. A la agricultura le corresponde alimentar a toda esta gente haciendo un uso muy cuidadoso de los recursos del suelo, el agua y la energía. Una solución para ello es la horticultura LED. Esta técnica utiliza zonas de cultivo cubiertas sin necesidad de luz solar. Se basa en la constatación de que el crecimiento de las plantas puede optimizarse con el uso selectivo de la luz coloreada de los diodos emisores de luz (LEDs).

Los LEDs ahorran energía y minimizan indirectamente el uso de pesticidas y fertilizantes, así como el consumo de agua y tierra. Las rutas de transporte pueden acortarse levantando invernaderos interiores cerca de los centros urbanos, reduciendo a su vez la contaminación por CO₂. A modo de ejemplo, el 98% de la lechuga que se cultiva en Estados Unidos procede de California y Arizona. Los camiones y trenes de mercancías tienen que recorrer hasta 4.200 km para hacer llegar las hojas verdes a los consumidores de Nueva York. Como los costes de transporte tienen un gran impacto en el precio de venta, el concepto de agricultura urbana LED podría incluso abaratar las verduras.

Las tendencias de suministro, como la agricultura urbana o la agricultura vertical, solo son posibles con la iluminación crucial que proporcionan los LEDs.

Además de la producción de alimentos, los analistas también ven la legalización del cannabis como un motor de crecimiento para la horticultura LED.

El factor coste

La fuente de luz más importante para las plantas en los cultivos de interior eran las lámparas de vapor de sodio de alta presión. Sin embargo, los LEDs son más eficientes energéticamente, generan menos calor y tienen una vida útil más larga (Tabla 1).

Fuente de luz	Potencia de entrada (W)	PPF ($\mu\text{mol s}^{-1}$)	Eficiencia fotónica ($\mu\text{mol J}^{-1}$)
Vapor de sodio a alta presión			
400W (magnética)	443	416	0,94
1000W (magnética)	1067	1090	1,02
1000W (eléctrica)	1024	1333	1,30
LED (@350mA)			
WL-SMDC Deep Blue	1,12	2,31	2,06
WL-SMDC Hyper Red	0,84	1,81	2,15
WL-SMTC Moonlight	1,12	1,58	1,41
WL-SMTC Daylight	1,12	1,69	1,51

Tabla 1. Eficiencia fotónica de las fuentes de luz LED frente a las HID (Fuente: Würth Elektronik).

Los costes de inversión de las lámparas de vapor de sodio de alta presión son, por lo general, de dos a cuatro veces inferiores a los de los sistemas LED. Sin embargo, el retorno de la inversión de la iluminación basada en LED puede conseguirse al cabo de uno o dos años, ya que su consumo de energía es mucho menor. Esto se denomina eficiencia radiante; la relación entre la potencia óptica y la potencia eléctrica, o el porcentaje de potencia que se convierte en luz.

El sistema de sodio de alta presión más eficiente disponible puede alcanzar una eficiencia radiante de más del 50%. El sistema LEDs más eficaz con una combinación de LEDs hiperrojos de 616 nanómetros y ledes azul profundo de 450 nanómetros (estas dos longitudes de onda son perfectas para las aplicaciones hortícolas) puede alcanzar valores superiores al 80%.

A las temperaturas adecuadas (por debajo de la temperatura máxima de funcionamiento), los LEDs funcionan hasta 60.000 horas, lo que equivale a 9,1, 13,7 y 20,5 años si funcionan durante 18, 12 y 8 horas al día respectivamente. A temperaturas más elevadas o cuando funciona con corrientes más altas, esta cifra desciende considerablemente. Los LEDs pueden funcionar hasta alrededor del 70% de su potencia luminosa. (Fuente: Würth Elektronik)

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión (1000W) equipadas en ambos lados tienen una vida útil de 10.000 a 24.000 horas, es decir, 3,7, 5,5 y 8,2 años con un uso medio de 18, 12 y 8 horas al día. Sin embargo, debido a que los operadores quieren cumplir con los valores de lúmenes requeridos, puede esperar tener que reemplazar la lámpara dentro de los primeros cinco años. (Fuente: Würth Elektronik)

Las lámparas de halogenuros metálicos tienen una vida útil de entre 6.000 y 20.000 horas, mientras que las lámparas fluorescentes (T-5 y T-8) tienen una vida útil de entre 20.000 y 36.000 horas. De nuevo, debido al cumplimiento de ciertos valores de lúmenes, se espera que las lámparas se sustituyan antes de que esta máxima vida útil se alcance. (Fuente: Würth Elektronik)

Todo es cuestión de color

Diferentes propiedades de la luz actúan conjuntamente para controlar el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Los factores principales son: el espectro adecuado de la fuente de luz, la eficiencia de la fuente de luz y la intensidad de la luz. Desde el punto de vista económico, la vida útil, así como los costes de inversión y de funcionamiento del alumbrado, desempeñan un papel importante.

Los LEDs blancos siguen siendo más eficientes que los sistemas de sodio de alta presión, pero con una eficiencia de salida del 66%, esta opción está muy por debajo de una combinación de rojo/azul de emisión directa.

Como las plantas son inmóviles, solo pueden reaccionar a las longitudes de onda e intensidades de luz irradiantes. Esto puede provocar reacciones al crecimiento en la sombra, durante el día/la noche o a diferentes climas. Por lo tanto, la luz artificial de diferentes longitudes de onda puede utilizarse para controlar o manipular las etapas de crecimiento y desarrollo de las plantas. Las respuestas resultantes incluyen la velocidad de la fotosíntesis (tasa de fotosíntesis), la influencia en la anatomía de la planta (fotomorfogénesis) y la determinación de la dirección del crecimiento (fototropismo).

La fotosíntesis impulsada por las plantas es un proceso en el que la luz se convierte en energía ligada químicamente. Produce biomoléculas de alta energía a partir de sustancias de baja energía con la ayuda de la energía luminosa. En este proceso, los colorantes (pigmentos) que absorben la luz, como la clorofila, ayudan a convertir la luz en energía química. A continuación, se utiliza principalmente para construir hidratos de carbono a partir del dióxido de carbono y del agua.

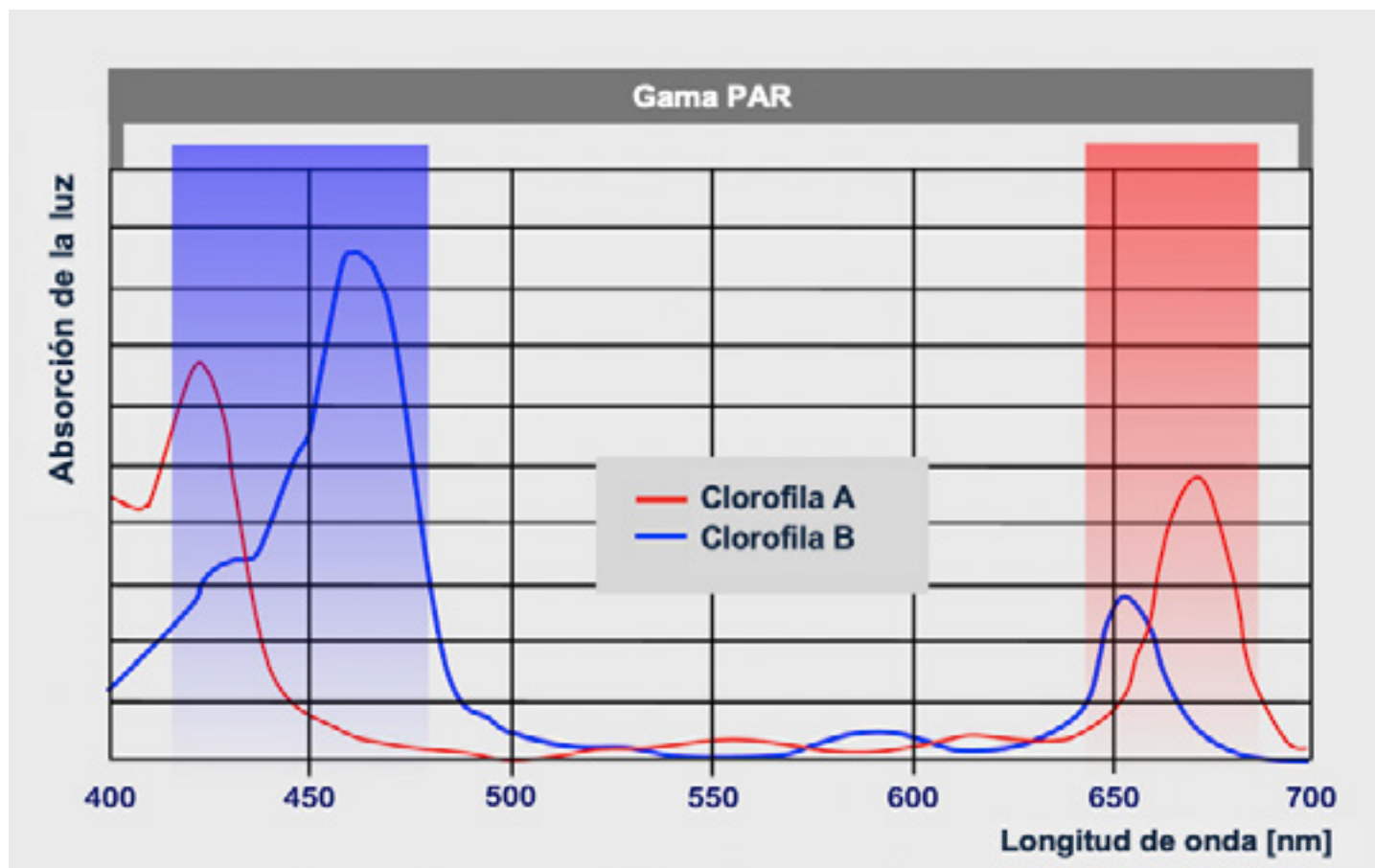


Imagen 1. Radiación fotosintéticamente activa en el rango PAR.

Los principales pigmentos son la clorofila A y la clorofila B. La clorofila A es el principal pigmento luminoso, que representa alrededor del 75% de la actividad fotosintética y tiene picos de absorción a ~435nm y ~675nm. La clorofila B amplía la gama de longitudes de onda que pueden utilizarse para la fotosíntesis con picos de absorción a ~460nm y ~640nm. Este rango rojo/azul se denomina Radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés) y oscila entre unos 400 nm y 700 nm (Fig. 1). Los experimentos demuestran que un espectro rojo/azul conduce a una proporción significativamente mayor de biomasa que el espectro de una fuente de luz blanca.

La luz verde (500 - 600 nm) se ha considerado durante mucho tiempo poco importante para el desarrollo de las plantas, pero los estudios han demostrado que las plantas a la sombra de otras plantas tienen una «respuesta de evitación de la sombra» especialmente saludable a esta longitud de onda. La luz en esta gama de longitudes de onda suele generarse con LEDs blancos, que también proporcionan longitudes de onda azules.

En la agricultura de interior, las combinaciones habituales de LEDs son rojo y azul o rojo y blanco. Los LEDs blancos porque «naturalmente» emiten una alta proporción de azul.

Sin embargo, también proporcionan luz en la gama de longitudes de onda del rojo, que normalmente ya estaría cubierta por los LEDs rojos del sistema de iluminación.

Una iluminación puramente blanca requeriría mucha más energía para un número comparable de fotones rojos que los LEDs que emiten directamente el rojo.

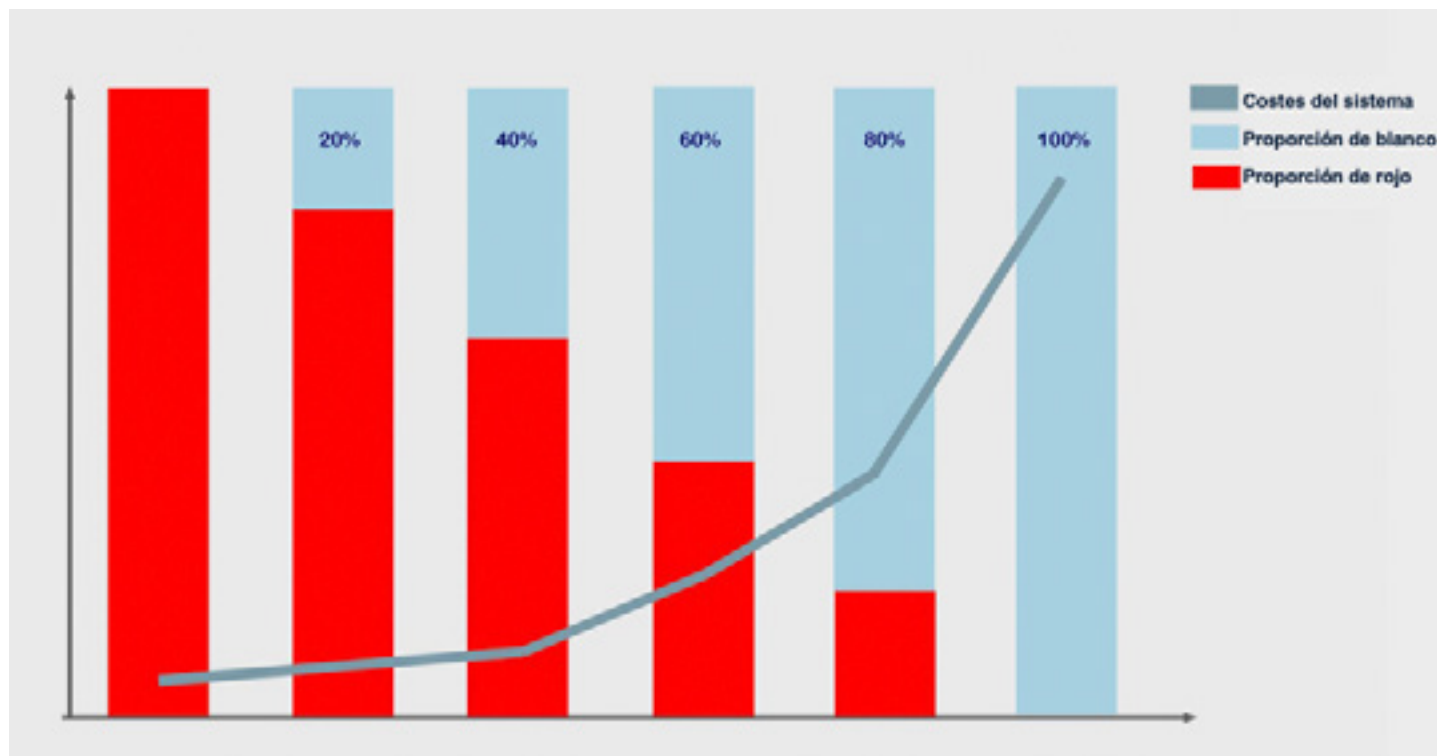


Imagen 2. Patrón de costes cuando se utilizan LEDs rojos y blancos

Con su [Osconiq S 5050](#), Osram ha logrado un mayor rendimiento del sistema en el espectro de luz roja y blanca, al reducir la proporción de fotones rojos convertidos por el fósforo. Un material fluorescente especial significa el recorte metafórico para la gama espectral roja. Reduce considerablemente la proporción de rojo de la luz blanca del LED, y una combinación de ledes rojos y blancos se amortizaría en términos de energía.

«Alimentos por luz»: la mezcla adecuada

Las luces en la horticultura deben proporcionar una determinada cantidad de fotones para garantizar el crecimiento eficaz de las plantas. La intensidad de luz necesaria para las distintas especies de plantas varía y debe basarse en los siguientes valores:

- De la potencia de una fuente de luz en **PPF (Flujo de fotones fotosintéticos)**: la cantidad de fotones emitidos por segundo. La unidad es el $\mu\text{mol/s}$.
- De la cantidad de fotones que inciden en un metro cuadrado en un segundo. El parámetro aquí es **PPFD (Densidad de flujo de fotones fotosintéticos)**. La unidad es el $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$.
- Y la **Eficacia fotónica fotosintética (PPE)**. Esto indica la eficacia de la iluminación cuando convierte la energía eléctrica en fotones en el rango PAR. La unidad es el $\mu\text{mol/J}$.

Por ejemplo, los tomates requieren una densidad de flujo de fotones fotosintéticos o PPFD de entre 300 y 500 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ y la lechuga entre 150 y 300 $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$.

Por metro cuadrado, una mayor intensidad de fotones suele dar lugar a un mayor crecimiento de las plantas mediante la fotosíntesis, pero este proceso es limitado y depende de la cantidad de dióxido de carbono que las plantas puedan absorber y procesar. A cada especie vegetal se le aplica una curva diferente de forma logarítmica.

Al utilizar la iluminación LED, hay una gran cantidad de ajustes ópticos y eléctricos que puede realizar para mejorar el rendimiento o influir en las fases de crecimiento. Crear la fórmula de luz adecuada es un asunto complejo. Para ayudar a los usuarios, los fabricantes de diodos luminosos proporcionan herramientas en línea para recopilar fórmulas de luz.



Imagen 3. El «Horticultor» de Würth forma parte de la herramienta gratuita de diseño en línea, Redexpert. (Imagen: captura de pantalla del escritor de octubre de 2021)

El «Horticultor» de Würth Elektronik forma parte de la herramienta gratuita de diseño en línea, Redexpert. El Horticultor diseña recetas de luz individuales para el uso de los LEDs en la horticultura. La herramienta puede tomar información como el número de LEDs utilizados y la corriente de entrada para calcular el espectro completo, el flujo de fotones fotosintéticos (PPF) y las relaciones de color de las longitudes de onda.

Para el apoyo a los desarrolladores, Würth ofrece un «Kit de desarrollo de iluminación» (los buenos observadores se darán cuenta de que el titular de este post se ha tomado «prestado» de ahí). Se basa en un panel de ledes de horticultura con LEDs en Deep Blue, Hyper Red, Far Red y White y una potencia de hasta 30 μ mol/s.



Imagen 4. Kit de desarrollo de iluminación de Würth Elektronik (imagen: RS Components)

También puede empezar a simular escenarios de iluminación con la [Horticulture Tool](#) gratuita disponible en línea de Osram OS.

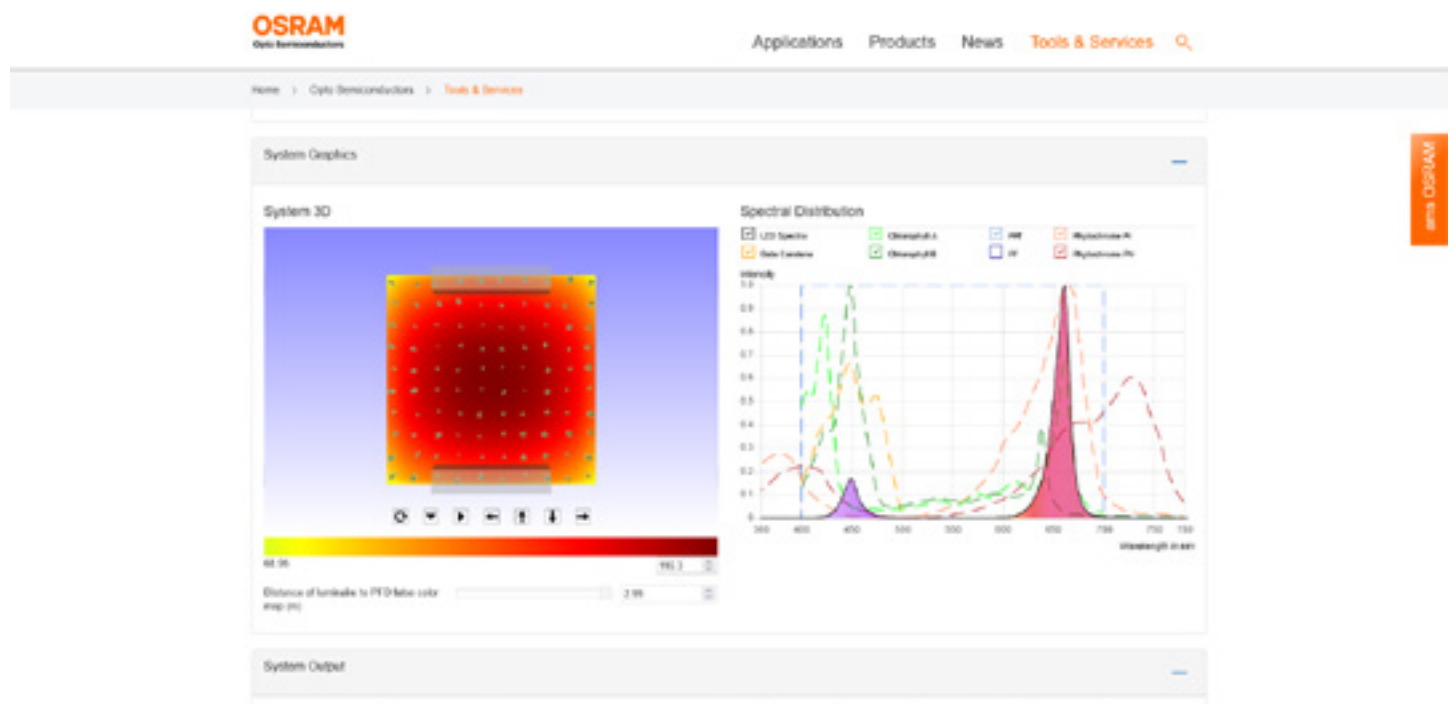


Imagen 5. [Horticulture Tool](#) de Osram OS (imagen: captura de pantalla del escritorio de octubre de 2021)

Osram también ha desarrollado el sistema de iluminación de plantas basado en LEDs [Phytofy RL](#) para fines de I+D. Los investigadores y los agricultores pueden utilizarlo en el laboratorio o en las cámaras climáticas para desarrollar nuevas fórmulas de luz y crecimiento específicas para las plantas, que posteriormente produzcan las propiedades definitivas, como calidad, cantidad e ingredientes. El sistema calibrado produce un mapa de la irradiación, que se calcula con un programa informático sin necesidad de efectuar mediciones. Los usuarios pueden inscribirse para recibir cinco fórmulas de luz desarrolladas por Osram. El diseño (667 mm x 299 mm x 44 mm, algo menos de 9 kg) es perfecto para la agricultura vertical, los sistemas de estanterías y las cámaras de crecimiento.

Breve glosario de horticultura

- La **luz roja (630 - 660 nm)** es una longitud de onda importante para la fotosíntesis y es la principal responsable del crecimiento de la longitud. La luz roja también afecta a la floración, a la fase de reposo y a la germinación.
- La **luz azul (400 - 520 nm)** es otra longitud de onda importante para la fotosíntesis, pero debe combinarse con otras longitudes de onda porque un exceso de azul puede inhibir el crecimiento. Esta longitud de onda también está asociada a la influencia de la concentración de clorofila, al aumento del crecimiento de las yemas laterales y al grosor de las hojas.
- La **luz roja oscura (720 - 740 nm)** del espectro IR influye en la germinación y se dice que acorta el tiempo de floración de las plantas y promueve el crecimiento de la longitud.
- La **luz ultravioleta (280 - 400 nm)** está en fase de investigación. Con sus propiedades dañinas para las células, algunas plantas (por ejemplo, la lechuga y los tomates) son resistentes a estas longitudes de onda. Los estudios sugieren que estas longitudes de onda pueden utilizarse para combatir los hongos. La luz UV puede ser responsable de la formación de antioxidantes y polifenoles, que son importantes para la nutrición de las plantas.
- **Longitud de onda (λ , nm)**: indica la longitud de onda de la luz emitida por el LED.
- **Radiación fotosintéticamente activa (PAR, ~400 nm - ~700 nm)**: el rango de longitudes de onda de la luz que las plantas necesitan para la fotosíntesis. Esta cifra puede ser a veces engañosa, ya que en este rango todas las longitudes de onda se consideran igualmente importantes para la fotosíntesis, aunque —como hemos visto anteriormente— el rojo y el azul son los principales impulsores de la fotosíntesis. Esto significa que las longitudes de onda de un LED verde pueden estar dentro de la gama PAR, pero solo tienen un impacto muy limitado en el crecimiento de las plantas.
- **Flujo de fotones fotosintéticos (PPF, $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$)**: cuantifica la cantidad total de fotones fotosintéticamente activos producidos por segundo por los LEDs. Aunque pueda parecer extraño que un ingeniero eléctrico cuantifique el rendimiento de una fuente de luz en función del número de fotones emitidos, debe tenerse en cuenta que la fotosíntesis es un proceso bioquímico cuantificado por el número de moléculas de azúcar producidas por número de fotones.
- **Densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)**: cuantifica la cantidad total de fotones fotosintéticamente activos que llegan a la superficie monitorizada por segundo. Este parámetro depende en gran medida de la distancia y el ángulo de la fuente. Esto se suele medir con un medidor cuántico que solo responde a las longitudes de onda PAR.
- **Eficacia de los fotones ($\mu\text{mol}\cdot\text{J}^{-1}$)**: este parámetro indica la eficacia del LED en la generación de PPF por julio de la energía eléctrica utilizada.
- **Eficiencia radiante (WPE, %)**: se define como la eficiencia de conversión de energía, una relación entre la potencia eléctrica y la potencia óptica.
- **Relación R-B**: la relación entre la luz roja y la azul emitida por el sistema LED.