

¿Por qué muchas hojas son verdes?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 024 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Muchas hojas se ven verdes a la luz del día porque la luz que llega desde ellas a nuestros ojos contiene una contribución verde relativamente intensa. Los pigmentos y la estructura de la hoja absorben, dispersan y transmiten de manera distinta las diferentes longitudes de onda. La clorofila es importante para ese patrón, pero «la hoja refleja el verde» es incompleto si se interpreta como que la luz verde no puede absorberse ni utilizarse en la fotosíntesis.

El título contiene además dos preguntas que deben mantenerse separadas. ¿Qué procesos ópticos hacen que una hoja actual parezca verde? ¿Y por qué la evolución produjo los pigmentos y las estructuras presentes en las plantas actuales? La primera puede investigarse directamente en una hoja existente. La segunda es una pregunta histórica que no puede resolverse inventando una finalidad para el color.

1. El color se refiere a la luz que llega a un observador

La apariencia de una hoja depende de la iluminación además de la propia hoja. Con luz ordinaria de espectro amplio, el balance de las longitudes de onda reflejadas contribuye a su color. Si cambia la iluminación, cambia el espectro reflejado disponible, aunque los pigmentos de la hoja no hayan variado. Una apariencia verde no es, por tanto, una sustancia que la hoja emita con independencia de la luz incidente.

La clorofila absorbe la luz verde con relativa debilidad, una propiedad que Terashima y sus colaboradores analizan explícitamente. [2] «Con debilidad» no debe sustituirse por «en absoluto», especialmente al pasar de pigmentos aislados a una hoja entera. Las plantas también contienen otros pigmentos con patrones espectrales distintos; OpenStax describe las clases de pigmentos y la medición de sus espectros de absorción. [1]

Una hoja también tiene estructura interna. La luz puede dispersarse y encontrar material absorbente a lo largo de trayectorias distintas. Su comportamiento óptico no es idéntico al de una disolución diluida de pigmentos. Por ello, el color de la hoja completa no puede deducirse simplemente tratando cada fotón como si pasara una sola vez por una molécula aislada de clorofila.

2. Una reflexión relativa mayor no es un rechazo total

Una ilustración numérica puede poner de manifiesto el error habitual. Imaginemos que llegan cantidades iguales de fotones de una longitud de onda verde y de una roja. De 100 fotones verdes, supongamos que se reflejan 15, se transmiten 10 y se absorben 75. De 100 fotones rojos, supongamos que se reflejan 5, se transmiten 5 y se absorben 90. Son balances ópticos inventados, no valores medidos en una especie concreta.

El número de fotones verdes reflejados triplica el de rojos reflejados, aunque se absorban tres cuartas partes de los fotones verdes incidentes. Un exceso relativo en la luz saliente es plenamente compatible con una absorción considerable de ese mismo color.

Para cada longitud de onda, estos balances simplificados satisfacen $R + T + A = 1$, donde R, T y A son las fracciones reflejada, transmitida y absorbida. El cálculo omite la conversión en luz emitida a otra longitud de onda y utiliza un haz incidente claramente definido. Es una contabilidad, no un modelo completo de la percepción humana del color.

El ejemplo no establece que la hoja vaya a tener un tono percibido exacto. También importan otras longitudes de onda y la respuesta visual del observador. Establece la conclusión lógica más limitada: un objeto que parece verde no tiene por qué rechazar toda la luz verde que recibe, ni siquiera la mayor parte.

3. La absorción y la fotosíntesis requieren mediciones diferentes

Un espectro de absorción pregunta cómo varía con la longitud de onda la interacción con una muestra. Una respuesta fotosintética pregunta cómo cambia el proceso biológico bajo una iluminación especificada. Ambas están relacionadas, pero no son mediciones idénticas.

La extracción de pigmentos y la espectrofotometría pueden ayudar a identificar patrones de absorción; OpenStax describe esos métodos. [1] Un experimento con una hoja intacta añade preguntas sobre dónde se absorbe la luz y cómo responde la maquinaria fotosintética. Absorber un fotón no garantiza que toda su energía se convierta en energía química almacenada: importa el estado del sistema biológico.

Por eso «¿qué color es mejor?» es una pregunta incompleta sin especificar las condiciones. ¿Mejor por fotón incidente o por fotón absorbido? ¿Añadido a la oscuridad o a una iluminación ya intensa? ¿Medido en una disolución de pigmentos o en una hoja intacta? Cambiar esas elecciones modifica la comparación.

4. La luz verde puede impulsar la fotosíntesis

Terashima y sus colaboradores pusieron a prueba la respuesta a luz monocromática adicional en hojas de girasol bajo iluminación blanca. Encontraron que, con luz blanca de moderada a intensa en sus experimentos, la luz verde adicional podía impulsar la fotosíntesis más eficazmente que la luz roja adicional. Su interpretación se refería a la penetración de la luz en la hoja y a la distribución de la capacidad fotosintética entre los cloroplastos. [2]

El alcance es esencial. No se afirma que la luz verde produzca siempre la mayor respuesta fotosintética ni que la luz roja sea ineficaz. La comparación implica luz extra añadida a un régimen de iluminación existente. Las condiciones próximas a la superficie iluminada pueden diferir de las del interior de la hoja.

Una forma útil de interpretar el resultado es que los fotones de distintas longitudes de onda no tienen por qué alcanzar la misma maquinaria biológica en las mismas proporciones. La respuesta de la hoja completa depende de esa distribución espacial además de la absorción de los pigmentos. El resultado contradice directamente la afirmación general de que la luz verde es inútil para una hoja verde. [2]

5. El verdor no es un medidor completo del carbono

Una medición del color visible no mide directamente la tasa a la que una hoja fija carbono. Registra una respuesta óptica bajo condiciones concretas de iluminación y observación. Inferir la fisiología a partir de ella requiere una relación adicional que pueda ponerse a prueba, y esa relación puede depender de otras condiciones.

La explicación de la NASA sobre teledetección de la vegetación describe el uso de contrastes entre la reflexión visible y la del infrarrojo cercano para estimar propiedades de la vegetación. También distingue la contribución de los pigmentos de la de la estructura de la hoja. [3] La inferencia utiliza un patrón espectral medido, no el supuesto de que todo lo que parece más verde deba realizar siempre la fotosíntesis más deprisa.

La misma cautela se aplica al observar una fotografía. Los cambios en la iluminación, la geometría de observación o la cobertura de hojas pueden alterar una imagen. Inferir un

cambio biológico exige separar esas posibilidades de un cambio en la propia planta. Una observación del color puede ser útil sin constituir un diagnóstico completo.

6. Por qué esto no es un relato sobre una finalidad evolutiva

El mecanismo óptico explica cómo los pigmentos y tejidos actuales producen una respuesta espectral. No demuestra que un linaje adquiriera esos rasgos para parecer verde, ocultarse entre otras hojas o rechazar la luz solar más disponible. Cada explicación histórica necesitaría su propia evidencia.

Del mismo modo, demostrar una consecuencia útil actual no establece que esa consecuencia fuera la razón original por la que evolucionó un rasgo. Una explicación evolutiva compararía alternativas, restricciones y características heredadas entre linajes. Los experimentos con hojas de girasol responden a una pregunta fisiológica más acotada y no deben presentarse como una certificación de esa historia más amplia.

Esta separación deja espacio para una incertidumbre honesta. Podemos medir la absorción y las respuestas fotosintéticas en condiciones elegidas de forma más directa de lo que podemos reconstruir cada paso selectivo que dio lugar a los sistemas de pigmentos actuales. Una explicación próxima sólida y una explicación histórica incompleta pueden coexistir.

7. La respuesta sin el atajo

Muchas hojas parecen verdes porque sus propiedades ópticas, dependientes de la longitud de onda, dejan una señal visible relativamente rica en verde bajo una iluminación ordinaria. La clorofila contribuye de forma importante, mientras otros pigmentos, la estructura del tejido y la iluminación afectan al resultado. Esa apariencia es compatible con la absorción y el uso productivo de una cantidad considerable de luz verde.

El error habitual es convertir una diferencia relativa en una prohibición absoluta: el verde se refleja, por tanto no se absorbe, por tanto no puede impulsar la fotosíntesis. Cada «por tanto» añade una afirmación que el color por sí solo no establece. Las mediciones de hojas intactas muestran por qué falla el atajo.

Lectura relacionada

El artículo 022, «¿Por qué la pérdida de una especie puede cambiar un ecosistema?», examina cómo los efectos biológicos dependen de las interacciones y del contexto a una escala mayor. El vínculo es asociativo; ninguno de los dos artículos es un requisito previo para leer el otro.

Referencias

- [1] OpenStax. Biology 2e, apartado 8.2: The Light-Dependent Reactions of Photosynthesis. <https://openstax.org/books/biology-2e/pages/8-2-the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis>
- [2] I. Terashima, T. Fujita, T. Inoue, W. S. Chow and R. Oguchi. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant and Cell Physiology* 50(4), 684–697 (2009). <https://doi.org/10.1093/pcp/pcp034>
- [3] NASA Earth Observatory. Seeing Leaves in a New Light. <https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/seeing-leaves-in-a-new-light/>