

Una propuesta de Aprendizaje Basado en Problemas de Fisiología Vegetal. Estudio de casos. Mapas conceptuales. Infografías

Elena Pérez-Urria Carril

Dpto. de Biología Vegetal I, Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid
elenapuc@bio.ucm.es

Resumen: El aprendizaje basado en problemas (ABP) es un método de enseñanza-aprendizaje que usa el problema como punto de partida para la adquisición e integración de nuevos conocimientos. Lejos de la resolución tradicional de problemas tras considerar conceptos teóricos en clases expositivas, en el desarrollo del ABP el problema es el detonante y el camino para que los estudiantes alcancen los objetivos de conocimientos, destrezas y habilidades propuestos en el contexto de una asignatura. El ABP se centra en el estudiante que, trabajando en pequeños grupos, protagoniza un proceso de autoaprendizaje en el que el profesor desempeña funciones de tutor o guía. Un paso más en este proceso sería el estudio de casos que acercan el conocimiento y el aprendizaje a la realidad profesional y social. En este trabajo se proponen algunas cuestiones para el desarrollo de ABP, el estudio de casos, elaboración de mapas conceptuales e infografías en el contexto de la Fisiología Vegetal.

Palabras clave: Aprendizaje basado en problemas (ABP). Estudio de casos. Fisiología Vegetal. Fotoquímica. Fotosíntesis. Cambio global. Efecto invernadero.

APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS Y ESTUDIO DE CASOS

El aprendizaje basado en problemas es una metodología motivadora, vinculada a la realidad profesional, que favorece un aprendizaje significativo superando la separación entre teoría y prácticas. El objetivo de todos los profesores es que los estudiantes entiendan y conozcan su materia, que aprendan razonando y no memorizando. Para ello se utiliza la resolución de problemas en numerosas materias de física, química o biología, por citar algunos ejemplos, y la realización de ejercicios. Es preciso distinguir entre ejercicio y problema pues en el primer caso se trata de aplicar un algoritmo mientras que la resolución de un problema supone dar una explicación coherente a un conjunto de datos. Los problemas pueden tener o no aplicaciones, pero el mayor interés reside en el propio problema y en el proceso de resolución.

Si bien la resolución de problemas es una práctica habitual de enseñanza, la realidad ofrece a veces resultados desalentadores en cuanto a los conocimientos que realmente adquieren los estudiantes aún cuando se superan los exámenes de las asignaturas. Este hecho suele manifestarse a medida que avanzan los cursos y una nueva

asignatura requiere los conocimientos de otras anteriores en el plan de estudios. Lo deseable sería que todo nuevo conocimiento adquirido se enlazase con otros previos de manera que a lo largo de los estudios se fuese construyendo en la mente de los estudiantes una “red de conocimientos” en lugar de una base de datos.

Por otra parte, las tecnologías de información y comunicación introducen importantes cambios en la enseñanza y en el aprendizaje fundamentados en dos cuestiones: el acceso y la manera de adquirir información, y nuevas formas de relación profesor-alumno.

El aprendizaje basado en problemas y el estudio de casos se centran en el estudiante y por ello implican un cambio de rol en el profesor que pasa de protagonista en las clases expositivas a tutor. Un tutor plantea preguntas que contribuyan al entendimiento y el manejo del problema. De otra parte, el papel activo del estudiante incluye los siguientes aspectos:

- Identificar lo que conoce acerca del problema.
- Identificar lo que desconoce y necesita conocer.
- Planear una estrategia de búsqueda de información.
- Definir el problema explicando lo que se pretende resolver, demostrar o responder.
- Interpretar datos.
- Aportar explicaciones coherentes.

El estudio de casos suele representar un paso más en el proceso de aprendizaje que sirve para acercar el conocimiento a la realidad profesional y social. Se pueden distinguir dos modelos de casos:

- Casos planteados y resueltos por especialistas.
- Casos planteados para que los estudiantes apliquen principios o procedimientos y resuelvan el caso. Este modelo es otra definición de aprendizaje basado en problemas de manera que el proceso es el descrito para el ABP.

Los casos planteados y resueltos por especialistas se pueden presentar a los estudiantes con la finalidad de conocer, comprender, analizar y/o valorar tanto los procedimientos que se presentan como los conocimientos que requiere su comprensión. Los casos pueden partir de un marco teórico y ser meramente descriptivos sin pretender soluciones. En este sentido, pueden seleccionarse aquellos que describan una solución a una situación dada de manera que su estudio incluya una primera fase cuyo objetivo sea que los estudiantes tomen conciencia de la situación que se describe, y una fase posterior en la que se formulen conceptos teóricos y metodológicos derivados del caso en estudio. La finalidad será estudiar, analizar, reflexionar, descubrir, conocer, buscar información y, en definitiva, adquirir conocimiento más por lo que “el estudiante hace” que por lo que se le dice. En este proceso es muy útil el desarrollo de mapas conceptuales como herramienta para establecer relaciones entre conceptos.

Este trabajo propone el análisis de casos planteados y resueltos por especialistas como guía para el desarrollo de un programa teórico, la resolución de casos para que los alumnos apliquen principios y procedimientos y el desarrollo de mapas conceptuales. El objetivo es avanzar en el terreno de la enseñanza para mejorar el aprendizaje y que llegue a ser un aprendizaje significativo. En cierto sentido plantea enseñar de forma semejante a como se investiga, incluyendo el conocimiento de nuevas metodologías, de la práctica de expertos en educación y enseñanza, y de los resultados obtenidos por otros profesionales.

ESTUDIO DE CASOS PLANTEADOS Y RESUELTOS POR ESPECIALISTAS

Desde el inicio del curso los estudiantes disponen de un completo plan de la asignatura con toda la información sobre su contenido y desarrollo (Fig. 1). En Fisiología Vegetal se estudia el “Crecimiento y Desarrollo” de los vegetales, el “Sistema Suelo-Planta-Atmósfera” y el “Metabolismo Vegetal” con mayor o menor profundidad dependiendo de diversos factores académicos (Fig. 2).



Figura 1. Esquema del plan de la asignatura.



Figura 2. Conceptos de Fisiología Vegetal.

Los aspectos a tratar pueden organizarse en forma de mapa conceptual de manera que a lo largo del curso se vaya completando este mapa con las definiciones de los conceptos (Fig. 3). La utilización de estos mapas en la primera clase o en el primer encuentro entre profesor y estudiantes servirá además como presentación y aproximación al estudio de las cuestiones a tratar y se establecerá el “esqueleto” de la red de conocimientos que se pretende formar.

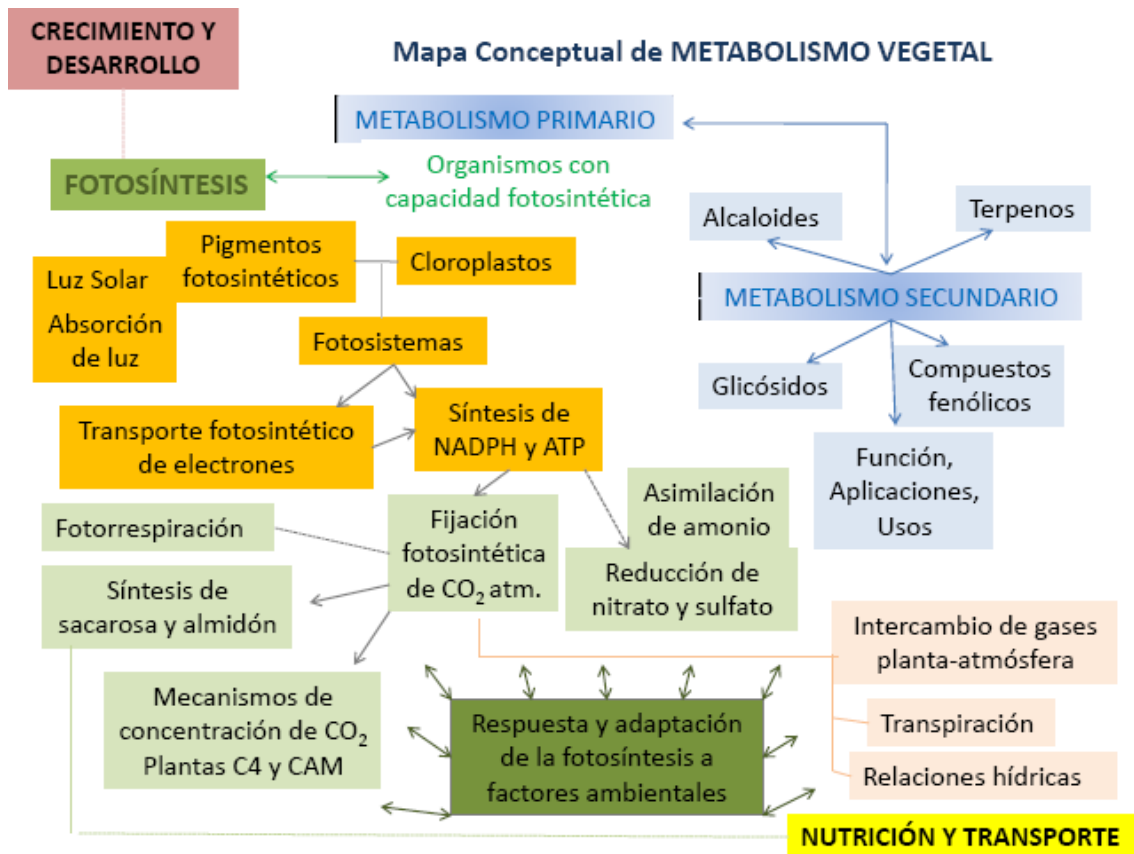


Figura 3. Mapa conceptual del metabolismo que se estudia en Fisiología Vegetal.

Por otra parte, en el contexto de los problemas ambientales actuales y de la realidad profesional, científica y social, se encuentra la cuestión del calentamiento global asociado a la emisión de gases a la atmósfera y el efecto invernadero. El estudio de casos y el aprendizaje basado en problemas puede desarrollarse partiendo de esta cuestión, el cambio global, con la finalidad de adquirir conocimientos sobre aspectos antes señalados de la Fisiología Vegetal.

Se propone hacer uso de un caso descriptivo presentado en formato video (<http://www.youtube.com/watch?v=cVB0UumWyx>). El video lleva por título "Microalgas" y es una narración del trabajo realizado por el grupo de investigación (Grupo de Ingeniería Química) del Prof. Emilio Molina Grima de la Universidad de Almería. Se trata de un material docente y como tal queda a disposición de los alumnos en el Campus a través de un enlace.

Los pasos a seguir en el desarrollo de este caso son los siguientes:

- Visualización del video (<http://www.youtube.com/watch?v=cVB0UumWyx>) en clase.
- Estudiar el caso planteado analizando la situación que se describe.
- Identificar lo que se conoce.
- identificar lo que se desconoce.
- Recabar la información y los datos necesarios para conocer y/o entender el caso.

- Estudiar cada una de las cuestiones o problemas que se plantean así como sus soluciones.
- Identificar los temas del programa que se corresponden con el caso en estudio.
- Realizar una infografía, un esquema o mapa conceptual del caso conteniendo información relativa a los aspectos planteados y en relación con los temas del programa correspondientes (Fig. 4).

El desarrollo de los puntos anteriores deberá considerar las siguientes cuestiones:

- Título del caso.
- Protagonistas del caso: autores, institución, grupos de investigación, localización geográfica, etc.
- Tipo de caso descrito: la solución a un problema, un problema o una solución.
- ¿Qué son las microalgas? ¿qué especies se utilizan en el caso?
- ¿Para qué se utilizan las microalgas en este caso?
- ¿En qué se fundamenta su uso?
- ¿Qué aspectos debe considerar necesariamente su cultivo? (condiciones de cultivo).
- Otras aplicaciones de las microalgas.
- Explicar el fundamento de la producción de biomasa.
- ¿Qué es la luteína?
- Explicar la naturaleza y la función de este compuesto.
- ¿Qué aplicaciones tiene la luteína?

El estudio de este tipo de casos se plantea para favorecer el aprendizaje, hacer uso de conocimientos previos, adquirir conocimientos nuevos y desarrollar habilidades básicas en el estudiante tales como analizar situaciones y obtener, sintetizar y relacionar información.

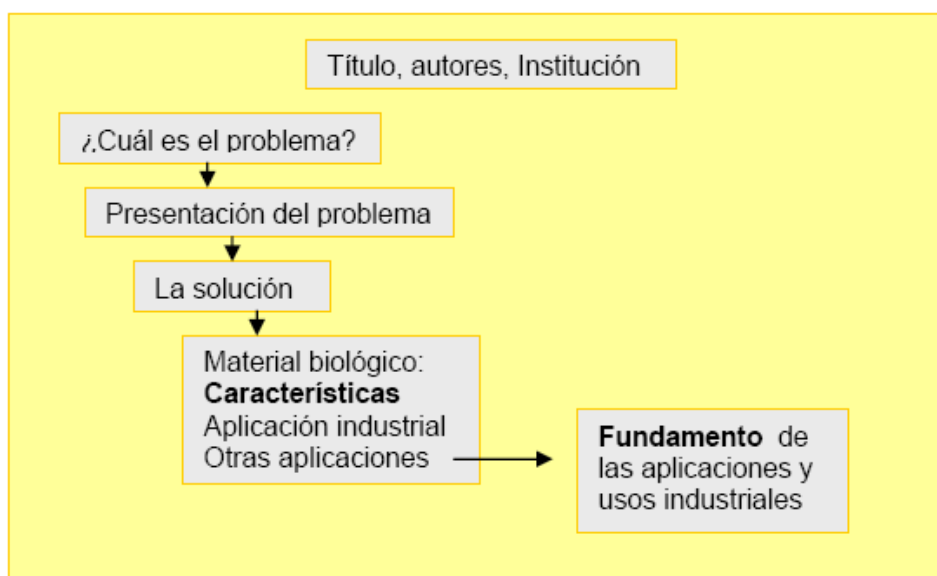


Figura 4. Esquema de la infografía mostrando puntos básicos a tratar.

CASOS PLANTEADOS PARA QUE LOS ESTUDIANTES APLIQUEN PRINCIPIOS O PROCEDIMIENTOS Y RESUELVAN EL CASO

Los casos planteados a modo de problemas para ser resueltos por los estudiantes no son una novedad como estrategia de aprendizaje pero quizá sí lo sea el hecho de utilizar algunos como guía para alcanzar objetivos de conocimientos. Para ello se pueden utilizar algunos más generales como introducción de un conjunto dado de lecciones o temas a los que alude el caso-problema. La alternancia de clases explicativas con clases de ABP facilitará la introducción de nuevos conceptos. En el contexto de la Fisiología Vegetal por ejemplo, de acuerdo con los contenidos señalados en el apartado anterior (Figs.2 y 3), si los estudiantes aprenden conceptos y procesos nuevos de manera que se amplía su “red de conocimientos”, el profesor espera que los estudiantes puedan “predecir” la respuesta de un sistema vegetal cuando se produce una perturbación, explicar esta respuesta y/o cuantificar el proceso, todo ello en casos que no se encuentran en los libros de texto o en la bibliografía recomendada. En definitiva, el profesor espera que los estudiantes sean capaces de aplicar a situaciones nuevas lo que han aprendido.

Caso 1. El cambio global afecta a la fotosíntesis y a la productividad de los cultivos mediterráneos

Los investigadores C.K y P.G., del Instituto del Olivo y Plantas Subtropicales de Creta, piensan que el calentamiento global llegará a introducir cambios en los ecosistemas que afectarán a la fotosíntesis y a la productividad vegetal. En esta isla mediterránea (Fig. 5) las altas temperaturas y la escasez de lluvia durante el verano son los principales factores que afectan a la productividad de los cultivos de árboles. Según los datos registrados por la agencia European Climate Assessment and Dataset (Fig. 6), la temperatura media en los últimos 25 años ha incrementado 0.3º C

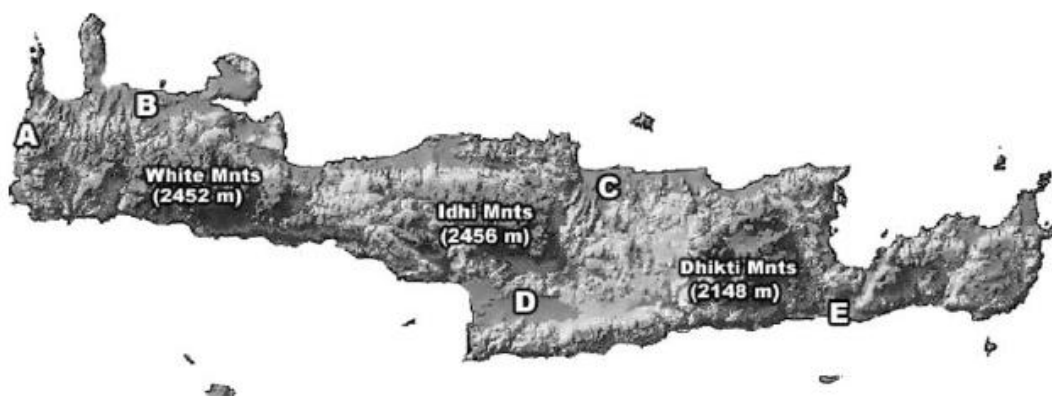


Figura 5. Isla de Creta con indicación de las principales áreas de cultivo (A, Falassarna; B, Chania; C, Heraclion; D, Messara valley; E, Lerapetra). (Tomado de Chartzoulakis y Psarras, 2005).

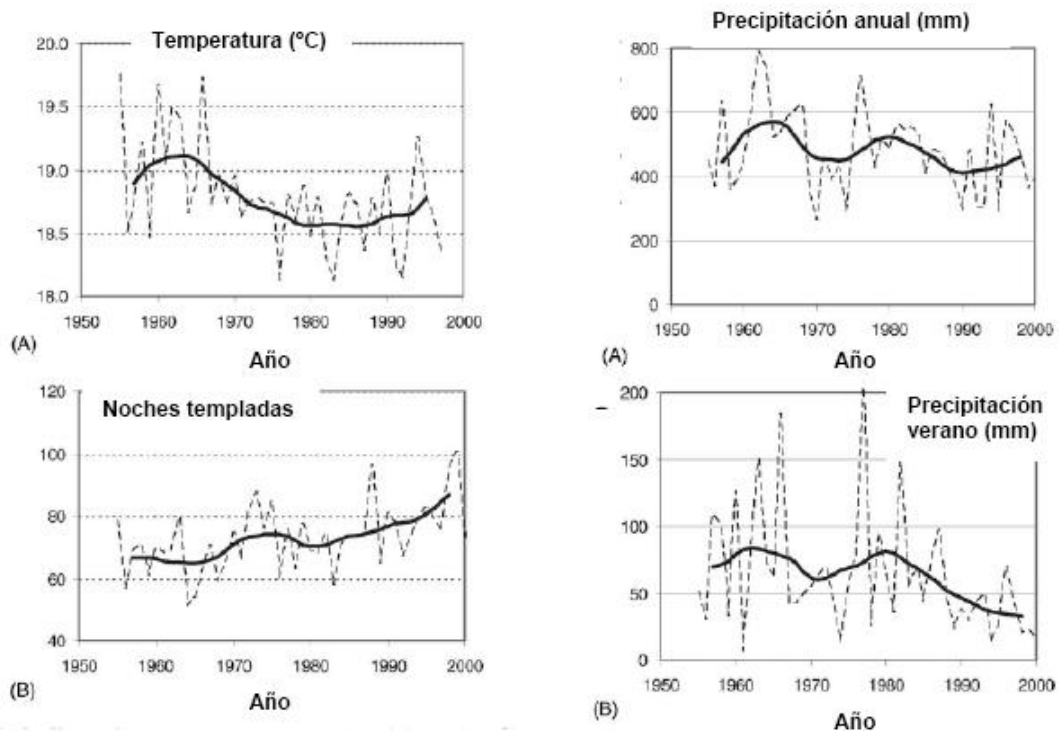


Figura 6. Cambios anuales en temperatura media (A, izquierda), número de noches cálidas (B, izquierda)(temperatura por encima de 20^o C), precipitación (A, derecha) y precipitación en verano (B, derecha) durante la segunda mitad del s.XX en el área de Heraklion. (Adaptado de Chartzoulakis y Psarras, 2005).

De acuerdo con este planteamiento, el **objetivo** será **conocer y analizar los factores que limitan o incrementan la fotosíntesis y la productividad vegetal**. A continuación se detallan algunos datos para el análisis:

- La concentración de dióxido de carbono atmosférico está aumentando por encima de los niveles normales o naturales como consecuencia de la revolución industrial.
- La radiación UV-B también está aumentando.
- La precipitación anual también está cambiando. Durante el siglo XX se ha producido un aumento de precipitación en las áreas del norte y un descenso en la zona mediterránea.
- En olivos expuestos a una $[CO_2] = 560 \mu\text{l/l}$ se observa:
 - ✓ Aumento de la tasa fotosintética.
 - ✓ Mayor eficacia de la transpiración.
 - ✓ Menor conductancia estomática.
 - ✓ Menor número de estomas.
- En limoneros creciendo a altas concentraciones de CO_2 se observa menor cantidad de clorofila por unidad de área foliar y menor contenido en nitrógeno
- En naranjos creciendo a una $[CO_2] = 700 \mu\text{l/l}$ la producción de biomasa durante los dos primeros años incrementó en un 200% respecto a los que crecieron en

condiciones de $[\text{CO}_2] = 400 \mu\text{l/l}$. Después de siete años esta producción se redujo al 80%.

Se **pregunta**:

- ¿Qué efecto tiene el incremento de los niveles de dióxido de carbono sobre la fotosíntesis? ¿Puede considerarse una respuesta general de las plantas perennes al aumento de los niveles de CO_2 ?
- ¿Qué efecto tiene el aumento de la radiación UV-B sobre la fotosíntesis?
- ¿Qué efecto tiene el descenso de precipitaciones sobre la fotosíntesis?
- ¿Qué consecuencias puede tener la reducción de las precipitaciones y el incremento de la temperatura ambiental en el estado hídrico de los cultivos? Realizar un mapa conceptual.
- ¿Es posible determinar la respuesta de las plantas a un nuevo ambiente más cálido en regiones semiáridas del mediterráneo?

Se deben **conocer** las siguientes cuestiones:

- Naturaleza de la luz solar y espectro de radiación solar.
- Fotosíntesis: elementos que intervienen, etapas fotoquímica y bioquímica.
- Respuesta de la fotosíntesis al incremento de dióxido de carbono atmosférico.
- Mecanismos de concentración de CO_2 .
- Respuesta de las plantas a un aumento de temperatura ambiental.

Caso 2. ¿Fotosíntesis a longitudes de onda largas?

Es sabido que la eficiencia fotosintética cae rápidamente a longitudes de onda superiores a 680 nm. Cuando se mide el rendimiento cuántico de la fotosíntesis en función de la longitud de onda se observa el efecto denominado “caída del rojo”, esto es, el rendimiento de la fotosíntesis cae drásticamente en la región del rojo lejano (RL) indicando que la luz de longitud de onda mayor de 680 nm es mucho menos eficiente para dirigir la fotosíntesis.

H.P. y sus colaboradores realizan un experimento que consiste en medir la producción de oxígeno por hojas de girasol (*Helianthus annuus*) a distintas longitudes de onda (Fig. 7) utilizando un analizador ultrasensible de zirconio. Además, miden el rendimiento cuántico de la fotosíntesis en función de la longitud de onda (Fig. 8).

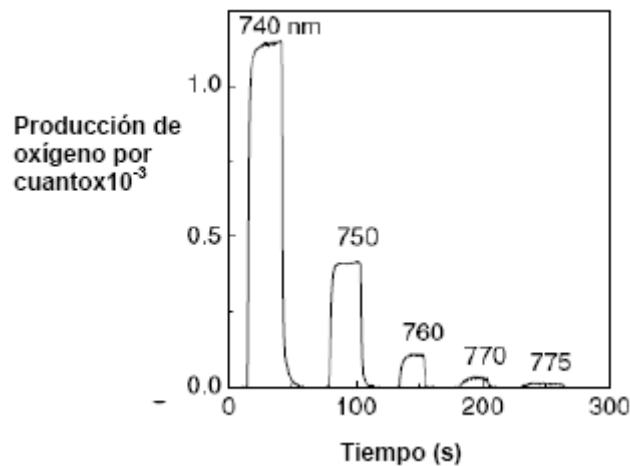


Figura 7. Producción de oxígeno por hojas de girasol a distintas longitudes de onda. (Adaptado de Pettai, et al., 2005).

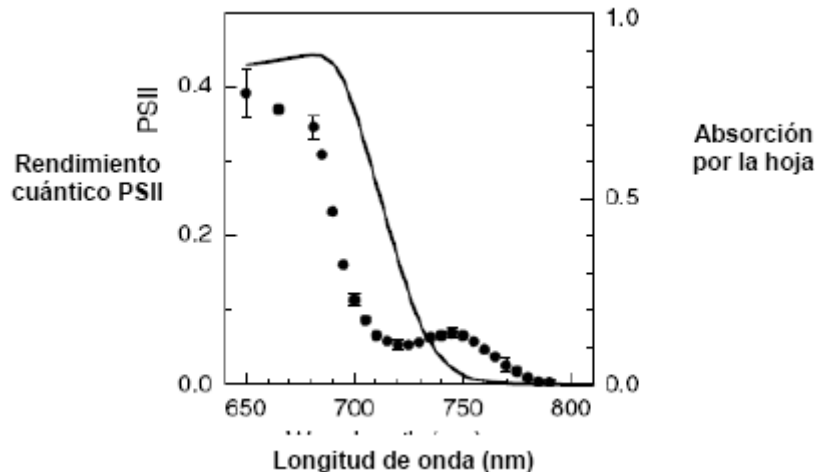


Figura 8. Rendimiento cuántico de la fotosíntesis en función de la longitud de onda. (Adaptado de Pettai, et al., 2005).

A la luz de los resultados mostrados (Figs.7 y 8) **¿qué conclusión se puede obtener?** Se deben **conocer** las siguientes cuestiones:

- Naturaleza de la luz solar y espectro de radiación solar.
- Características espectrales de los pigmentos fotosintéticos.
- Proceso de captación de luz por pigmentos fotosintéticos.
- Transporte fotosintético de electrones.

Caso 3. ¿Cómo sobreviven las plantas en ambientes semiáridos?

Es el caso de *Stipa tenacissima* L., una planta herbácea perenne muy extendida por el sur de España y el norte de África. L.B. y sus colaboradores investigan esta planta en la

sierra de Alhamilla, en Almería. Esta zona tiene un clima semiárido con una precipitación media anual de 242 mm y una estación muy seca entre junio y septiembre durante la cual casi nunca llueve.

Los investigadores analizan en la planta relaciones hídricas, fotosíntesis neta, conductancia estomática al vapor de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos con el fin de estudiar los mecanismos de resistencia a la sequía.

La tabla 1 muestra las condiciones climáticas durante los tres días en los que se realizó el experimento (medidas tomadas a mediodía).

	Mayo	Agosto	Noviembre
T(°C)			
Media	20.0 ± 0.30	29.1±0.32	5.9±0.23
Max	32.9	44.3	19.5
Min	9.4	18.7	-3.0
PPFD(μmol.m⁻².s⁻¹)			
Media	755±31	601±126	326±19
Max	2105	1905	1435
RH (%)			
Media	36±0.7	42±0.9	65±1.0
Max	66	80	99
Min	13	9	32

Tabla 1. Condiciones climáticas (T, temperatura; PPFD, densidad de flujo fotónico; RH, humedad relativa del aire) de los días de mayo, agosto y noviembre durante los que se realiza el experimento (valores medios +/- error estandar). (Adaptado de Balaguer *et al.*, 2002).

La tabla 2 muestra los valores de potencial hídrico, contenido relativo de agua, área foliar y concentración total de clorofilas en hojas de *S. tenacísima* en los días de experimentación.

	Mayo	Agosto	Noviembre
Ψ (Mpa)			
amanecer	-3.1±0.22	<-8.5	-1.0±0.07
mediodía	-4.2±0.27	<-8.5	-2.3±0.19
RWC (g.g⁻¹)			
amanecer	0.86±0.8	0.50±0.02	0.87±0.02
mediodía	0.81±0.01	-	0.86±0.04
SLA (m².kg⁻¹)	1.45±0.01	1.35±0.02	1.82±0.02
Chl a+b			
mg.g ⁻¹	0.690±0.034	0.298±0.013	0.842±0.021
mmol.m ⁻²	542±30	251±14	511±16

Tabla 2. Valores medios de potencial hídrico (Ψ), contenido relativo de agua (RWC) y concentración total de clorofilas (chl a+chl b) en hojas de *S. tenacísima*. (Adaptado de Balaguer *et al.*, 2002).

Las medidas de fotosíntesis neta y conductancia al vapor de agua se muestran en la figura 9.

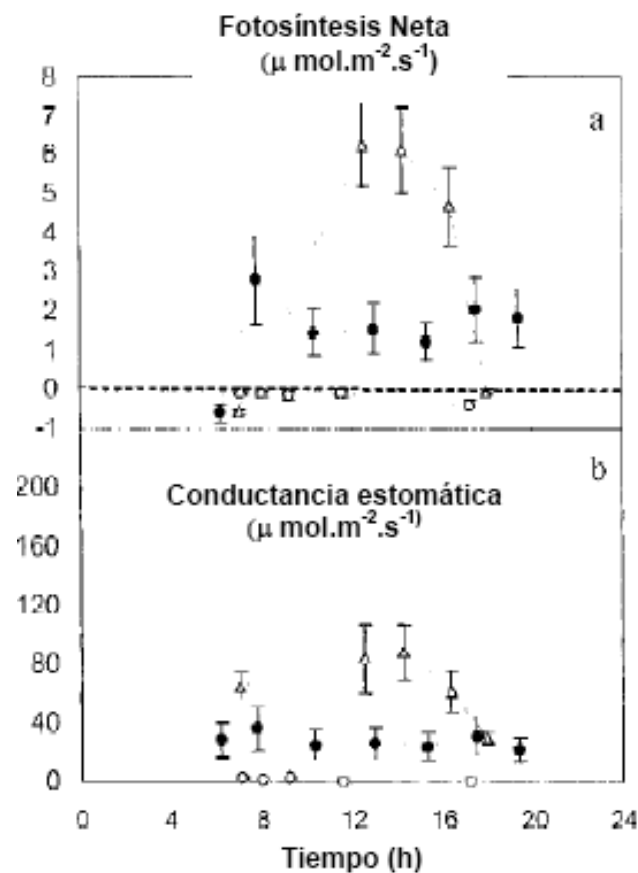


Figura 9. Variaciones diurnas de la fotosíntesis neta (a) y de la conductancia estomática (b) durante los tres días de experimentación. (Adaptado de Balaguer *et al.*, 2002).

Por último, se valora la cantidad de xantofilas en relación con el área foliar o respecto a la cantidad de clorofilas (Fig. 10).

Se **pregunta**:

- ¿Cómo responde *S. tenacísima* a la sequía en verano? ¿Muestra la planta cambios estacionales en su estado hídrico?
- ¿Cómo varía la fotosíntesis neta y la conductancia estomática en función de las condiciones climáticas?
- ¿Qué consecuencias tiene la pérdida de clorofilas?
- ¿Qué función pueden desempeñar las xantofilas?
- A modo de conclusión, realizar un mapa conceptual de la respuesta de *S. tenacísima* a la sequía estacional, respuesta en la que se basa su comportamiento como especie colonizadora de ambientes semiáridos.

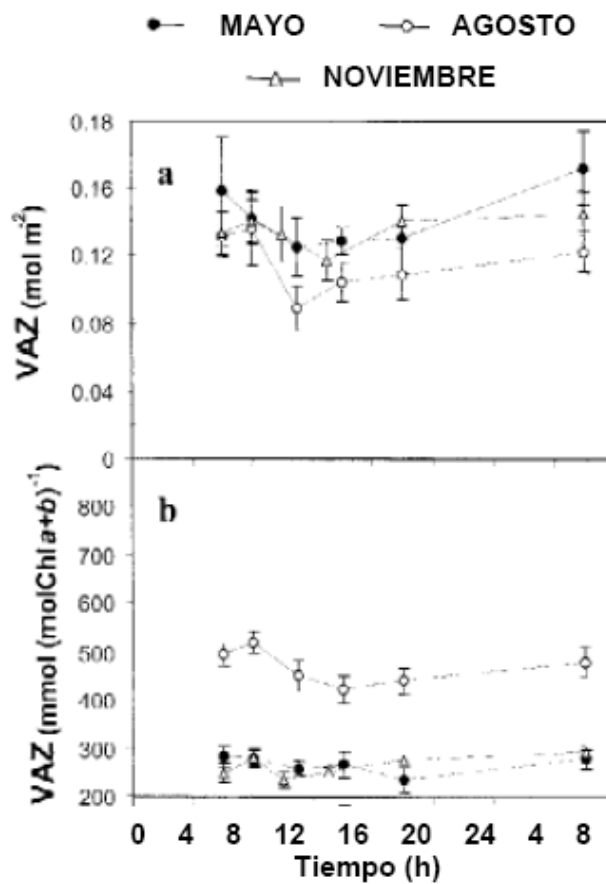


Figura 10. Variaciones diurnas de la cantidad de xantofila con respecto al área foliar (a) y de la cantidad de xantofilas respecto a la clorofilas totales (b). (VAZ, Violaxantina+Anteraxantina+Zeaxantina). (Adaptado de Balaguer *et al.*, 2002.

Se deben **conocer** las siguientes cuestiones:

- Características morfológicas y fisiológicas generales de las plantas resistentes a la sequía.
- Función de los pigmentos fotosintéticos.
- Fotosíntesis neta.
- Transpiración y conductancia estomática.
- Relaciones hídricas en plantas: potencial hídrico y contenido relativo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

Balaguer, L., Pugnaire, F.I., Martínez-Ferri, E., Armas, C., Valladares, F. y Manrique, E. (2002). Ecophysiological significance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L. *Plant and Soil*, 240:343-352.

- Chartzoulakis, K. y Psarras, G. (2005). Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete, Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106: 147-157.
- González, H.L., Palencia, A.P., Umaña, A., Galindo, L. y Villafrade, M. (2008). Mediated learning experience and concept maps: a pedagogical tool for achieving meaningful learning in medical physiology students. *Advances in Physiology Education*, 32: 312-316.
- Legaz González, M.E. y Vicente Córdoba, C. (2000). *Fisiología Vegetal Ambiental*. Editorial Síntesis, Madrid. 352 pp.
- Michael, J. (2001). In Pursuit of Meaningful Learning. *Advances in Physiology Education*, 25(3): 146-158.
- Novak, J.D. (2002). Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Sci. Education*, 86: 548-571.
- Peláez, N.J. (2002). Problem-based writing with peer review improves academic performance in physiology. *Advances in Physiology Education*, 26(3): 174-184.
- Pettai, H., Oja, V., Freiberg, A. y Laisk, A. (2005). The long-wavelength limit of plant photosynthesis. *FEBS Letters*, 579:4017-4019.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Pan-American Network for Problem-Based Learning
<http://www.udel.edu/pan-pbl/>

Problem-Based Learning, Universidad de Delaware
<http://www.udel.edu/pbl/>

Recibido: 8 diciembre 2009.

Aceptado: 16 enero 2010.