

ENSEÑANZA DE LA BIOLOGIA

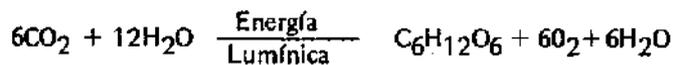
EL METODO DE LAS INVITACIONES A RAZONAR*

Por: J. Santa (1)

Las presentes invitaciones a razonar se relacionan con tres procesos de nutrición vegetal, a saber: fotosíntesis, respiración y nutrición mineral.

Las plantas, como organismos autótrofos que son, tienen la capacidad de captar la energía solar y almacenarla en forma de enlaces químicos en diversos compuestos (azúcar, almidón, grasas, proteínas, vitaminas, alcaloides, etc.) mediante el proceso de la fotosíntesis. Las sustancias producidas son necesarias para el crecimiento y mantenimiento del organismo vegetal y de las demás formas de vida. Las sustancias ricas en energía pasan de las plantas a los animales, cuando aquellas son devoradas por éstos. Al suspenderse los procesos vitales en tales plantas y animales dichas sustancias pasan a los descomponedores.

La siguiente ecuación resume el proceso de la fotosíntesis mediante el cual se produce un carbohidrato simple como la glucosa:



Este proceso no es simple. En el cloroplasto, donde se realiza, se forman numerosos productos intermedios, cada uno de los cuales es catalizado al menos por una enzima. La ecuación general muestra consumo de CO_2 y de H_2O . Los productos son en este caso azúcar, O_2 y H_2O . Como la fotosíntesis se lleva a cabo en el cloroplasto, allá debe llegar el CO_2 para ser utilizado y en ese mismo lugar se produce el O_2 . El CO_2 debe penetrar desde el medio ambiente hasta los tejidos fotosintetizadores. El O_2 producido sale desde dichos tejidos hacia el aire. El agua consumida por la planta durante la fotosíntesis proviene del suelo, de donde es absorbida a través de la raíz. Una parte del agua absorbida por la raíz es gastada por la planta en la fotosíntesis, otra parte entra a ser constituyente parcial del peso de la planta

y la mayor parte es eliminada por el vegetal mediante el proceso de la transpiración. El intercambio gaseoso (entrada de CO_2 y salida de O_2) y la transpiración ocurren principalmente a través de los estomas y de las lenticelas.

Mediante el proceso de la respiración, las células vivas convierten la energía química de sus compuestos en energía biológicamente útil. La forma de energía biológicamente útil es la captada por adenosín trifosfato (ATP). Tanto las plantas como los animales necesitan ATP para el desarrollo de sus funciones; de ahí que tanto los unos como los otros deban producir ATP a través de la respiración.

La ecuación global, mediante la cual se transforma la energía química de la glucosa en ATP, es la siguiente:



La producción de energía biológicamente útil se lleva a cabo en la mitocondria de todas las células vivas. Como lo muestra la ecuación, a la mitocondria le llega el O_2 y en ella se produce el CO_2 . Debe pues, establecerse un intercambio gaseoso entre los organismos que están respirando y su medio ambiente. Los animales superiores han desarrollado los sistemas circulatorio y respiratorio para realizar ese intercambio. En las plantas dicho intercambio ocurre a través de los estomas y de las lenticelas. Nótese que en las plantas los estomas y las lenticelas son estructuras relacionadas con intercambio de gases involucrados en dos procesos: fotosíntesis y respiración.

El oxígeno tomado del aire para ser respirado por las plantas y por los animales procede del cloroplasto de las plantas, donde es producido mediante la fotosíntesis. El gas carbónico utilizado por el cloroplasto en la fotosíntesis es tomado del aire por la planta; tal gas llegó allí procedente de la mitocondria de células vegetales y animales.

(1) Profesor Depto. de Biología; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, S.A.

Si se miran las ecuaciones se observará que las plantas pueden consumir durante la respiración el oxígeno producido por fotosíntesis y durante la fotosíntesis el gas carbónico producido por la respiración. En tal caso la planta no realiza intercambio gaseoso y se dice que está en su punto de compensación. En este último caso la planta tampoco experimenta aumento en su peso seco. Se denomina peso seco, al peso del vegetal sin incluir el agua que contiene.

Las plantas para su desarrollo requieren unos 16 elementos. El estudio del papel que tales elementos desempeñan en la planta constituye la Nutrición Mineral.

El carbono, el hidrógeno y el oxígeno provienen del aire y del agua del suelo. La atmósfera es la fuente indirecta del nitrógeno. Los elementos restantes provienen de las rocas que formaron el suelo y constituyen en una baja proporción el peso de la planta. Para tener una idea de su baja proporción, recordemos el experimento de J. B. Van Helmont (1577-1644). El sembró una rama de sauce de 5 libras en un recipiente que contenía 200 libras de suelo y la regó con agua lluvia durante 5 años, al cabo de los cuales el vegetal pesaba 169 libras mientras que el suelo sólo había disminuido 2 onzas en su peso.

PRIMERA INVITACION

TEMA: *La fisiología de las plantas*

TOPICO: *La Interpretación de datos complejos.*

Este es un ejercicio avanzado la Interpretación de datos; no se presentan nuevas ideas sobre indagación. El estudiante no necesita más información de la que se haya incluido en esta invitación. Explíquelo a los estudiantes que sus interpretaciones deben estar limitadas a la evidencia que se les proporciona. La situación que se presenta no es verdaderamente correcta como usted mismo se dará cuenta. Se supone que las plantas colocadas en una campana de vidrio sellada mueren en un período corto de tiempo, cuando realmente pueden sobrevivir por un tiempo considerable.

Al Estudiante: a) Vamos a suponer que ustedes ponen una planta en el interior de una campana de vidrio herméticamente cerrada y colocan una planta similar, a su lado y al descubierto. Algunos días después muere la planta que está en la campana, mientras que la otra continúa viviendo. Por último, supongamos que cuando se repite varias veces el experimento, se obtienen los mismos resultados.

¿Cómo explicaría usted la muerte de las plantas dentro de la campana de vidrio?

Existen dos posibles respuestas a propósito de este caso. Una es el que las plantas necesitan algo que existe

en el aire y que finalmente disminuye si hay una cantidad de aire disponible. La otra es que las plantas producen una o más sustancias que contaminan una cantidad reducida de aire. A partir de la evidencia presentada no podemos determinar cuál de las dos posibilidades es correcta.

Al Estudiante: b) Si en idénticas condiciones experimentales, reemplazamos las plantas por ratones, obtendremos resultados similares, pues los ratones al aire libre vivirán, mientras que los que permanecen encerrados en la campana invariablemente acabarán por morir. Interprete los resultados de este nuevo experimento.

Las mismas respuestas son posibles para los ratones y las plantas.

Al Estudiante: c) Si usted fuera tan ignorante como para suponer que todos los seres vivos son semejantes, ¿qué interpretación errónea podría haber deducido de los dos experimentos? *Clave:* Los resultados observados fueron iguales en los dos experimentos.

La interpretación errónea es que las plantas y los ratones necesitan el mismo "algo" presente en el aire, o contaminan el aire de la misma manera.

Al Estudiante: d) Supongamos ahora que usted coloca juntos un espécimen normal del mismo tipo de planta y un ratón normal de la misma especie bajo la misma campana sellada. Usted encontrará que el ratón y la planta sobrevivirán considerablemente más tiempo cuando están juntos bajo la misma campana sellada que cuando se mantienen bajo campanas separadas. (Esperamos que usted tenga la precaución de proteger la planta del ratón, usando una malla de algún tipo). Cada vez que se repita este experimento debe dar resultados similares. Teniendo en cuenta los resultados de los experimentos anteriores, ¿qué interpretación le dará usted a este último?

Una interpretación es la de que existe algún tipo de relación entre los requisitos de las plantas y de los animales, en tal forma que cada uno produce algo que el otro necesita.

Otra interpretación podría ser que cada organismo remueve el "material contaminado" producido por el otro.

En el momento debido, el profesor puede señalar el hecho de que la mayoría de las plantas pueden vivir por períodos largos en una campana sellada, en cambio el ratón y otros animales no pueden hacerlo. Cuando los estudiantes hayan aprendido algo sobre la fotosíntesis y la respiración, la clase puede volver sobre este punto y comprender por qué las plantas pueden sobrevivir en estas circunstancias cuando los ratones no lo pueden hacer.

SEGUNDA INVITACION

TEMA: *Nutrición de las plantas.*

TOPICO: *El planeamiento de un experimento.*

Hasta ahora hemos tratado, principalmente, sobre algunos aspectos de la interpretación de datos. Vamos a introducir un segundo factor primordial, el planeamiento de un experimento. El énfasis se hace ahora en dos puntos: primero, el planeamiento de un experimento simple, omitiendo por el momento consideraciones en relación con el asunto de un control adecuado, el cual no es tan simple; segundo, la anticipación de lo que puede resultar de un experimento, realizado con el fin de interpretar los datos resultantes. El último utiliza la idea de la hipótesis en la forma de una serie de análisis lógicos, de la forma "Si... entonces...". Sin embargo, el término hipótesis no se trata todavía. Esto se hará en una invitación posterior, ya que es nuestro deseo evitar al máximo tratar de cosas cuyos ejemplos tendremos a mano más tarde.

Al Estudiante: a) Es conocido el hecho de que los seres vivos crecen a medida que aumentan en peso. Esto es posible porque toman de *alguna otra parte* los materiales necesarios para su crecimiento. Supongamos que usted sembró una planta y que desea conocer el porcentaje de materia prima que éste extrae de la tierra. Desea saber también en qué proporción estas materias primas provienen del aire.

Planee un experimento sencillo el cual podrá iniciar la resolución de este problema. Comience por darle una forma más específica al problema.

Debido a la forma como se presente la pregunta, algunos estudiantes pueden empezar a utilizar simultáneamente dos posibles fuentes de trabajo, tierra y aire por un lado y la planta por el otro. Es a ellos a quienes les sugerimos empezar haciendo una nueva formulación del problema. Además, deseamos repetir la lección acerca del problema de formular un experimento.

El problema general puede hacerse aún más específico formulándolo en términos de ya sea el aire o la tierra. No los necesitamos ambos. Por ejemplo, ¿hasta dónde el peso ganado por la planta explica la pérdida del peso de la tierra? El mismo plan, sustituyendo aire por tierra, incluiría la segunda manera en la cual puede hacerse más específico el problema. Un estudiante extremadamente capaz e inteligente debería plantear el problema como sigue: ¿el peso perdido por la tierra es igual o es mayor que el peso ganado por la planta? Las mismas fórmulas, sustituyendo "aire" por "tierra" proporcionarían otra manera de especificar el problema. Ambas posibilidades deben ser estudiadas en la clase. No los recargue en este momento con el problema del agua en la tierra y en el aire.

Ha llegado el momento para movernos hacia el plan real del experimento. Concéntrese sobre el problema que utiliza la versión de la tierra, ya que es más fácil trabajar con él. Un procedimiento es sembrar en tierra cuyo peso es conocido, una planta en desarrollo cuyo peso también se conoce. Después de que ha transcurrido un período de crecimiento, se pesan la planta y la tierra. Puede ser de importancia considerable hacer la observación a los estudiantes sobre lo que significa la palabra experimento. Los estudiantes, tienen a menudo la impresión de que cualquier cosa que parezca una medición o una observación que se hace en el laboratorio es un "experimento". Por supuesto, esto no es así. Un experimento puede definirse como sigue: es la institución (montaje, creación) de una situación planificada. La situación se plantea en tal forma que produzca ciertos datos específicos requeridos.

En muchos experimentos una alteración planeada del curso ordinario o "normal" de los sucesos, contrasta con lo normal. Sin embargo, la alteración de lo normal o de lo ordinario no es siempre característica de los experimentos; el contraste sí lo es. Puede ser un contraste entre lo anterior y lo posterior o un contraste entre dos montajes que difieren en alguna forma específica, planeada y desde luego conocida.

Al Estudiante: b) ¿Qué resultados obtendría del experimento si para crecer la planta tomara todos sus materiales de la tierra?

El aumento en peso de la planta es igual al peso que pierde el suelo.

Al Estudiante: c) Si la planta no captó ningún material de la tierra, ¿cuáles deberían ser los resultados?

La disminución del peso del suelo es igual a 0.

Al Estudiante: d) Si tan sólo la mitad de las materias primas fueran tomadas del suelo, ¿qué resultados esperarían?

El aumento en peso de la planta es dos veces mayor que la disminución en peso del suelo.

Al Estudiante: e) Por último, si la planta utilizó parcialmente los elementos del suelo, habiendo crecido satisfactoriamente, ¿qué resultados debe usted esperar?

El aumento en peso de la planta es mayor que la disminución en peso del suelo.

Oviamente, este experimento no tiene un control adecuado. Este problema es estudiado en la próxima invitación.

TERCERA INVITACION

TEMA: *Nutrición de las plantas.*

TOPICO: *El control en el experimento.*

Esta invitación examina el problema no tratado en la invitación previa, o sea el problema relacionado con el adecuado control en el planeamiento de un experimento. En estos dos experimentos hemos escogido una situación en la cual el factor principal no controlado es más o menos fácil de observar, muy fácil de entender cuando se le señala, pero extremadamente difícil de colocar bajo control. Tenga en cuenta que aunque la invitación requiere un examen "mental" por parte del estudiante, su propósito principal es el de introducirlos a la idea del control y la gran dificultad en alcanzarla. Sin embargo, creemos importante en este momento no hablar de control tal cual. Es mejor posponer el uso del término y el concepto hasta que la idea se haya implantado en el estudiante como uno de los aspectos de la indagación. Más tarde se introducirán de nuevo el concepto y el uso del término. Usted observará que también introducimos en esta invitación, de una manera inconspicua, el uso de los términos "suponer" y "suposición".

Al Estudiante: a) Supongamos que dimos a publicidad el experimento de la Segunda Invitación, juntamente con sus resultados. Inmediatamente nos escribe otro científico diciéndome que todo el experimento carece de valor porque algún detalle fue pasado por alto.

Recuerde que sembró una planta en un poco de tierra y que anotó el peso inicial, por separado, de planta y tierra. Imaginamos que en una segunda pesada, la tierra perdió 0.2 mg., mientras la planta ganó 2.0 mg.. De estos datos se deduce que una décima parte del incremento en peso de la mata se realizó a expensas de la tierra.

Enseguida nos informan que la conclusión a la cual llegamos no tiene valor, porque el experimento no fue bien planeado. Note que la crítica no incide sobre un posible error en las pesadas, tan sólo se refiere a la conducción inadecuada del experimento. Observe la planta a medida que va desarrollándose en el recipiente donde usted la colocó. Recuerde que aceptamos la suposición de que el peso perdido por la tierra debía ser ganado por la planta. ¿En qué estuvimos equivocados al hacer esta suposición?

Esto, por supuesto, es un ejercicio que requiere examen, o sea colocar ambos resultados juntos. La clase puede o no percibir la posibilidad de que, con la tierra expuesta al aire, puede estar perdiendo materiales, no solamente a la planta sino al aire del medio ambiente. Tal percepción puede lograrse más fácilmente si se mira el crecimiento de una planta en la naturaleza. Si no

se puede hacer ésto, entonces se puede proporcionar otra sugerencia. Por ejemplo, hacer que alguien venga y palpe el suelo húmedo. Luego, pregunte de nuevo si se dan cuenta en dónde está la equivocación. O recuérdelos lo que sucede cuando las manos están húmedas y no se utiliza una toalla para secarlas. Es posible que en algún momento usted tenga que hacer resaltar este punto, o tenga que explicarlos muy bien a los estudiantes. Entonces es el momento para continuar al siguiente párrafo.

Al Estudiante: b) Vemos entonces que es necesario extremar nuestros cuidados para evitar que la tierra modifique su peso debido a causas diferentes que las destinadas a favorecer el crecimiento de la planta. Trataremos un solo aspecto del problema: supongamos que la tierra no toma nada del aire que le rodea, aunque por otro lado, podría perder agua en favor de éste. El problema consistiría entonces, en tener la seguridad de que el agua que pierde la tierra la utiliza la planta en su totalidad. ¿Cómo puede estar seguro de que ésto sucede?

Comience haciendo una invitación a los estudiantes para que intenten un control simple. Uno podría ser el de colocar el recipiente que contiene el suelo o la tierra pesada en una bandeja que contenga una cantidad conocida de agua y luego colocar el recipiente, la planta, la tierra, la bandeja, el agua y demás, bajo una gran campana de vidrio. Si una cosa como ésta se sugiere, prosiga con el siguiente punto. De nuevo, si la clase no ha sugerido algo, usted debe proporcionarlo. En cualquier caso, invite a los estudiantes para que critiquen el control.

Al Estudiante: c) Ensayemos solucionar el problema utilizando una campana de vidrio. Si usted realizó el experimento de la Primera Invitación, tuvo la oportunidad de observar que, después de algún tiempo, aparecieron gotas de agua en la pared interior de la campana. Esto ocurrió porque usted mantuvo en ella un sistema compuesto de agua, tierra y plantas. ¿Nota alguna falla en nuestro control?

La cuestión ahora es qué parte del agua debe haberse perdido en el aire del interior de la campana de vidrio a menos que esta campana haya sido colocada, al montar el experimento, en una atmósfera ya saturada con humedad. Y por supuesto, los cambios de temperatura podrían afectar ésto aún más. Cuando se observa o haga anotar esta debilidad y la corrección (o sea saturación al comienzo del experimento, más control de temperatura) sea hecha, usted puede notar otra debilidad, como sigue:

Al Estudiante: d) Supongamos ahora que el arreglo de la campana de vidrio controla, en efecto, la pérdida de agua. Recuerde, sin embargo, que el problema principal era determinar qué proporción de los requerimientos de la planta

proviene del suelo y qué proporción proviene del agua. Este problema surgió como consecuencia de nuestro conocimiento de que la planta necesita extraer materiales tanto de la tierra como del aire. Si éste es el caso, nuestro nuevo experimento resulta tan malo o peor que el primero. Trate de ver dónde se encuentra el error en el experimento modificado.

El punto ahora es el de que la cantidad limitada de aire dentro de la campana de vidrio puede perfectamente permitir tan poco crecimiento que nuestros datos "posteriores" no demostrarán un aumento medible en el peso de la planta o una disminución en el peso del suelo. Esto ha sido ya sugerido en la Primera Invitación, y usted puede encontrar útil el recordárselo a los estudiantes.

Mediante una discusión o durante la descripción del profesor, la clase puede ser dirigida ahora hacia la comprensión de los controles tan elaborados como aquellos que se describen enseñada. Hemos medido el peso

seco del suelo y el peso de la planta. Colocamos dentro de la tierra un tubo a través del cual pueden añadirse cantidades conocidas de agua. Encerramos el recipiente de tal manera que la tierra esté libre de humedad y colocamos la planta en una campana de vidrio a través de la cual puede circular el aire. Debe hacerse un diseño tal, que nos permita que el agua en el aire que entra o sale de la campana de vidrio pueda ser absorbida y medida. Con tal diseño, casi toda el agua añadida a la tierra y no utilizada por la planta debería permanecer en la tierra o encontrarse en el aire de la campana de vidrio. Al final del experimento, la humedad restante del suelo se evaporará y se medirá, y esta cantidad se añadirá a la cantidad absorbida por el aire que sale de la campana de vidrio. La diferencia entre la cantidad de agua añadida durante el experimento y la cantidad no utilizada por la planta puede ser entonces calculada. El peso seco del suelo al final y el peso de la planta se miden entonces tal como se hizo en el primer experimento.