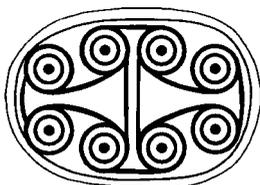


Formas de explicación del proceso de respiración de las plantas

RAÚL CALIXTO FLORES*



En este trabajo se describen algunos de los principales resultados de la investigación *Formas de explicación en la enseñanza de la biología*, en la cual se identifican las relaciones existentes entre las explicaciones y concepciones alternativas de los profesores de educación secundaria en la enseñanza de la biología. La organización del artículo comprende cuatro partes: en la primera se hacen las precisiones teóricas sobre la explicación en biología; en la segunda se describe el proceso de investigación realizado; en la tercera se analizan las principales formas de explicación sobre la respiración de las plantas, y se establece la relación entre las formas de explicación y las concepciones alternativas, y en la cuarta se hace una discusión teórica respecto a los resultados obtenidos.

In this article is described some of the main results of the investigation Explanation forms in the teaching of the biology, in which is been identified the existent relations between the explanations of the teachers of secondary education in the teaching of the biology and the alternative conceptions. The organization of the article comprehends four parts: the first part is make the theoretic precisions on the explanation in biology, in the second is refered to the investigation process realized, in the third is analysed the main explanation forms with respect to the respiration of the plants, and is settled the link between the explanation forms and the alternative conceptions. In the fourth is made a theoretic discussion with respect to the obtained results.

Enseñanza de la biología /
Explicaciones de los profesores / Concepciones alternativas / Educación secundaria
*Teaching of the biology / Explanations of the teachers /
Alternative conceptions / Secondary education*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene el propósito de describir algunos de los principales resultados de la investigación Formas de explicación en la enseñanza de la biología. Esta investigación se propuso caracterizar las formas de explicación y las concepciones alternativas de los profesores de biología, en educación secundaria, sobre algunos conceptos básicos como alimentación, respiración y reproducción. Por razones de espacio, en este artículo se describen sólo los resultados obtenidos respecto a la respiración de las plantas (85 explicaciones). Este tema permite observar en los profesores la coexistencia de distintas formas de explicación en la enseñanza de los fenómenos biológicos.

La enseñanza de la biología se ubica en el campo de la educación científica; junto con la enseñanza de la física y de la química, en su conjunto proporcionan en la educación básica los conocimientos fundamentales para analizar y comprender los fenómenos naturales.

En educación secundaria la enseñanza de la biología, de acuerdo con la Secretaría de Educación Pública (SEP):

promueve el conocimiento de los alumnos sobre el mundo viviente [...] e incorpora valores y actitudes como la diligencia, la imparcialidad, la imaginación, la curiosidad, la apertura hacia nuevas ideas, la capacidad de formular preguntas y, muy especialmente, debe inculcar en el alumno un cierto escepticismo sistemático

* **Recepción: 3 de septiembre de 2003 /**
Aprobación: 12 de octubre de 2004

** Coordinador de la línea de investigación en educación ambiental de la maestría en Desarrollo Educativo de la Universidad Pedagógica Nacional rcalixtoflore@upn.mx.

co que le permita balancear la aceptación indiscriminada de nuevas ideas (p. 55).

En este plan de estudios, vigente en nuestro país desde 1993, en primer año se enseñan los procesos macrobiológicos, como evolución, ecología y genética, y en segundo, se abordan los procesos microbiológicos (célula, compuestos orgánicos). Uno de los criterios curriculares para la dosificación de los contenidos en los programas de primero y segundo es el que los conceptos familiares (los procesos macrobiológicos) para el estudiante se aborden en el primer grado, mientras que los procesos microbiológicos se estudien en el segundo grado.

La función de la respiración de los seres vivos corresponde a los procesos microbiológicos, ya que se relaciona con el funcionamiento de la respiración celular, por ello este tema es abordado en el segundo grado. Para la enseñanza de este tema los profesores deben poseer conocimientos aceptables de la respiración:

- A través del tejido epidérmico se posibilita la difusión del oxígeno al interior de la planta, para que ocurra la respiración celular.
- Los animales poseen órganos o estructuras, como la piel, espiráculos, tráqueas, branquias y pulmones, con una membrana delgada y húmeda que favorece la absorción de oxígeno, para que se lleve a cabo la respiración celular.
- La respiración aerobia es el proceso mediante el cual las células en presencia del oxígeno liberan la energía contenida en los alimentos en forma de ATP, liberando bióxido de carbono y agua.
- La respiración anaerobia es el proceso mediante el cual las células liberan la energía contenida en los alimentos, en

ausencia de oxígeno, en forma de ATP, liberando bióxido de carbono y moléculas de dos y tres átomos de carbono, como los ácidos acético, láctico, pirúvico y alcohol etílico.

Los profesores de biología de educación secundaria crean las condiciones para la enseñanza de estos temas, orientados por los propósitos antes referidos para la enseñanza de la biología, así como para que los alumnos aprendan los contenidos de los procesos macrobiológicos y microbiológicos.

En ocasiones los aprendizajes no son los esperados y ocurre un desconocimiento en los estudiantes de educación secundaria de los conceptos básicos de biología. Y persisten en los estudiantes las concepciones alternativas que formaron desde la niñez.

La persistencia de estas concepciones alternativas puede tener su origen en varios factores, internos y externos, de las escuelas secundarias que se relacionan no sólo con los alumnos, sino también con los profesores.

Un gran número de las concepciones alternativas en biología puede tener su origen en la enseñanza. Es así como los profesores se pueden constituir como una fuente de las concepciones alternativas de los alumnos, que transmiten o refuerzan por medio de la enseñanza. Esta situación es más frecuente cuando los alumnos aceptan incondicionalmente las explicaciones de sus profesores.

Las formas de explicación de los profesores en la enseñanza de la biología han sido poco estudiadas; la mayoría de las investigaciones se han efectuado con estudiantes de secundaria (Jungwirth, 1975; Bartov, 1978, 1981; Tamir, 1985; Richardson, 1990, y Tamir y Zohar, 1991).

En los resultados encontrados, se señala que las explicaciones antropomórficas son las más utilizadas (Jungwirth, 1975). Se encuentra también que los estudiantes tienen poca capacidad de distinguir entre causas y fines (Bartov, 1978) y que la habilidad para distinguir entre las formulaciones teleológicas o antropomórficas y causales ha sido pobremente desarrollada en las escuelas secundarias (Bartov, 1981). También en educación secundaria, Tamir (1985) identifica un mayor porcentaje de elecciones de enunciados teleológicos. De igual forma, Richardson (1990) identifica que los estudiantes de secundaria e incluso de la universidad prefieren las explicaciones teleológicas a las causales en fisiología.

En cambio, Tamir y Zohar (1991) encuentran una preferencia de los estudiantes de secundaria por la explicación antropomórfica. Sin embargo, aclaran que los resultados de este estudio indican que la aceptación de las formulaciones antropomórficas no necesariamente implica el predominio de un razonamiento antropomórfico.

En los resultados de estas investigaciones se observa la permanencia en los estudiantes de secundaria de explicaciones antropomórficas y teleológicas. Tales explicaciones pueden permanecer quizá debido a las explicaciones que utilizan los profesores de biología. Estos últimos resultados plantean la probabilidad de que, al igual que los estudiantes de secundaria, sus profesores utilicen frecuentemente las explicaciones teleológicas o antropomórficas. Sin embargo, en las investigaciones referidas, no llegan a establecer un vínculo entre las formas de explicación de los estudiantes con las formas de explicación de los profesores.

Hasta ahora, solo pocos estudios han analizado la práctica de los profesores de secundaria como una fuente de las concepciones alternativas en la biología (por ejemplo, Barrass, 1984; Sanders, 1993; Soyibo, 1995). Predominan las investigaciones realizadas con estudiantes de distintas edades y culturas, respecto a las concepciones que poseen sobre diversos temas de ciencia.

Como lo refiere Mayra García (2001), la mayoría de las investigaciones de las últimas dos décadas se centran en los alumnos y los estudios sobre los profesores son limitados, sobre todo de los profesores de escuelas secundarias de México.

LAS EXPLICACIONES EN BIOLOGÍA

La biología emerge hasta muy recientemente como ciencia. Es en el siglo XIX cuando la división de los objetos naturales quedó reducida a los orgánicos y los inorgánicos, y se creó la palabra biología.¹

En gran medida este hecho ha originado que la biología haya tomado de otras ciencias las formas de explicación. En este sentido, la influencia de la física ha sido muy grande.

Antes del siglo XIX, los estudios biológicos formaban parte de otras ciencias o formaban tan sólo un conjunto de conocimientos de carácter anecdótico. Se le considera como una ciencia al incorporar el empleo del método experimental y las técnicas de la física y la química.

El pensamiento biológico en el siglo XIX no presentaba un cuerpo de doctrina conveniente y unitario. En esta etapa se dieron formas opuestas de explicación de los fenómenos biológicos: mecanicistas (causal) y vitalistas. Predominaba en esta época la visión positivista de la ciencia, queriendo reducir la explicación de los

fenómenos biológicos a los principios de la física, lo que originó dos posturas opuestas en biología, los mecanicistas que aceptaron este enfoque y los vitalistas que consideraban que los organismos tenían propiedades distintas a la materia inerte.

Por otra parte se contraponen otras dos explicaciones sobre los cambios y desarrollo de los organismos: una explicación histórica que establecía relaciones entre los hechos del pasado con el presente, en la que los seres vivos resultan de una ronda infinita de cambios histórico-cíclicos, y una explicación evolutiva, en la que los seres vivos cambian en un proceso de selección natural.

El problema de la explicación en biología radica en el afán por entender esta ciencia sólo desde un punto de vista físico, lo que plantea para la biología el reto de encontrar un lenguaje propio que le permita explicar su objeto de estudio de una forma diferente.

Resultan evidentes las diferencias entre los fenómenos biológicos y los fenómenos físicos. En efecto, los primeros son mucho menos predecibles que los fenómenos físicos; existe gran variación de fuerzas biológicas, a diferencia de las fuerzas físicas cuyo ámbito es mucho más específico; los modelos biológicos incorporan cantidad de parámetros de gran variedad y los físicos son más sintéticos y precisos; los organismos presentan características propias y diferentes de los inertes.

El conocimiento biológico no puede explicarse sólo en términos físicos, ya que los organismos poseen propiedades emergentes que rebasan ampliamente la suma de las partes que los componen.

En la biología moderna aún persiste el debate entre la biología reduccionista, que supone que las explicaciones sobre los seres vivos pueden reducirse a leyes

físicas y químicas, y la biología organicista, que además de reconocer la aplicación de estas leyes a los seres vivos postula una identidad propia para ellos.

En la actualidad reduccionistas y organicistas están de acuerdo en que los organismos constituyen una clase especial de sistemas concretos. En este sentido se plantea que los biosistemas subrayan el carácter sistemático o integrativo de los organismos, lo que permite su caracterización. Las propiedades de los biosistemas no se encuentran todas juntas ni relacionadas de la misma manera en los quimiosistemas inanimados. Los organismos constituyen quimiosistemas cuyas propiedades básicas, tomadas una por una, son físicas o químicas, pero que se combinan de manera peculiar en los organismos.

Para dar una explicación comprensiva de los fenómenos biológicos, se hace necesario pasar constantemente de la explicación causal a la explicación funcional y recíprocamente (Cellérier, 1970).

La explicación causal da cuenta de las propiedades físicas y químicas de los organismos, mientras que las funcionales, de las propiedades que corresponden propiamente a los organismos.

En biología, las explicaciones tienen una forma particular o bien indican las acciones que ejerce una parte de un todo para mantener el funcionamiento de ese todo o hace hincapié en el papel de ciertos dinamismos para la consecución de una finalidad (Hegenber, 1979). La explicación en biología aún no posee un modelo explicativo satisfactorio.²

Éstas y otras formas de explicación son utilizadas por los profesores en la enseñanza de diversos fenómenos biológicos.

CATEGORÍAS, SUBCATEGORÍAS E INDICADORES

Se entiende por categoría el resultado último de un proceso de teorización, y se caracteriza por su sentido breve y su carácter conclusivo. Las categorías de este estudio corresponden a las formas de explicación utilizadas en la enseñanza de la biología: antropomórfica, causal, descriptiva y teleológica. De cada una se derivaron subcategorías.

Cada subcategoría comprende indicadores, tomados de los aspectos que utilizan Dreyfus y Junwirth (1988) para estudiar las concepciones alternativas: conocimientos comunes, falta de conocimientos, alternativas inadecuadas y contradicciones.

Los conocimientos comunes se asemejan de manera aceptable al “establecido” (CC).

La falta de conocimiento es la carencia de éste (“yo no conozco” o “yo no tengo idea” (CI).

Las alternativas inadecuadas (AI) suponen que no se posee el conocimiento. Algunas de estas alternativas son inadecuadas frente al punto de vista científico.

Las contradicciones implican un uso inconsistente del conocimiento.

Las categorías, subcategorías e indicadores se presentan en el Cuadro 1.

Los indicadores establecen una relación entre las formas de explicación y las concepciones alternativas que utilizan los profesores en la enseñanza de diversos fenómenos biológicos. Se plantea la propuesta de organización y análisis de la información obtenida en la presente investigación, por medio de estas categorías, subcategorías e indicadores.

CUADRO 1 • Categorías utilizadas en la investigación.*		
<i>Categoría</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Indicadores</i>
Explicación antropomórfica con concepción alternativa (A). Se refiere a la manera de atribuir razonamiento humano a todos los seres vivos.	Modelo humano (Am) La explicación antropomórfica se caracteriza por visualizar mecanismos que están directamente relacionados con el comportamiento de hombres y mujeres (Bartov, 1978).	Conocimiento aceptable (Amca) Conocimiento parcial (Amcp) Alternativa inadecuada (Amái) Conocimiento contradictorio (Amcon)
Explicación causal con concepción alternativa (C). Explica las causas de los fenómenos biológicos a partir de la biología funcional y de la biología evolutiva. La causa es una condición no suficiente o un conjunto de razones suficientes sin las cuales el hecho no hubiera sucedido.	Causal funcional o de las causas próximas (Cf). Causal evolutiva o de las causas últimas (Ce). De acuerdo con Mayr (1998), se reconoce la existencia de dos tipos de biología: una que se aboca a las causas funcionales y otra, a las causas evolucionistas; esto permite reconocer la complejidad de muchos conceptos biológicos.	Conocimiento aceptable (Cfca o Ceca) Conocimiento parcial (Cfcp o Cecp) Alternativa inadecuada (Cfai o Ceai) Conocimiento contradictorio (Cfcon o Cecon)
Explicación descriptiva con concepción alternativa (D). Se presenta como un discurso lineal que se enfoca a un elemento principal del fenómeno biológico. Ésta es una explicación informativa porque es el primer producto de cualquier investigación.	Descriptiva exclusiva (De). Descriptiva tautológica (Dt). La explicación exclusiva determina límites entre los resultados posibles de condiciones de entradas dadas. La explicación tautológica o circular utiliza un enunciado universal para explicar los enunciados singulares, y para explicar el enunciado universal se utilizan los enunciados singulares (López, 1998).	Conocimiento aceptable (Deca o Dtca) Conocimiento parcial (Decp o Dtcp) Alternativa inadecuada (Deai o Dtai) Conocimiento contradictorio (Decon o Dtcon)
Explicación teleológica con concepción alternativa (T). En la explicación teleológica se confunden causas con propósitos, se usan los fines para explicar el fenómeno biológico. Se hace referencia a la relación medios-fines.	Teleonómica (Tn). Evolutiva (Te). Los procesos teleonómicos se refieren a la naturaleza viviente. El comportamiento orientado a un fin se encuentra extremadamente difundido en el mundo orgánico. Por otra parte al abordar la selección natural se concibe como un proceso que premia el éxito actual, pero nunca determina objetivos futuros (Mayr (1974).	Conocimiento aceptable (Tnca o Teca) Conocimiento parcial (Tncp o Tecp) Alternativa inadecuada (Tnai o Teai) Conocimiento contradictorio (Tncon o Tecon)

*Con los indicadores es posible identificar las concepciones alternativas prevalectantes en las formas de explicación.

EL PROCESO METODOLÓGICO

El proceso metodológico elegido se orientó hacia la identificación de las formas de explicación que utilizan los profesores en la enseñanza de diversos temas de biología. Se encontraron en estas formas de explicación diversas concepciones alternativas.³

Para investigar las formas de explicación se eligió la propuesta metodológica que propone Treagust (1988), con la cual se construyeron los instrumentos de investigación. Esta propuesta comprende las siguientes actividades:

- Identificación de enunciados con un conocimiento proposicional;
- desarrollo de mapas conceptuales;
- relación entre los enunciados con conocimiento proposicional y el mapa conceptual, y
- validación del contenido.

El análisis de información y consulta con especialistas fue una actividad constante que permitió efectuar un seguimiento del desarrollo de las actividades propuestas. La elaboración de mapas conceptuales constituye una estrategia para poder observar la relación entre los distintos conceptos que forman parte de la investigación.

Se elaboraron varios mapas conceptuales hasta obtener un mapa definitivo en el que se observaran las distintas relaciones entre los conceptos investigados y sus niveles de análisis.

El mapa conceptual (no incluido en este artículo) se utilizó para redactar preguntas, con las cuales se realizó una entrevista con diez profesores de biología en distintas escuelas secundarias de la ciudad de México, con el objetivo de obtener

información para la elaboración del cuestionario de investigación. Este cuestionario se aplicó con tesis de biología, profesores de biología de educación secundaria y profesores de biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Con los resultados obtenidos se efectuó una segunda entrevista exploratoria con profesores de biología de educación secundaria, para llevar a cabo después tres pilotajes con su correspondiente prueba de confiabilidad. Para obtener la confiabilidad del instrumento se utilizó el coeficiente Alpha en cada una de sus aplicaciones.

$$a = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum Si^2}{St^2} \right)$$

Donde:

K= número de ítems

Si²= la varianza del instrumento

St²= la varianza de la suma de los ítems

Se obtuvo en el primer estudio piloto una confiabilidad de .7973; en el segundo, de .9422 y en el tercero, de .7383

La confiabilidad en los tres pilotajes fue aceptable, por lo que se procedió a su aplicación a la población definitiva.

LAS FORMAS DE EXPLICACIÓN UTILIZADAS POR LOS PROFESORES DE BIOLOGÍA

La aplicación del cuestionario definitivo fue personal, con cada uno de los 114 profesores de educación secundaria de la ciudad de México. El cuestionario tiene la característica de propiciar la generación de explicaciones. Comprende la elección de opciones y la respuesta a preguntas. En este trabajo se analizan sólo

las explicaciones generadas a la pregunta “¿cómo respiran las plantas?”. En el siguiente cuadro se muestran las preguntas planteadas, el número de profesores con explicaciones aceptables (EA) y expli-

caciones con concepciones alternativas (ECA). Se presenta el total de explicaciones registradas (TER) y el número de profesores que no proporcionaron alguna explicación (SE).

CUADRO 2 • Total de explicaciones registradas*				
<i>Pregunta</i>	<i>EA</i>	<i>ECA</i>	<i>TER</i>	<i>SE</i>
¿Cómo están constituidos los aparatos del ser humano?	40	64	104	10
¿Cómo está constituido un sistema?	16	82	98	16
¿Cómo respiran los animales?	29	62	91	23
¿Cómo respiran las plantas?	04	83	85	29
¿Cómo se alimentan los animales?	43	48	91	23
¿Cómo se alimentan las plantas?	43	56	99	15
¿Cuáles son las características de la reproducción sexual?	56	44	100	14
¿Qué características generales presenta la reproducción asexual?	24	68	92	22
¿Qué diferencias existen entre las células de un organismo pequeño y las células de un organismo muy grande (hormiga vs. elefante)?	42	59	101	13
¿Cómo entra el virus del SIDA a la célula?				
¿Cuáles son las funciones de la membrana celular?	17	66	83	31
¿Cuáles son las funciones de las mitocondrias?	31	60	91	23
¿Cuáles son las funciones del núcleo celular?	22	70	92	22
¿Cuáles son las características de un organismo?	24	56	80	34

* Fue de 1310. En la pregunta “¿cómo respiran las plantas?”, se encuentra el número más alto de explicaciones con concepciones alternativas.

En la pregunta “¿cómo respiran las plantas?”, 29 profesores no proporcionaron alguna explicación, lo que refleja probablemente un desconocimiento de la explicación solicitada. Al preguntarles a los profesores por las causas de su negativa a contestar, la mayoría comentó que es suficiente el contenido presente en los libros de texto para explicar este proceso.

El análisis de las 85 explicaciones proporcionadas se efectuó a partir de las categorías, subcategorías e indicadores propuestos.

El promedio de edad de los 85 profesores es de 40 años. Cuarenta mujeres y

cuarenta y cinco hombres proporcionaron la explicación solicitada.

De estos profesores, un mayor número cuentan con estudios de biología o en disciplinas relacionadas con las ciencias naturales. Destaca el número alto de médicos cirujanos (21) y dentistas (24), que ejercen la profesión de profesor de educación secundaria. Del total de los 85 profesores, sólo 6 estudiaron la carrera de profesor de secundaria en una escuela de educación normal.

Existe un mayor número de profesores que no obtuvieron su título profesional. De los profesores que participa-

ron, 39.47% son titulados. Hay que considerar que para ejercer la profesión de profesor secundaria, de acuerdo con la Secretaría de Educación Pública (SEP), no es necesario estar titulado, por lo que para gran porcentaje de profesores no es importante obtener el título profesional.

En el proceso de respiración de las plantas se registraron 85 explicaciones, de las cuales sólo dos tienen un conocimiento aceptable y las 83 restantes presentaron una o varias concepciones alternativas. Estas explicaciones se resumen en el cuadro 3.

CUADRO 3 • Número de explicaciones por categoría.*	
<i>Categoría</i>	<i>Frecuencia</i>
Antropomórfica con alternativa inadecuada	6
Causal funcional con alternativa inadecuada	2
Descriptiva específica con conocimiento parcial	1
Descriptiva específica con alternativa inadecuada	55
Descriptiva específica con conocimiento contradictorio	2
Descriptiva tautológica con alternativa inadecuada	1
Teleonómica con alternativa inadecuada	16
<i>Total</i>	83

* El mayor número de explicaciones corresponde a la categoría descriptiva específica con alternativa inadecuada. Predominan las concepciones alternativas en las explicaciones de los profesores.

En el rango de edad de 40 a 44 años se encuentra el mayor número de profesores que utilizan la explicación teleológica (10). A medida que aumenta el intervalo de edad, es más frecuente el uso de explicaciones descriptivas. La explicación antropomórfica es utilizada por un mayor número de profesoras (4) que de profesores (2). En las demás formas de explicación, las frecuencias de respuestas son semejantes entre ambos géneros.

Los biólogos son quienes utilizan mayor número de explicaciones teleológicas (12); también son dos biólogos quienes proporcionan las explicaciones causales. Entre quienes estudiaron la licenciatura en Ciencias Naturales se encuentran 2 que utilizan explicaciones antropomórficas, 1 teleológica, y los demás, descriptivas.

No existe una real diferencia entre las explicaciones utilizadas por los profesores titulados y los que no lo están. Dos de los profesores titulados son los que proporcionan las explicaciones causales. Las explicaciones descriptivas son proporcionadas por 22 profesores titulados y 37 profesores pasantes; 5 profesores titulados y 11 pasantes emplean explicaciones teleológicas; 2 profesores titulados y 4 pasantes usan explicaciones antropomórficas.

A continuación se analizan las formas de explicación utilizadas, de acuerdo con las categorías, subcategorías e indicadores propuestos. El análisis se realiza de acuerdo con las formas de explicación proporcionadas.

EXPLICACIONES ANTROPOMÓRFICAS

La explicación antropomórfica se refiere a la manera de atribuir razonamiento humano a todos los seres vivos. Se caracteriza por visualizar mecanismos que están directamente relacionados con el comportamiento de hombres y mujeres. Se encuentra implícito en palabras como: deseos, intenciones, antojos, anhelos, pensamientos, sentimientos y pretensiones (Bartov, 1978).

Un profesor explica la respiración de las plantas en los siguientes términos:

En este caso podemos apreciar que las plantas tienen funciones similares a la del humano; en vez de sangre, savia elaborada; en vez de pulmones hay estomas en donde hay un intercambio de gases. En vez de venas y arterias se encuentran vasos leñosos. Considero que es importante enfocar y mencionar la palabra analogía. Aquí la única diferencia es que la planta es autótrofa y el humano es heterótrofo (Amai).

Esta explicación no corresponde en realidad con el proceso de respiración, pues existen confusiones entre los procesos de intercambio de gases y circulación de materias nutritivas de las plantas.

El siguiente ejemplo es más claro de esta forma de explicación:

Sí realizamos una analogía podemos considerar que los estomas son equivalentes a la nariz y la laringe; las arterias se asemejan a los vasos leñosos (Amai).

La explicación de este profesor proporciona una información inadecuada. Si el profesor no hace las aclaraciones pertinentes, los fenómenos biológicos sólo podrán ser explicados por los alumnos en virtud de las características fisiológicas y anatómicas del ser humano.

En las formas de explicación es posible encontrar integradas una o varias concepciones alternativas.⁴ En el caso de las explicaciones antropomórficas, se encontraron las siguientes:

CUADRO 4 • Frecuencia de explicaciones antropomórficas*	
<i>Concepción alternativa</i>	<i>Frecuencia</i>
Las plantas tienen funciones similares a la del humano	3
Las plantas y animales tienen paralelismo funcional	2
A través de los estomas, vasos leñosos y savia elaborada	1
La respiración de las plantas es semejante a la de los animales y seres humanos	1
<i>Total</i>	7

*Algunos profesores preocupados en facilitar el aprendizaje de los estudiantes utilizan explicaciones antropomórficas. Las utilizan como analogías, pero sin llegar a explicar los procesos específicos de la respiración. Las explicaciones con referencias a la respiración del ser humano pueden en algunos casos reforzar las concepciones alternativas que consideran las estructuras y órganos de las plantas equivalentes a las estructuras y órganos del ser humano. Por ejemplo, se considera a la savia elaborada como la sangre; estomas, como los pulmones, nariz, laringe, y vasos leñosos, como venas y arterias.

Explicación causal

La explicación causal puede ser funcional o evolutiva, de acuerdo con el tipo de biología que se utilice para dar la explicación. Una se aboca a las causas funcionales y otra, a las causas evolucionistas. Las dos tienen muchos puntos de contacto y traslape. En la investigación se registraron tres explicaciones causales funcionales.

La biología funcional está relacionada con la operación e interacción de elementos estructurales, desde moléculas hasta órganos e individuos completos. La pregunta que resuelve es: ¿cómo funciona algo?, ¿cómo se dirige su funcionamiento? Los biólogos funcionales tienen como técnica principal el experimento, y su aproximación es esencialmente la misma que la del físico o la del químico.

Los biólogos funcionales utilizan las causas próximas. Este tipo de causas se

refieren a las causas inmediatas del fenómeno biológico que tienen relación con las condiciones fisiológicas. Las “causas próximas” son del tipo de causas descritas por leyes fisicoquímicas.

El siguiente ejemplo corresponde a una explicación causal funcional, proporcionada por un profesor:

En los vegetales que también tienen estructuras especializadas para este proceso, los estomas funcionan como el regulador de la diferencia entre la presión de gases O_2 y CO_2 ; funcionan como válvula reguladora (Cfai).

La causa próxima en esta explicación corresponde a la función reguladora de los estomas, aunque realmente no explica qué es la respiración de las plantas.

En las explicaciones causales se identificaron las siguientes concepciones alternativas:

CUADRO 5 • Frecuencia de actividades alternativas*	
Concepción alternativa	Frecuencia
Intercambio gaseoso y bioquímico donde se sintetiza bióxido de carbono y se libera oxígeno y se produce glucosa.	1
Los estomas funcionan como el regulador de la diferencia entre la presión de gases.	1
<i>Total</i>	2

*La explicación causal puede contener concepciones alternativas, que alejan a los estudiantes del conocimiento del proceso de respiración de las plantas. La relación entre el nivel celular y el multicelular en cuanto a la función de la respiración no se aborda en estas explicaciones causales. La respiración se presenta como un fenómeno multicelular.

Explicación descriptiva

La explicación descriptiva se presenta como un discurso lineal que se enfoca a un elemento principal (oxígeno, sangre, alimentos, etc.) del fenómeno biológico, por ejemplo en la digestión. Enuncia

paso a paso los distintos órganos indicando el camino seguido, resaltando los nombres de las partes recorridas. Una explicación descriptiva es la respuesta a la pregunta: “¿cuáles son las propiedades de este fenómeno?”, y consiste en un resumen del fenómeno observado, tanto cam-

biente como no cambiante. El resumen de las mediciones efectuadas constituye la explicación descriptiva.

El siguiente fragmento corresponde a un ejemplo de explicación descriptiva, centrada en el intercambio de gases, en los estomas y lenticelas:

Todo vegetal a través de sus hojas realiza la respiración es por donde se localizan los estomas y por las lenticelas que se localizan en los tallos por esas estructuras se realiza el intercambio gaseoso, sale O_2 entra CO_2 (Decp).

Esta explicación es muy limitada, pues requiere de información complementaria que describa el fenómeno en su conjun-

to. El siguiente ejemplo también se limita a la descripción parcial de una estructura de la planta:

La hoja tiene pequeñas estructuras en el envés llamadas estomas cuyo orificio, el ostíolo, permite la entrada de oxígeno y la salida de CO_2 y agua (Deai).

Éstas son explicaciones con descripciones limitadas que en ocasiones contribuyen a reforzar las concepciones alternativas de los alumnos.

En las explicaciones descriptivas proporcionadas persisten varias concepciones alternativas que los estudiantes de secundaria pueden considerar como ciertas.

CUADRO 6 • Frecuencia de concepciones alternativas en profesores*

Concepción alternativa	Frecuencia
La respiración es el intercambio gaseoso, entre CO_2 y sale O_2	34
Ocurren cambios químicos	1
Las plantas absorben CO_2 de la atmósfera	1
A través de la liberación de oxígeno obtienen energía	3
Es una función compleja que produce cambios internos	1
La respiración es la entrada de oxígeno	2
La respiración es la salida de gases de la planta	1
Aunque en las plantas predomina la función fotosintética, también las plantas respiran y no sólo realizan intercambio gaseoso (O_2 y CO_2)	1
Se da también en las células	1
Es la propia oxigenación de la planta	1
La función de la respiración se da de la misma manera en todos los organismos eucariontes	1
La respiración se observa en la transpiración de la planta	4
Todo vegetal realiza la respiración a través de los estomas y por las lenticelas	13
La respiración se realiza por los estomas	26
La respiración se da a través del tejido epidérmico y los estomas	1
La respiración se realiza a través de los lenticelas	1
A través de los estomas, vasos leñosos y savia elaborada	4
En las plantas, por los estomas pasa la energía y por medio de la epidermis realizan su intercambio	1

Concepción alternativa	Frecuencia
Por medio de la epidermis	2
Por medio de estructuras	3
La respiración forma parte de la fotosíntesis	19
El intercambio gaseoso y que durante el día, la planta libera oxígeno y retienen bióxido de carbono. Ello se invierte en la noche	1
<i>Total</i>	122

*Respecto a la explicación de la respiración, para la mayoría de los profesores se reduce a un intercambio de gases. Estas concepciones son muy semejantes a las que presentan los alumnos de educación secundaria. Existen múltiples confusiones entre la respiración y la fotosíntesis que se identifican en las concepciones alternativas, presentes en las explicaciones de los profesores. La concepción de que la respiración forma parte de la fotosíntesis es también muy frecuente en los estudiantes.

Explicación teleológica

En la explicación teleológica se confunden causas con propósitos y se usan los fines para explicar el fenómeno biológico; se hace referencia a la relación medios-fines. La explicación tiene un objetivo direccional. Se usan frases como: “por el propio bien de”, “para tal que”. Las explicaciones teleológicas corresponden a una interrogante sobre las funciones que los órganos y procesos vitales desarrollan para mantener actividades características de las cosas vivas y sobre los procesos dirigidos a conseguir ciertos productos finales. Por ejemplo, un profesor al referirse a la respiración de plantas explica:

Los estomas tienen la finalidad de regular la cantidad de agua a la planta y el intercambio de gases del interior al exterior y viceversa, el oxígeno generalmente sale de la planta; al igual que existen otras estructuras como las lenticelas, que presentan dicho intercambio (Tnai).

En cierto sentido, atribuirle una finalidad a una estructura de la planta implica

proporcionarle una forma de actuación independiente. Esta explicación tiene que ser parte de una explicación amplia que la vincule con la respiración celular.

En otro ejemplo se plantea la satisfacción de una necesidad:

En plantas no se da un auténtico proceso de respiración sino un intercambio de gases en donde se toma básicamente el CO₂ que serviría para construir glucosa utilizando poco oxígeno para construir sus moléculas que casi siempre es proporcionado por el agua (Tnai).

En la explicación, la finalidad está presente y se complementa con información que explica de forma errónea el proceso de la respiración.

Cada una de las explicaciones que utilizan los profesores proporcionan a los alumnos un acercamiento al conocimiento propio de la biología, pero es común encontrar contradicciones que propician el reforzamiento de las concepciones alternativas de los alumnos y que hacen evidente la existencia de concepciones alternativas en los profesores.

CUADRO 7 • Frecuencia de explicaciones teleológicas con concepciones alternativas*

Concepción alternativa	Frecuencia
En las plantas no se da un auténtico proceso de respiración	1
Los estomas tienen la finalidad de regular la cantidad de agua de las plantas	1
Los estomas tienen la finalidad de regular el intercambio de gases del interior al exterior y viceversa	1
El CO ₂ que serviría para producir glucosa utilizando poco oxígeno para construir sus moléculas casi siempre es proporcionado por el agua	1
En la respiración las plantas transforman CO ₂ en oxígeno para que ocurra la respiración en los demás organismos	1
Ocurre para la obtención de nutrientes para la planta	9
Se toma básicamente el CO ₂ que serviría para producir glucosa utilizando poco oxígeno para construir sus moléculas, que casi siempre es proporcionado por el agua	1
La respiración le permite la síntesis de sus alimentos (nutrientes)	3
<i>Total</i>	<i>18</i>

*Éstas no posibilitan la enseñanza de la biología, distorsionan los contenidos y confunden a los alumnos.

Al analizar en conjunto las concepciones alternativas presentes en las explicaciones de los profesores, es claro el problema conceptual de considerar la respiración como el intercambio gaseoso. También existe la confusión de delimitar la respiración como parte de la fotosíntesis. Algunos profesores llegan a explicar que la respiración consiste solamente en el intercambio gaseoso: sale el oxígeno y entra el bióxido de carbono.

Predomina en muchos profesores la concepción alternativa de que los estomas son las únicas estructuras donde ocurre la respiración. Algunos profesores relacionan la respiración con la obtención de energía, sin hacer explícitos los procesos que ocurren en las mitocondrias.

La existencia de estas concepciones alternativas en las formas de explicación de los profesores plantea un problema en los procesos de formación de los profesores de biología.

DISCUSIÓN TEÓRICA

A partir de las explicaciones que utiliza en la enseñanza de la biología, el profesor contribuye a reforzar o a cambiar las concepciones alternativas que poseen los alumnos. Las concepciones alternativas son un componente importante en el contenido de las explicaciones de los profesores.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que según Antonia Candela (2001), las concepciones de los estudiantes son coherentes con su pensamiento, más que con las demandas realizadas en la interacción con los profesores. La explicación de los profesores no es el factor determinante en la conformación de las concepciones alternativas. Pero sí es un referente importante para los estudiantes.

No es posible establecer un vínculo determinante entre las concepciones de los profesores presentes en sus explicacio-

nes y las concepciones alternativas de los estudiantes. Existen varios aspectos que influyen en el cambio de las concepciones de los estudiantes.

Se debe tomar en cuenta que las concepciones alternativas se generan mediante las experiencias de vida de los sujetos y el uso indiscriminado del lenguaje cotidiano. En el caso de las concepciones de biología de los estudiantes, se vinculan con el contexto de la vida real, antes de su incorporación al sistema escolar.

Los resultados de la presente investigación confirman el supuesto de que los profesores son una fuente importante de las concepciones alternativas de los estudiantes. Los resultados son muy similares a los encontrados por Yip (1998), quien al trabajar con profesores de biología de Hong Kong identifica confusiones o concepciones equivocadas respecto a varios conceptos biológicos básicos que son requeridos en el plan de estudios de educación secundaria. Los problemas conceptuales que identifica este autor son particularmente prevalecientes en áreas tales como metabolismo celular, el proceso nutricional, el cambio gaseoso, el sistema circulatorio, la homeostasis, la reproducción y la variación.

En la presente investigación se encontraron concepciones alternativas de los profesores en la respiración de las plantas, estructura de las plantas que participan en la respiración y en la relación entre respiración y fotosíntesis.

Las concepciones alternativas identificadas sobre la respiración en las plantas son muy parecidas a las encontradas por Talaat Waheed y A. M. Lucas, en estudiantes de secundaria, quienes no comprenden el proceso de la respiración de las plantas y presentan confusiones entre la respiración y la fotosíntesis.

Resultados muy similares también encuentran Stavy y Yaakobi (1987), al trabajar con estudiantes de una escuela secundaria. Según estos autores, todos los estudiantes relacionan sólo los aspectos externos de la respiración: el intercambio gaseoso por inhalación y exhalación, concepción alternativa muy frecuente en los profesores que participantes en la investigación.

En otra investigación, Stavy *et al.* (1987) identifican en una muestra de estudiantes de secundaria confusiones entre fotosíntesis y respiración en plantas. Cerca de 60% del total de su muestra indican que la fotosíntesis es un tipo de respiración. Muchos piensan que las plantas respiran en la noche de forma similar que los animales, pero que en el día el proceso es inverso. Y 40% consideran que las plantas no respiran. Algunas de estas concepciones también están presentes en la investigación con profesores. Estos resultados indican que los alumnos de educación secundaria poseen concepciones alternativas muy similares a las que poseen sus profesores.

Por otra parte, A.M. García (1991) investigó entre otros temas las concepciones sobre la respiración de las plantas y encontró que 53% de estudiantes de primer grado de bachillerato, 40% de estudiantes del tercero de bachillerato y 45% de estudiantes de primero de licenciatura consideran que la respiración consiste solamente en un intercambio de gases con el medio ambiente en animales y/o vegetales.

En cambio, el porcentaje de esta concepción no es tan alto en la presente investigación; corresponde a 29%, pero refleja la importancia de analizar en las explicaciones para la enseñanza, las concepciones alternativas de los profesores.

Estos resultados resaltan la importancia de reconocer en las formas de explicación utilizadas por los profesores la posibilidad de comprender la estructura de las concepciones en la enseñanza de la biología.

En este trabajo se coincide con Gallagher (1991), quien señala la importancia de la enseñanza, ya que ésta desempeña un papel clave en la formación de la imagen de ciencia en el público en general. Menciona que los profesores de secundaria tienen una distorsionada comprensión de la naturaleza de la ciencia porque su educación científica se ha centrado en el cuerpo de conocimientos de la ciencia, y dan poco énfasis a los procesos por los cuales los conocimientos científicos están formulados y validados como conocimientos, y por tanto no pueden ellos articular actitudes que son parte del *ethos* de la ciencia. Al revisar la formación y situación de muchos de los profesores que participaron en la presente investigación, se identifica la misma problemática referida por Gallagher.

Por otra parte, Amos Dreyfus y E. Jungwirth, (1989) proponen que para evitar el aumento de las concepciones alternativas y su permanencia, una enseñanza apropiada por cada concepto puede ser descrita mediante atributos significativos y relacionados con otros conceptos. Al revisar las explicaciones utilizadas por los profesores se observa que no sucede así. Las explicaciones no articulan conceptos y niveles del fenómeno de la respiración.

Para Ana María Palazón (2002), toda explicación, científica o no, es interpretación, que depende de los intereses, conocimientos previos, de la posición filosófica, religiosa, política y de la forma que se haya efectuado el trabajo. De tal forma que en el análisis de las formas de explicación se identifican no sólo las concepciones alter-

nativas de los profesores, sino también otros componentes que tienen relación con la constitución de la práctica docente.

Al analizar las explicaciones proporcionadas en el presente estudio se observa que en el predominio de las concepciones alternativas, el género, la edad y la formación académica son variables que poco influyen en la forma de explicación que se proporciona.

También Louisa Veiga *et al.* (1989) encuentran en el lenguaje que usa el profesor concepciones alternativas. De acuerdo con estos autores, las concepciones alternativas no son simplemente llevadas al salón de clases, pues las discusiones cotidianas y experiencias están presentes en las clases mediante el lenguaje de la enseñanza. Las concepciones alternativas de los profesores cambian poco y no son muy diferentes que las que emplean los estudiantes. Este planteamiento complementa los resultados obtenidos en la presente investigación.

En otros trabajos como el de Alonso Vázquez (1994) se demuestra que los profesores tienen una estructura de concepciones alternativas similar en algunos casos a las que tienen sus alumnos de enseñanza secundaria o bachillerato. Ello se confirma con los resultados obtenidos en la presente investigación. La diferencia entre los resultados de la presente investigación y los de otros trabajos similares es que se establece un vínculo entre las concepciones alternativas y las formas de explicación. Este hecho implica que el profesor que emplea las explicaciones está de acuerdo con ellas: no cree que utiliza concepciones alternativas ni que refuerza a las que utilizan sus estudiantes. En este sentido, Brewer, Chinn y Samarapungavan (2000) reconocen que una explicación lleva una estructura conceptual que

se utiliza para explicar un fenómeno y que da un sentimiento de comprensión. Los profesores participantes en la presente investigación se encuentran convencidos de que las explicaciones que proporcionan son las adecuadas.

A MODO DE CONCLUSIÓN

En las explicaciones utilizadas por los profesores es posible identificar dudas conceptuales derivadas del proceso de formación que se multiplican al ser transmitidas a sus alumnos. Pero estas dudas se vuelven certezas en los profesores y sus formas de explicación, con lo cual en la enseñanza de la respiración de las plantas utilizan gran cantidad de concepciones alternativas. En las formas de explicación identificadas predominan las concepciones con alternativas inadecuadas.

Parece que las explicaciones antropomórficas y teleológicas no sólo están presentes en los niños y jóvenes, sino también en muchos profesores.

La existencia de concepciones alternativas en estas formas de explicación propicia que el aprendizaje de los estudiantes refuerce las concepciones alternativas, sin aproximarse a los conocimientos científicos. Estas explicaciones pueden ser útiles en algunos momentos de la clase (para establecer una analogía, o para presentar una metáfora), pero deben llevar al estudiante a la comprensión de concepciones aceptables.

Es desde el punto de vista educativo, en la enseñanza de la biología, que se deben revisar las implicaciones de las formas de explicaciones para la comprensión de los fenómenos biológicos. Para mejorar la enseñanza de la biología es necesario reconocer la coexistencia de diversas formas de explicación y, al igual que con éstas, hay que familiarizar a los estudian-

tes con las explicaciones científicas mediante un lenguaje accesible y actual.

La mayoría de los profesores no cuentan en su formación con antecedentes en la historia, filosofía o sociología de la ciencia, por lo que tienen poca comprensión del origen y aplicaciones de los conocimientos científicos y dan un fuerte énfasis al contenido científico en la enseñanza de la biología, reforzados por los textos que están disponibles para su uso. En este sentido, resulta importante incorporar aspectos referentes de la historia de la ciencia en los procesos de formación de los profesores.

Entre las consecuencias de esta problemática se encuentran la constitución de un currículo de biología que provee a las escuelas de educación secundaria una representación de la biología fragmentada, en la que se impone la descripción, más que la comprensión de los procesos biológicos. En los actuales programas de biología en educación secundaria predomina la biología funcional sobre la evolutiva, y existen pocos ejemplos de la historia de los conceptos biológicos. Además, el estudio de la célula es restringido y no llega a vincularse con los fenómenos biológicos de los organismos multicelulares.

Para evitar el aumento de las concepciones alternativas de los alumnos y su permanencia, una enseñanza apropiada por cada concepto puede ser descrita con explicaciones que comprendan atributos significativos, relacionados con otros conceptos y vinculados con el contexto de vida real de los estudiantes.

En este contexto el análisis de las formas de explicación de los fenómenos biológicos por parte de los profesores no sólo permite identificar las concepciones alternativas que poseen, sino también el enfoque que tienen sobre esta ciencia. En una

revisión final del presente estudio emergen áreas de interés, para investigaciones futuras, como la comparación entre las formas de explicación de los profesores con las de sus estudiantes. Un hecho real de la investigación en México es que pre-

domina un desconocimiento de cuáles son los resultados de los procesos de formación de los profesores en distintos campos del conocimiento, y de los cambios en su práctica docente a partir de las propuestas oficiales.

NOTAS

1. Al respecto, Coleman (1983) hace una descripción sobre los antecedentes, emergencia y problemática de la biología en el siglo XIX.
2. De acuerdo con los planteamientos de Piaget (1973) en la enseñanza de la biología, es posible mediante la explicación construir esquemas de los modelos abstractos de los fenómenos biológicos.
3. Las concepciones alternativas son construidas desde la infancia, y llevan a cada persona a actuar y pensar conforme a éstas. Las concepciones alternativas se encuentran interconectadas con otras concepciones, formando una especie de redes que finalmente conforman la imagen del mundo.

REFERENCIAS

- BARTOV, H. (1978), "Can students be taught to distinguish between teleological and causal explanations", en *Journal of Research Science Teaching*, vol. 15, núm. 6, pp. 567-572.
- BREWER, W.F., C.A. Chinn y A. Samarapungavan (2000), "Explanation in scientists and children", en F. Keil y R. Wilson (eds.), *Explanation and cognition*, Cambridge, MIT Press, pp. 279-298.
- CELLÉRIER (1973), "La explicación en biología", en J. Piaget, *La explicación en las ciencias*, Barcelona, Martínez Roca, pp. 118-128.
- COLEMAN, William (1983), *La biología en el siglo XIX*, México, Fondo de Cultura Económica.
- DREYFUS A. y E. Jungwirth (1988), "The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality", en *International Journal of Science Education*, vol. VI, núm. 10 (2), pp. 221-229.
- (1989), "The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea", en *Journal of Biological Education*, vol. 23, núm. 1, pp. 49-55.
- GALLAGHER, James (1991), "Prospective and practicing secondary school science teacher's knowledge and beliefs about the philosophy of science", en *Science Education*, vol. 75, núm. 1, pp. 121-133.
- GARCÍA, Ruiz M. (2001), "Las actividades experimentales en la escuela secundaria", en *Perfiles Educativos*, tercera época, vol. XXII, núm. 94, pp. 70-90.
- GARCÍA, Zaforas A. M. (1991), "Estudio llevado a cabo sobre representaciones de la respiración celular en los alumnos de bachillerato y COU", en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 9, núm. 2, pp. 129-134.
- JUNQWIRTH, E. (1975), "The problem of teleology in biology as a problem of biology teachers education", en *Journal of Biological Education*, núm. 9, pp. 243-245.
- HEGENBER, Leónides (1979), *Introducción a la filosofía de la ciencia*, Barcelona, Herder.
- LÓPEZ, Juan (1994), "El pensamiento del profesor sobre el conocimiento de los alumnos", en *Investigación en la Escuela*, núm. 22, pp. 59-66.
- MAYR, E. (1998), "Causa y efecto en biología" en Sergio Martínez y Ana Barahona (comps.), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica- Ediciones Científicas Universitarias, pp. 82-122.
- PALAZÓN, Ana María (2002), *La construcción de la biología*, México, UNAM, pp. 118
- PIAGET, Jean (1973), *La explicación en las ciencias*, Barcelona, Martínez Roca, p. 222.
- Secretaría de Educación Pública (1993), Plan y programas de estudios de educación secundaria, México, SEP, pp. 55-63.
- STAVY, R., Yehudit Eisen y Duha Yaakobi (1987), "How students age 13-15 understand photosynthesis", en *International Journal of Science Education*, vol. 9, núm. 1, pp. 405-415.
- TAMIR, P. and A. Zohar (1991), "Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena", en *Science Education* vol. 75, núm. 1, pp. 57-67.
- TREAGUST, F. (1988), "Development and use of diagnostic test to evaluate student's misconceptions in science", en *International Journal of Science Education*, vol. 10, núm. 2, pp. 159-169.
- VAZQUEZ, Alonso (1994), "El paradigma de las concepciones alternativas y la formación de los profesores en ciencias", en *Enseñanza de las ciencias*, vol. 12, núm. 1, pp. 3-14.
- VEIGA, M.Louisa, J.V. Duarte y R. Maskill (1989), "Teachers' language and pupil's ideas in science lessons: can teachers avoid reinforcing wrong ideas?", en *International Journal of Science Education*, vol. 11, núm. 4, pp. 465-479.
- WAHEED, Talaat y A.M. Lucas (1992), "Understanding inter-related topics: photosynthesis at age 14+", en *Journal of Biological Education*, vol. 26, núm. 3, pp. 193-199.
- YIP, Din-Yan (1998), "Identification of misconceptions in novice biology teachers and remedial strategies for improving biology learning", en *International Journal of Science Education*, vol. 20, núm. 4, pp. 461-463.