

Capítulo 2. Cómo enseñar la Didáctica de la Biología exitosamente

Dirk Krüger¹ y Annette Upmeier zu Belzen²

Introducción

Este capítulo entrega indicaciones para el establecimiento de uno de los procedimientos introductorios para la enseñanza en el campo de la Didáctica de la Biología, en vista del impulso que ha recibido el desarrollo de la formación de profesores en el área de las ciencias naturales en Chile, que debería estandarizar la formación en universidades e implementarse hacia un nuevo programa de estudios mediante ayuda estatal. Además de describir brevemente el campo de trabajo de la didáctica de la biología, se diseñarán fundamentos teóricos a partir de propuestas concretas para una formación actual en el área de obtención de conocimientos durante la clase de biología. De este modo, una parte, que debería profundizarse en un seminario de fundamentos de la Didáctica de la Biología, se explicará mediante bases teóricas e indicaciones metodológicas para la enseñanza universitaria. La Didáctica de la Biología, como ciencia dedicada a la investigación de la educación, se considerará como un fundamento indispensable para la enseñanza universitaria basada en la investigación.

Las universidades en Berlín realizan una introducción a la Didáctica de la Biología mediante la combinación de una cátedra y un seminario presencial. Tiene un semestre de duración y los temas se abordan semanalmente, en el siguiente orden: *¿Qué es la Didáctica de la Biología? – Objetivos de la clase, competencias; elementos de planificación de la clase de biología – Metodología de la clase – Trabajar con las ideas de los*

¹ Dr. en Educación Científica. Profesor de Didáctica de la Biología, Freie Universität Berlín. E-mail: dirk.krueger@fu-berlin.de

² Dra. en Educación Científica. Profesora de Didáctica de la Biología, Humboldt Universität, Berlín. E-mail: annette.upmeier@biologie.hu-berlin.de

estudiantes – Temas interdisciplinarios de la clase de biología – Clasificar y comparar – Uso del microscopio – Realización de experimentos – Uso de diagramas – Uso de medios en la clase de biología – Modelos en la clase de biología – Seres vivos en la clase de biología – Evaluación del rendimiento de los estudiantes – Historia de la clase de biología (véase Gropengießer & Kattmann, 2006). A continuación, se profundizarán los temas *Trabajar con las ideas de los estudiantes, Clasificar y comparar, Uso del microscopio, Realización de experimentos y Modelos en la clase de biología* y se explicará qué contenidos se deben tematizar, a qué fundamentos teóricos se debe recurrir y qué ejercicios deben proponerse para reflejar los aspectos estudiados de la Didáctica de la Biología. En primer lugar, se presentará la base teórica de la enseñanza para el análisis de la Didáctica de la Biología en la cátedra y el seminario. Durante las presentaciones del seminario de 90 minutos, los participantes se turnarán y proporcionarán aspectos de la Didáctica de la Biología a sus compañeros, durante 45 minutos. Esto se hace con la exigencia de crear ambientes constructivistas de aprendizaje. Los 45 minutos restantes se emplearán para reflexionar sobre los métodos utilizados, el cumplimiento de los objetivos o el desempeño de los participantes que se han unido al seminario. Para esto, se pondrá énfasis en los aspectos fundamentales para la adopción del rol de educador, que más tarde guiarán la práctica de la clase.

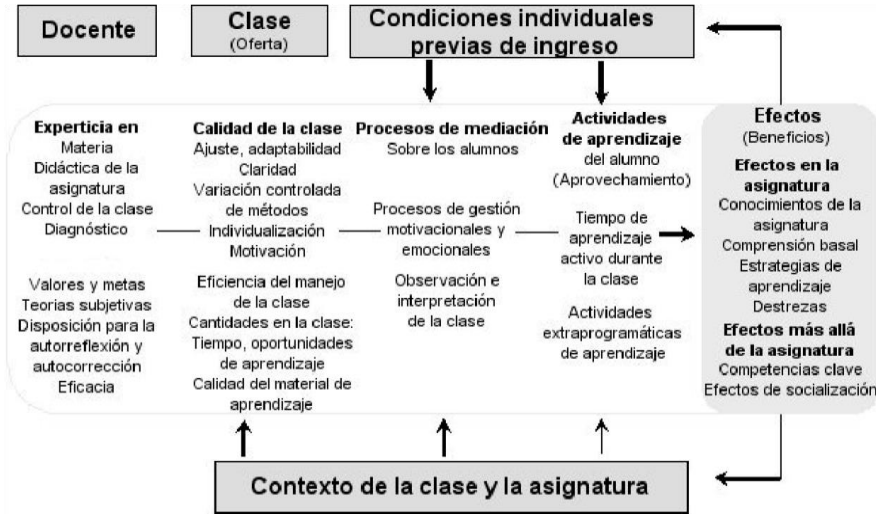
Tareas de la Didáctica de la Biología

La Didáctica de la Biología es la ciencia de gestión que se dedica al aprendizaje y enseñanza de la biología. Sin embargo, la clase de biología no es el único campo de acción de la Didáctica de la Biología. Cada vez se incluyen más lugares extraescolares e informales de aprendizaje. En este contexto, el término gestión significa “acercar” la biología a los estudiantes, así como “relacionar” el conocimiento de la asignatura con los estudiantes, su mundo, conocimientos previos, conceptos, intereses, disposiciones y principios. La tarea de la gestión requiere que la Didáctica de la Biología actúe como un puente entre la biología como asignatura y las ciencias de la educación. La Didáctica de la Biología considera a la

biología desde la perspectiva de la transmisión de conocimientos. Para esto, actúa desde la biología y elabora afirmaciones sobre la biología: las teorías cognitivas y científicas, junto con la historia de la biología, son aquí las metadisciplinas.

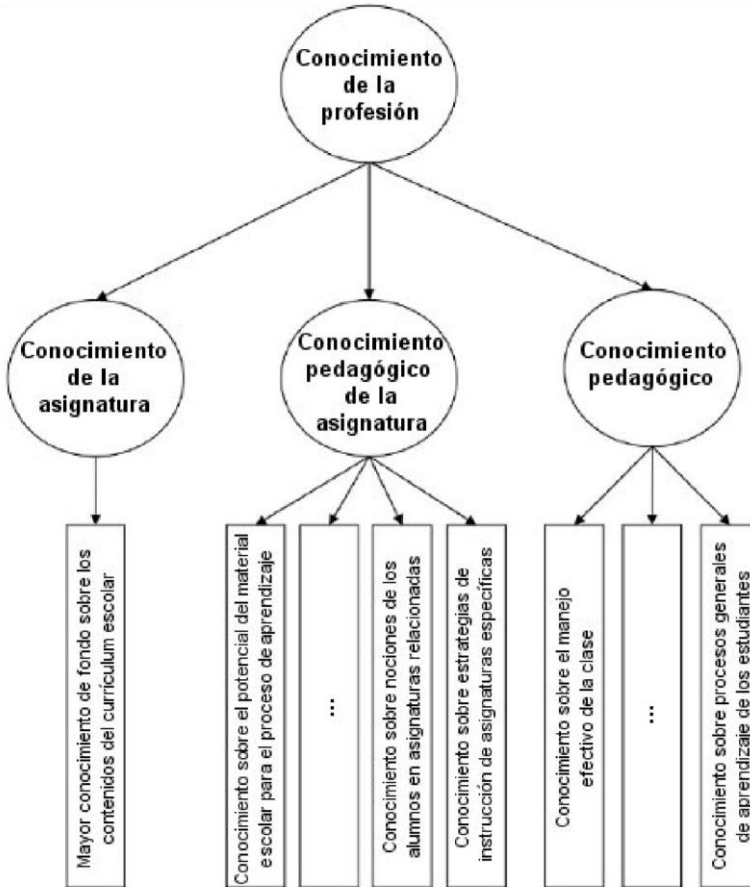
En las últimas décadas, la Didáctica de la Biología se ha transformado en una disciplina empírica que se ocupa, entre otros, de las últimas aceptaciones teóricas enfocadas a la oferta docente, el profesionalismo del cuerpo docente, las condiciones previas de aprendizaje de los estudiantes, el contexto social, el efecto sobre los alumnos y la percepción y asimilación de la oferta docente (Figura 1). La teoría y el empirismo interactúan entre sí, cuando los procesos de enseñanza y aprendizaje, orientados hacia las competencias, se analizan científicamente y se mejoran de forma constructiva. En Alemania, se rige por el Output-Paradigma (control de los procesos de enseñanza y aprendizaje según los últimos resultados, KMK 2005).

Figura 1.- Modelo de Oferta-Aprovechamiento de los tipos de efectos (Helmke 2009, pág. 73).



En la actualidad, se rige por el paradigma de los expertos (Shulmann, 1987; Baumert & Kunter, 2006, Brunner *et al.*, 2006) para el desarrollo del profesionalismo del docente. Este profesionalismo se muestra en las áreas *Fachwissen* (conocimiento de la asignatura), *Fachdidaktisches Wissen* (conocimiento pedagógico de la asignatura) y *Pädagogisches Wissen* (conocimiento pedagógico) (Figura 2).

Figura 2: Modelo esquemático del conocimiento de la profesión del cuerpo docente (Brunner et al. 2006, pág. 523).



Fundamentos Teóricos del Aprendizaje

El constructivismo es el fundamento teórico del aprendizaje del enfoque de gestión propuesto. Existen diferentes puntos de vista constructivistas. El punto de partida es el constructivismo radical de Glasersfeld (1984; 1995). Esta teoría cognitiva establece que la comprensión directa de una realidad externa es imposible. Por lo tanto, cualquier tipo de conocimiento humano está ligado a una perspectiva de observación. Si bien semejante paradigma no niega la existencia de una realidad, destaca que todo conocimiento sobre esta realidad es una construcción creada por el ser humano. A partir de esta posición de la teoría cognitiva se dedujo una concepción del aprendizaje: el constructivismo moderado. Éste se ocupa de cómo se altera la cognición obtenida (conocimiento) de manera individual (Reinmann & Mandl, 2006). En el centro del constructivismo

moderado se ubican la persona que aprende y el proceso de aprendizaje, que se puede caracterizar de la siguiente manera:

- Aprender es un proceso *constructivo*: al aprender, se construye sobre la base de experiencias y conocimientos de quien aprende. En este proceso, quienes aprenden no adquieren ni integran la nueva información como mejor les parezca, sino que construyen significados activos sobre la base de sus ideas ya existentes. En el caso de los estudiantes, antes de una clase, ellos ya han desarrollado ideas sobre el mundo que los rodea. A menudo, estas ideas no concuerdan con las ideas de la materia de la asignatura y resultan ser muy resistentes ante las lecciones.
- Aprender es un proceso *activo*: el aprendizaje efectivo es únicamente posible mediante la participación activa de quien aprende. Por lo tanto, se fomenta el aprendizaje cuando quien aprende juega un papel activo en el proceso enseñanza-aprendizaje.
- Aprender es un proceso *autorregulado*: ser responsable de los procesos de control y regulación del aprendizaje es beneficioso para quien aprende, ya que no se puede controlar ni regular desde el exterior. El entorno únicamente puede estimular o activar el proceso de aprendizaje.
- Aprender es un proceso *emocional*: los procesos de aprendizaje están siempre unidos a los sistemas cognitivos individuales de quien aprende. Los aspectos emocionales, como la motivación, también juegan un papel importante.
- Aprender es un proceso *social*: si bien los procesos de aprendizaje están unidos a los sistemas cognitivos de cada individuo, también existe un componente social. El aprendizaje se realiza dentro de una interacción social, en la que se comunican, negocian, prueban y comparten ideas, suposiciones, etc. El aprendizaje debería posibilitar sucesos interactivos.
- Aprender es un proceso *situado*: el aprendizaje ocurre en situaciones dentro de un contexto, es decir, el conocimiento está relacionado con los contenidos y experiencias sociales. Los contextos específicos presentan un trasfondo de interpretación para el aprendizaje.

El constructivismo moderado no hace referencia al mecanismo mediante el cual las ideas se modifican. Para entender este mecanismo, se recurrirá a la Teoría del Cambio Conceptual.

Teoría del Cambio Conceptual

Los estudiantes ingresan a la clase con una serie de ideas cotidianas, relacionadas con la asignatura o la materia de la asignatura. Ahora bien, quien quiera desarrollar ideas sobre la materia en una situación de gestión, no lo logrará si no considera las ideas que los alumnos llevan consigo. Para explicar los procesos de aprendizaje sobre la base de las ideas propias, existe una serie de planteamientos con diferentes puntos principales, contenidos en el término Cambio Conceptual.

La Teoría del Cambio Conceptual (Posner *et al.*, 1982; Strike & Posner, 1992) considera aspectos psicológicos de instrucción y establece pautas de enseñanza. Ella explica bajo qué condiciones se cuenta para lograr un cambio de ideas cotidianas en ideas fundamentadas por la materia. Este punto de vista había determinado que quien aprende debía renunciar a toda idea “incorrecta”. En su primera versión, el Cambio Conceptual se encuentra también en la tradición de la alteración de paradigmas de Kuhnsche (1976) y plantea una transformación radical de ideas. Por consiguiente, se creía que las ideas erróneas debían eliminarse y el aprendizaje debía documentarse a través de un paso de conceptos incorrectos a correctos.

Los enfoques constructivistas se distanciaron de estas alteraciones radicales de conceptos. Se ha demostrado que las ideas antiguas se mantienen, incluso después de la clase, y que son útiles y necesarias en muchas situaciones de la vida diaria. Es inadecuado calificar los conceptos cotidianos sobre los fenómenos biológicos, que a menudo se contraponen a las explicaciones de las ciencias naturales, como ideas erróneas. Es más importante y adecuado realizar una descripción neutral como una idea cotidiana o de aprendizaje alternativa. Por lo tanto, el proceso se describirá mejor como una Reconstrucción Conceptual que hace espacio al aspecto del funcionamiento de quien aprende (véase Krüger, 2007).

Para que una reconstrucción de ideas sea posible, deben cumplirse las siguientes cuatro condiciones:

1. Debe dominar la *insatisfacción* con la idea existente:
- Condición previa para la reconstrucción de ideas.
 - La confianza en viejas concepciones se pierde con anomalías.

- La insatisfacción surge, por ejemplo, cuando existe un conflicto cognitivo.

2. La nueva idea debe ser *comprensible*:

- Debe ser racionalmente abordable para poder asimilar las nuevas posibilidades.
- Las analogías y metáforas favorecen la comprensión.
- Es necesaria una base de conocimiento para que los nuevos aspectos sean comprensibles.
- Mientras más se adapte la idea a los conocimientos de otras áreas, más fácil será su integración.

3. La nueva idea debe poseer *plausibilidad*, lo que supone comprensión:

- La nueva idea debe estimular la sensación de que es posible resolver problemas de lo que la antigua idea no era capaz.
- La plausibilidad depende del grado de concordancia que se espera entre la idea existente y la nueva.

4. La nueva idea debe ser *productiva*, lo que supone comprensión y plausibilidad:

- La nueva idea debería poder aplicarse en otros ámbitos y abrir nuevas áreas de investigación.
- Cuando la nueva idea es una alternativa comprensible y plausible, se intentará explicar experiencias con ella.
- Se utilizará la nueva idea si ésta lleva a nuevos descubrimientos y puntos de vista.
- La nueva idea debería prometer más que otras que compiten con ella.

En resumen, la Reconstrucción Conceptual se favorece cuando quien aprende se enfrenta a contextos de variables suficientes, bajo condiciones constructivistas de aprendizaje auténticas y con significado a nivel personal. Deberían ofrecerse posibilidades en las que se comprueben los puntos de vista actuales, se reflejen las experiencias fundamentales y el nuevo conocimiento adquirido de buenos resultados al utilizarlo como herramienta.

Los fundamentos de la Teoría del Aprendizaje ya mencionados dejan claro que es de vital importancia preocuparse de las ideas de los estudiantes para la planificación de una clase, desde el punto de vista de la Didáctica de la Biología. Existe una mayor oferta de literatura referente a las ideas de los alumnos en una bibliografía (Duit, 2009), que contiene más de 8.300 artículos (de investigación) referentes a la didáctica de las ciencias naturales.

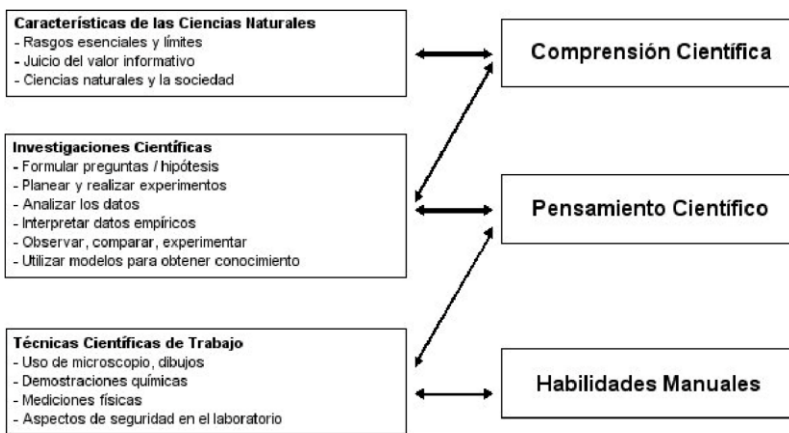
La Obtención de Conocimiento de Biología como Contenido de la Clase de Biología

La biología utiliza la observación de fenómenos biológicos, la comparación, la experimentación regida por hipótesis y la elaboración de modelos como métodos científicos para la obtención de datos basados en teorías, con el objetivo de verificar o descartar hipótesis. La realización y reflexión de estos métodos son componentes elementales de la formación básica de las ciencias naturales, según la OCDE (2000, pág. 66): “La formación básica de las ciencias naturales es la capacidad para usar el conocimiento científico, identificar problemas y esbozar conclusiones basadas en evidencia, en orden a entender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios provocados por la actividad humana”.

Hodson (1992) formula objetivos de la formación científica, donde exige conocimiento de la asignatura *learn science* (conceptos, modelos, teorías), comprensión científica *learn about science* (comprensión de la filosofía, historia y metodología) y la obtención de conocimiento *learn to do science* (actividades para adquirir conocimiento científico). Según Mayer (2007, Figura 3), el es-

quema principal de las competencias de métodos científicos se refiere al área de la obtención de conocimiento y se divide en tres dimensiones centrales, con los conceptos de competencia correspondientes: técnicas prácticas de trabajo (habilidades manuales), métodos de obtención de conocimiento científico (pensamiento científico) y características de las ciencias naturales (comprensión científica). El pensamiento científico y la investigación científica aportan al desarrollo de la comprensión científica y, de este modo, a la comprensión de las características de las ciencias naturales.

Figura 3.- Esquema principal de las competencias de métodos científicos (modificado según Mayer, 2007).



Durante la clase de biología, debería desarrollarse una comprensión de los rasgos esenciales del método de las ciencias naturales mediante el uso de instrumental, material de apoyo y la realización de experimentos científicos. Aquí participa el entendimiento tanto de las teorías actuales de las ciencias naturales como de los límites de los procedimientos en ciencias naturales. El objetivo de la formación docente es capacitar al profesor para poder estimular este proceso reflexivo en la enseñanza. El punto de partida de este proceso es enfrentar a los participantes con las ideas de los alumnos. Es aquí cuando comienza la imagen de la Didáctica de la Biología en la clase.

Trabajar con las Ideas de los Estudiantes

Las ideas son pensamientos y comprensiones referentes a un campo en particular. Todas las personas disponen de ideas determinadas que funcionan como piezas de construcción del conocimiento. En la Didáctica, se denominan conocimientos previos o condiciones previas al aprendizaje. Cuando los estudiantes escolares y universitarios comienzan a tener contacto con la biología, ya disponen de ideas sobre muchos temas. Sus ideas se basan en experiencias basales cotidianas (véase Gropengießer, 2007) y han dado buenos resultados en la vida cotidiana. Sin embargo, son diferentes a las ideas científicas. Se sugiere transmitir la idea correcta inmediatamente. No obstante, semejante forma de proceder no es posible, porque lo enseñado no es inmediatamente aprendido. Sólo se aprenderá lo que puede relacionarse con las ideas existentes. Por esta razón, las ofertas de aprendizaje deben considerar las ideas existentes de los alumnos como condiciones previas al aprendizaje.

Las ideas se desarrollan durante el proceso de aprendizaje. Estos procesos mentales subjetivos no pueden transmitirse ni asimilarse. Sólo los propios individuos pueden fabricarlos o construirlos. Por lo tanto, la enseñanza sólo puede estimular el aprendizaje. La mayoría de las veces, las ideas cotidianas no podrán reemplazarse por ideas científicas. Más bien, se modificarán y enriquecerán a través del aprendizaje, de un modo comparable al aprendizaje de un segundo idioma. No se olvidará la lengua materna, sino que se añade una nueva habilidad lingüística.

Propuesta para un Seminario de Trabajo con Ideas de los Estudiantes

Objetivo del seminario: Los participantes trabajarán con ideas típicas de los alumnos hacia el tema “visión”. Los participantes elaborarán procedimientos para poder ampliar las ideas cotidianas a través de la perspectiva de la asignatura.

Introducción: Tarjetas de consulta y dibujos (usa grande letras, Figura 4)

Instrucción: Comente una de las dos siguientes afirmaciones: “Lo que veo es real, porque...” o “Lo que veo no es real, porque...” Dibuje, según su imaginación, cómo es el proceso de ver la flor.

Las tarjetas y dibujos se colgarán en la sala del seminario.

Desarrollo: Los participantes ordenan y discuten las distintas posiciones y ángulos de visión de los dibujos y afirmaciones. Existen distintas posiciones, que pueden descubrirse, ya sea en las tarjetas de consulta o en los dibujos. Según la literatura (véase Gropengießer 2001, 2002, 2006), pueden verse distintas ideas (Tabla 1), que se incluyen en el segundo paso del análisis. Finalmente, los participantes deben proponer ofertas de aprendizaje (Tabla 1) que favorezcan el desarrollo de ideas orientadas a las ciencias en alumnos con ideas determinadas. Para esto, los participantes deben tomar en cuenta los cuatro aspectos de la Teoría del Cambio Conceptual (insatisfacción, comprensión, plausibilidad y productividad).

Figura 4.- Ejemplo de dibujo para el trabajo en el seminario (véase Gropengießer, 2001).

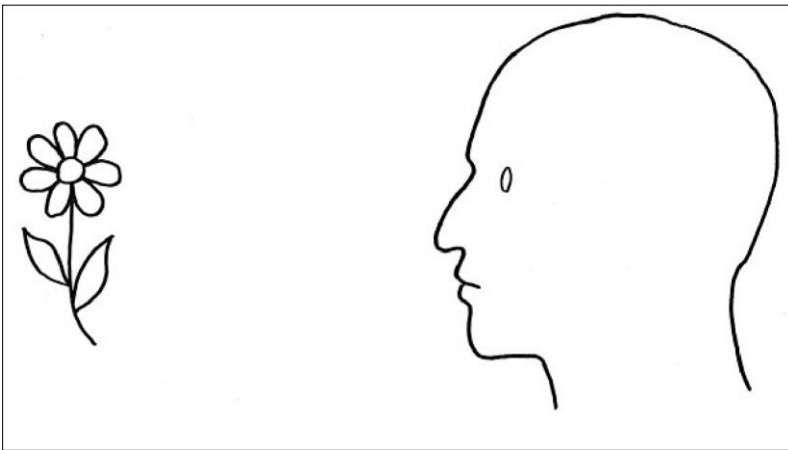
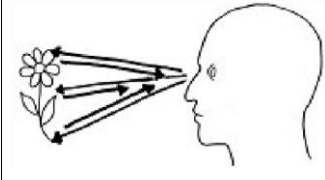
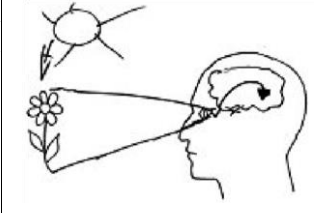
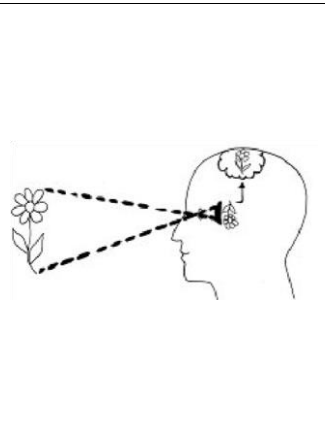


Tabla 1.- Ideas conocidas referentes a la visión e intervenciones posibles que permiten el aprendizaje de los alumnos en la clase.

<p>La visión es confiable y muestra la realidad Lo que veo es real, porque... ... es lo que ven los demás también, ... las cosas efectivamente existen, ... lo puedo escuchar, tocar o sentir, ... de otro modo, toda la vida sería un engaño.</p>	
<p>Intervención Irritación causada por ilusiones ópticas: ilusiones físicas [ilusiones ópticas en el verdadero sentido]: barra “rota” en el agua; ilusiones retinales [Ilusiones oculares]: imágenes persistentes, puntos ciegos; ilusiones cerebrales: agujero en la mano, comparación de tamaños. Se puede aclarar que la visión humana es selectiva y posee exactitud limitada. Las percepciones no deben ser verdaderas, sino que sólo útiles para la sobrevivencia. La visión es una capacidad de interpretar que posee el cerebro. No tenemos acceso a la realidad.</p>	
<p>El ojo actúa y yo veo Lo que veo no es real, porque... ... no todo es como mi ojo lo ve.</p>	
<p>Intervención Irritación causada por una hoja blanca en un a cámara oscura. Se puede aclarar que el ojo no emite rayos que iluminen el o bjecto. Se necesita luz para poder ver. La obtención de información se logra si n la intervención del ojo. El ojo reacciona ante la luz como un órgano cuando ésta alcanza la retina. pasivo,</p>	
<p>La visión requiere de luz y comienza con el objeto. Los rayos de luz alcanzan al ojo. El cerebro guarda la imagen. Lo que veo es real, porque... ... se forma debido a la acción de los rayos de luz sobre mi retina, ... llega a mi ojo.</p>	

El ojo “ve” todo lo que se encuentra frente a la cabeza y el cerebro lo voltea nuevamente. La imagen obtenida es la que el cerebro transmite. Lo que veo no es real, porque... .. mi ojo ve todo lo que se encuentra frente a mi cabeza y es mi cerebro quien transforma la información.

Lo que veo es real, porque...
 ... mi ojo lo capta así y lo transmite al cerebro,
 ... el cerebro percibe y construye la imagen del objeto, tal como se ve.

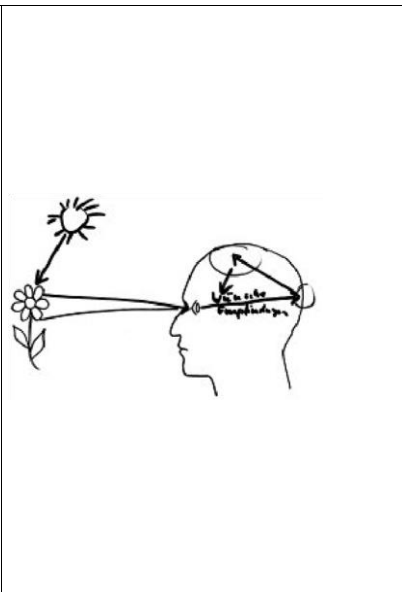


Intervención

Irritación causada por el experimento con fosfeno: Se presiona el ojo cerrado con el dedo índice; Modelo de actividad cerebral (imágenes de TEP): la visión activa diversas áreas del cerebro. Se puede aclarar que existe una diferencia entre las emisiones electromagnéticas exteriores y el efecto interior de “luminosidad”. La excitación neuronal es neutral hacia el significado del estímulo. Sólo la ubicación del cambio en el umbral de excitación en el cerebro decide si se trata de luz, forma, color, contraste o movimiento.

La luz reflejada ingresa al ojo, estimula las neuronas sensoriales y éstas llevan el impulso al cerebro. Éste elabora una sensación basada en experiencias, emociones e informaciones. Lo que veo no es real, porque...

... cada persona ve una imagen distinta,
 ... cada visión es selectiva y subjetiva, ... la imagen que mi cerebro construye o reconstruye se basa en experiencias, emociones, etc.,
 ... las experiencias e informaciones constituyen una imagen personal en el cerebro.



Reflexión: Los alumnos rara vez desarrollan ideas científicas referentes a la visión. Se espera que, mediante las ofertas de aprendizaje mencionadas, cada alumno descubra personalmente los límites de las propias ideas cotidianas. Los experimentos provocan una insatisfacción con la

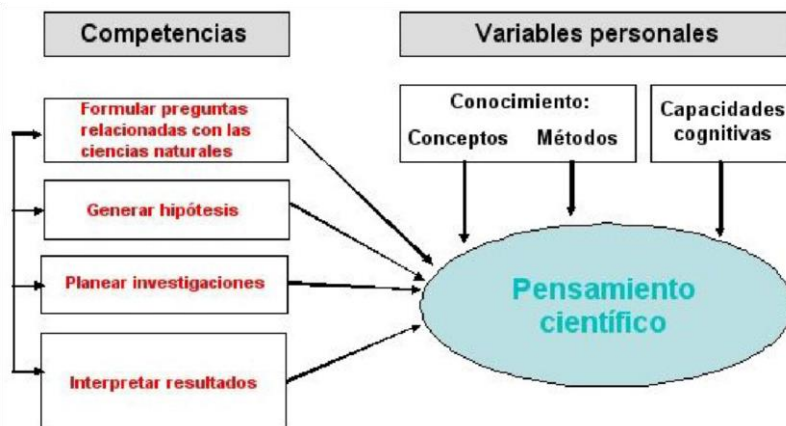
explicación propia. La oferta de una idea plausible y comprensible aún no es suficiente para lograr un aprendizaje duradero. El alumno debe poder probar y ejercitar la utilidad de la idea, a través de la explicación del proceso de la visión. De este modo, confiará en que el nuevo “punto de vista” en los contextos biológicos sirve para resolver problemas futuros. A continuación, se presentará el concepto de obtención de conocimiento en la clase de biología para la enseñanza universitaria, basado en este ejemplo de aprendizaje constructivista.

Obtención de Conocimiento en la Clase de Biología

El conocimiento de la biología se obtiene de la interacción entre empirismo y teoría. Se entiende como empirismo la ganancia de experiencia a partir de la recolección de datos y observaciones. La teoría abarca las hipótesis principales y proporciona las relaciones “si... entonces” que se pretende aclarar mediante el empirismo.

En el trabajo con las ciencias naturales, las investigaciones empíricas y basadas en teorías tienen una estrecha relación con el reconocimiento basado en la evidencia. Esta relación o proceso lleva a la experimentación y observación en biología. Esto es también lo que debería despertar el interés de quien aprende en la clase de biología, junto al fomento de las competencias en el campo de la obtención de conocimiento. La estrecha relación entre investigación y reconocimiento se hará evidente cuando el alumno no pueda separarlas durante el proceso de obtención de conocimiento. La oración “el ratón corre por todas partes con miedo” contiene, como componente empírico, la observación de que el ratón corre por todos lados y, como componente teórico, una interpretación de que parece hacerlo con miedo. El método científico en ciencias naturales es un proceso para resolver problemas, en el que se desarrollan métodos específicos. Dependiendo del tipo de problema y a qué disciplina pertenezca, existen distintos caminos, que muestran las características principales de un procedimiento en ciencias naturales. Mayer (2007) establece las competencias del pensamiento científico (Figura 5): formular preguntas de ciencias naturales, generar hipótesis, formular un plan de investigación y recopilar y analizar datos.

Figura 5.- Competencias del pensamiento científico en ciencias naturales (Mayer, 2007).



56

A menudo, el trabajo con las ciencias naturales causa la impresión de que el camino del conocimiento conduce “del explorar al conocer”, es decir, deducir algo universal a partir de la obtención de datos objetivos. Esta idea inductiva sobre el proceso de obtención de conocimiento es contraria al hecho de que la exploración ya se rige por teorías sobre el objeto y que se construye en base a conocimientos previos. En lugar de eso, el procedimiento hipotéticodeductivo de la obtención de conocimiento se debe hacer consciente al principio de la clase de biología. Cuando los estudiantes comienzan con la formulación de hipótesis para resolver un problema biológico, eso es útil para que ellos reflejen las aceptaciones de sus teorías a través de la observación o la experimentación.

A menudo, las formas de trabajar en biología se valoran desde la perspectiva del objeto por conocer a través de la exploración: los objetos inmóviles se observarán y se examinará su constitución, mientras que los objetos móviles (espaciales o temporales) se observarán y se experimentará con ellos para analizar sus funciones. Si bien se intenta describir las formas de trabajar en biología como el acto de obtener conocimiento del objeto, sólo se pueden distinguir dos métodos para la obtención de conocimiento: la observación y la experimentación. Por lo tanto, mirar, examinar y el uso del microscopio no es más que una observación asistida.

Los profesores tienen un alto grado de exigencia en el manejo de formas de trabajar en biología, como por ejemplo, observar, examinar,

experimentar y el uso del microscopio. Quienes aprenden deben conocer los requisitos y condiciones de los procedimientos científicos, para poder evaluar la validez, la trascendencia y los límites de las afirmaciones biológicas. Por lo tanto, el trabajo con las ciencias naturales debe considerarse teórico-científico. Se exigirá experticia biólogo-didáctica en el cuerpo docente para que quienes aprenden desarrollen la competencia de evaluar y realizar formas de trabajar en biología. Trabajos prácticos exigen decisiones de los profesores en todos los niveles del manejo metodológico.

57

La Observación

La observación describe el conjunto de propiedades y características de objetos sometidos a cambios espaciales o temporales, en base a hipótesis, teorías y criterios (Tabla 2). Durante este proceso, los objetos no sufren ningún tipo de intervención. Por lo tanto, los límites de la observación se relacionan con lo que los sentidos son capaces de percibir. Como resultado de una observación, se obtienen datos sobre sus propiedades o características. Cuando la observación es a través de la visión, el objeto debe hacerse visible. Aquí se incluyen procedimientos como uso de filtros, iluminación, colorantes y un aprovechamiento adecuado del tiempo. Se sabe que las posibilidades de nuestros sentidos son limitadas, por lo que se utilizan equipos para aumentar el espectro cuantitativo (microscopio óptico, telescopio, estetoscopio) o cualitativo (rayos X, ECG).

Tabla 2.- Pensamiento en ciencias naturales durante una observación (modificada por Wellnitz & Mayer, 2008).

Formulación de preguntas	¿Qué características, estructuras, relaciones espaciales o desarrollo temporal se pueden identificar en el objeto?
Ejemplos hipotéticos	El objeto muestra la característica X durante el desarrollo de x. El objeto se compone de las partes x, y, z.

Diseño de examinación (Planificación y realización)	Elección del tema de la observación Establecer los criterios específicos y su desarrollo Determinar lugar, momento y espacio temporal. Recopilación de datos cualitativos o cuantitativos Observación de uno o más objetos, identificar magnitudes fuera de escala
Análisis de datos (Presentación, análisis, interpretación)	Documentación de los datos: descripción, dibujos, mediciones, fotografías Preparación de los datos: tablas, diagramas, cálculos Análisis (exactitud, error, magnitudes fuera de escala) e interpretación de los datos Relaciones correlativas (la dirección de la relación es desconocida) Explicación a través de relaciones estructurales y funcionales

A menudo, las observaciones se cuantifican. Los números permiten ordenar objetos o sucesos. La medición es una forma de conteo. Al medir, se detalla el tamaño, cantidad y unidad. Para deter-

minar la unidad, se utilizan equipos de apoyo, por ejemplo, cinta métrica (largo en metros [m]), balanza (peso en kilogramos [kg]), cronómetro (tiempo en segundos [s]) y termómetro (temperatura en grados Celsius [°C]). Ya que las mediciones están sujetas a errores, es indispensable repetir las mediciones. Para poder interpretar las observaciones, los datos se registran y documentan, y se elaboran tablas o diagramas. El último paso consiste en analizar e interpretar los datos para establecer conclusiones. Dependiendo de la duración e intensidad, se alternará entre observaciones cortas durante la hora de clase y observaciones de larga duración. Estas últimas requieren de gran paciencia y estímulos por parte del cuerpo docente y pueden extenderse durante varias semanas.

La observación de fenómenos, órganos y organismos naturales entrega experiencias que pueden causar sensaciones agradables, pero también miedo y repulsión. En estos últimos casos, una actitud profesional y metódica durante la observación logrará un distanciamiento emocional. En la biología, la observación es el procedimiento principal para obtener datos, lo que la convierte en el componente principal de todos los otros métodos de obtención de conocimiento durante la clase de biología.

Se hablará de **examinación** cuando la observación se realice con la ayuda de equipos de apoyo, con el fin de investigar relaciones internas del objeto, o cuando el programa de observación sea extenso. La disección (separación adecuada de los componentes del objeto) y la preparación (conservación del objeto en el tiempo) son formas importantes de examinación. Para exámenes más profundos, existen reacciones de demostración y el análisis de factores bióticos y abióticos en el ecosistema.

El **Uso del Microscopio** permite magnificar objetos pequeños para hacerlos visibles. El microscopio óptico puede iluminar o traslucir objetos. Los sistemas de lentes concentran los rayos de luz de tal manera que la imagen del objeto se proyecta de mayor tamaño en la retina del ojo. El microscopio electrónico reemplaza los rayos de luz por emisiones de electrones, que amplifican la imagen mil veces más. Es raro que se utilicen microscopios electrónicos en las escuelas, debido a los altos costos y la complejidad de las técnicas de preparación. Sin embargo, se utilizan fotografías de microscopía electrónica.

Los estudiantes, antes de usar un microscopio, aprenden a trabajar con una lupa, que es capaz de magnificar la imagen entre dos y quince veces. La lupa se ubica cerca del ojo y se acerca al objeto hasta que se pueda ver con nitidez. La lupa, el microscopio óptico y el microscopio electrónico mejoran el poder resolutorio del ojo: una persona normal puede distinguir dos puntos separados entre sí por una distancia de 100 μm (el grosor de un cabello, aproximadamente), desde una distancia de 25 cm. La lupa permite ver dos puntos separados por 10 μm , el microscopio óptico, 0,2 μm y el microscopio electrónico, 0,0003 μm . La microscopía óptica comenzó en el siglo XVII. El microscopio electrónico fue diseñado en el año 1930 y profundizó la observación de tejidos, órganos, reproducción y desarrollo de los seres vivos, que hasta entonces había sido imposible de descubrir e investigar, debido al pequeño tamaño de las estructuras y sus procesos. Le debemos a la microscopía, por ejemplo, la teoría celular (“los organismos se componen de células”, “las células provienen de células”).

Las experiencias obtenidas al introducir el concepto de célula a estudiantes de 11 años muestran que, a esa edad, poseen la capacidad para manejar un microscopio, diseccionar y llegar a resultados significativos. Sin embargo, presentan dificultades al momento de interpretar lo observado. Para resolver esto, pueden utilizarse modelos de apoyo, por ejemplo, modelos celulares tridimensionales para mostrar la ubicación de los organelos, o el uso de placas de vidrio rotuladas y espaciadores en el retroproyector para presentar esto como modelo funcional.

El microscopio óptico permite examinar objetos inmóviles (por ejemplo, células vegetales), observar el comportamiento de seres vivos microscópicos (por ejemplo, Euglena) o también experimentar determinadas alteraciones de condiciones (por ejemplo, plasmólisis). La microscopía permite el aprendizaje cognitivo, afectivo y sicomotor. De este modo, se desarrollan las capacidades de abstracción e imaginación de los alumnos, cuando deben trasladar la imagen microscópica bidimensional a una imagen tridimensional del objeto real. La motricidad fina de los estudiantes se desarrolla a través de la interacción con el objeto y el dispositivo concreto. Aprenden a prestar mucha atención a los detalles. La capacidad de expresión se desarrolla mediante la descripción de lo observado. Dibujar lo observado favorece la capacidad de observar con exactitud. Para los alumnos, la experiencia con el mundo

microscópico es agradable, estimulante y activa el deleite de descubrir cosas nuevas.

Propuesta para un Seminario de Observación mediante Microscopía

Objetivo del Seminario: Los participantes elaborarán estrategias para resolver problemas típicos relacionados con la microscopía y la confección del dibujo de una observación microscópica.

Introducción: Los participantes generarán situaciones que impidan el uso del microscopio: fuente de luz desenchufada o apagada, revólver no encajado, lente ocular sucio, objeto muy grueso o mal enfocado, etc. Para controlar que la falla se ha detectado correctamente, se ubicarán tarjetas volteadas junto al microscopio, donde se detallará la falla (Gropengießer 1997).

Instrucción: Identifique la falla en el microscopio y déjelo tal cual como lo encontró, sin reparar la “falla”.

Sugerencia: Esta serie de fallas que impiden el uso del microscopio puede utilizarse como una clase introductoria, donde los alumnos aprenden el funcionamiento del microscopio. Aprenderán a reconocer las fallas por sí mismos y necesitarán menos ayuda del cuerpo docente para resolver los problemas sencillos del microscopio.

Instrucción: Dibuje algunas células de Elodea y cuelgue su dibujo (por ejemplo, en una pizarra magnética, plancha de corcho, cuerda).

Desarrollo: Se discutirán las diferencias y semejanzas entre los dibujos. ¿El dibujo tiene título? ¿Tiene leyenda (nombre, fecha,

descripción del objeto, aumento)? Se debe comprobar si, además del factor del aumento del lente ocular y objetivo, se incluyó una escala o referencia en el dibujo (ejemplo: un cabello humano). ¿El dibujo posee rotulaciones? De ser así, ¿se utilizaron líneas rectas? ¿Todas las líneas terminan con una flecha? ¿Se ubica el dibujo a la izquierda y las líneas se dirigen a la derecha (la dirección de la escritura facilita la rotulación)? ¿El dibujo fue hecho con lápiz grafito?

Reflexión: Muchos participantes no consideran estos criterios al momento de dibujar. ¿Acaso no son necesarios? ¿Por qué los futuros profesores evitan el cumplimiento de estas reglas fundamentales? ¿Cómo pretenden tratar estos puntos con los alumnos en el futuro?

Otra discusión referente a la generación de problemáticas es la tridimensionalidad de los objetos microscópicos. Hágase una observación microscópica de Euglena y que los participantes hagan un modelo de ésta con plastilina. Luego, se procederá a discutir la forma de este modelo (Figura 6) y, si se da el caso, se propondrán ideas para mejorar la presentación de la Euglena (por ejemplo, ubicar modelos uno sobre otro).

Figura 6.- Modelo de plastilina de Euglena (Krüger, 2006a).



Experimentación

Al experimentar, se alterarán las condiciones normales del objeto con un fin determinado y se examinarán relaciones causa-efecto (Tabla 3). Los tres criterios más importantes de la experimentación son: observación de magnitud, aislamiento de factores influyentes y variación sistemática de factores influyentes.

Tabla 3. Pensamiento en ciencias naturales durante la experimentación (modificada por Wellnitz & Mayer, 2008)

Formulación de preguntas	¿Qué relación existe entre los factores X e Y?
Hipótesis	La variable independiente X influye sobre la variable dependiente Y
Diseño de examinación (Planificación y realización)	Identificación, aislamiento y variación sistemática de los factores influyentes Se elegirá una variable, mientras que los demás factores se mantendrán constantes Identificación y mantención constante de factores influyentes
Análisis de datos (Presentación, análisis, interpretación)	Documentación de los datos (magnitudes, tablas) Preparación de los datos (cálculos, diagramas) Análisis de los datos (exactitud, errores, magnitudes fuera de escala) Relaciones causales (clara relación causa-efecto) Explicación de un fenómeno a través de sus causas fisiológicas, ecológicas o genéticas

En un experimento, se presentará una situación de observación según un plan de acción basado en hipótesis. Debe determinarse una magnitud observable (por ejemplo, el crecimiento de una planta) y establecer qué relación posee con un factor influyente hipotético (por ejemplo, temperatura). El factor influyente se aislará y se someterá a variaciones sistemáticas durante las distintas sesiones de experimentación. En forma paralela, se experimentará con el factor influyente en sus posibles valores mínimo (por ejemplo, congelador a $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$) y máximo (por ejemplo, horno a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cada experimento debe repetirse varias veces.

Todos los demás factores (por ejemplo, magnitudes fuera de escala, como la presencia de luz o minerales) que podrían influir sobre la magnitud deben eliminarse, minimizarse, mantenerse inalterados o distribuirse estadísticamente al azar en todos los casos. De este modo, el factor influyente se aislará para observar su efecto en la magnitud. Luego, se compararán los datos obtenidos mediante la observación de la magnitud frente a cada variante. Se describirá una relación posible como una correlación (estadística). Dependiendo de la hipótesis, una correlación puede interpretarse como una relación causa-efecto (causalidad).

La experimentación en la clase de biología puede llevar a un gran acercamiento a la experimentación orientada a la investigación,

cuando sirve para confirmar o descartar una hipótesis generada por una pregunta determinada. Sin embargo, esta experimentación orientada al descubrimiento se diferencia de la experimentación orientada a la investigación en el material disponible, la poca duración de la clase y la capacidad limitada de experimentación de los alumnos. Además, el profesor e incluso los alumnos ya conocen el resultado del experimento antes de realizarlo, por lo que se habla de experimentos confirmatorios. Una variante metódica consiste en formular una nueva pregunta durante el experimento. Los experimentos introductorios pueden llevar al aprendizaje orientado al descubrimiento.

Los experimentos se clasifican en cualitativos y cuantitativos. En los experimentos cualitativos, se decide si la respuesta es sí o no, o si un factor juega un papel o no. Los experimentos cuantitativos son muy diferentes: muchos resultados individuales se expresan en números y tamaño y se establece una relación entre ellos. Al experimentar, se observa, compara, describe, dibuja y constata. Esta gran complejidad lleva a avances en el aprendizaje en distintos aspectos (véase Gropengießer *et al.*, 2010):

- **Cognitivo:** la experimentación favorece la reflexión exacta, consecuente y metódica, así como el pensamiento independiente, abstracto y creativo.
- **Afectivo-emocional:** los alumnos aprenden que únicamente el esfuerzo consistente y perseverante y un trabajo meticuloso llevan al éxito. De este modo, se logra una apreciación positiva y, por ende, una mayor motivación para trabajar con la biología.
- **Sicomotor:** el instrumental debe elegirse, combinarse y manipularse en forma pragmática.

Propuesta para un Seminario de Experimentación

Objetivo del seminario: Los participantes explicarán el valor informativo de un experimento, tomando en cuenta los controles. Pueden nombrar la diferencia entre preguntas e hipótesis y reconocer variables dependientes e independientes, así como variables de interferencia (véase Krüger & Gropengießer, 2006).

Introducción: Se puede proyectar un segmento de dos minutos de Goldfinger, la tercera película de James Bond. En este segmento, Bond encuentra a su compañera Jill muerta sobre la cama, totalmente cubierta de oro. En su diálogo con “M”, Bond explica que la cubierta de oro asfixió a Jill, ya que impidió que su piel pudiera respirar.

Instrucción: Comente el fragmento de la película. Formule preguntas e hipótesis que puedan analizarse desde las ciencias naturales.

Desarrollo: Luego del diálogo, surgen preguntas, como por ejemplo: ¿El ser humano respira a través de la piel? ¿La causa de la muerte fue un problema de temperatura? A continuación, se formulan hipótesis, como por ejemplo: A través de la piel ocurre un intercambio de gases, donde se libera dióxido de carbono e ingresa oxígeno. En vez de elaborar más propuestas para la realización de experimentos, el conductor del seminario sugerirá el siguiente experimento (Steinecke & Auge, 1976): se mantendrá una mano durante cuatro minutos en un vaso de precipitados y se comprobará el dióxido de carbono liberado mediante unas gotas de una solución de hidróxido de bario (agua de barita) o hidróxido de calcio (agua de cal). Debe conocerse con anterioridad cuál es la reacción de demostración. Los participantes anotarán sus observaciones y sacarán conclusiones.

Reflexión: Se esperan tanto observaciones como interpretaciones. La interpretación de los resultados conduce a demostrar la presencia de dióxido de carbono en el vaso de precipitados. Al final, se llega a la conclusión de que la mano liberó dióxido de carbono y que Bond tenía razón.

Hay que tener en mente que el agua de barita no “cambia de color” ni

“se vuelve turbia”. Esto implica que el agua de barita presenta dos colores (transparente y lechoso). En lugar de eso, se produce carbonato de bario en la superficie de las gotas y se evapora. El aspecto principal del procedimiento en el ejemplo del fenómeno relativamente desconocido de la respiración cutánea en seres humanos, comprende una reflexión crítica a la sencillez del experimento. Está claro que muchos estudiantes rompen reglas elementales. General65

mente, sólo se examinará la liberación de dióxido de carbono, en relación a la hipótesis. El ingreso de oxígeno, formulado en la hipótesis, no se examinará. La mayoría de los estudiantes interpretan los resultados de manera poco crítica, debido al efecto subjetivo del experimento y a la ausencia de controles (¡y así funciona la mayoría de los experimentos escolares!). Es urgente e imprescindible realizar un experimento de control (no en la mano) que también lleve al enturbiamiento de la solución. El control demuestra la presencia de dióxido de carbono en el aire. No puede determinarse la cantidad de dióxido de carbono liberada por la piel. El experimento no responde si el ser humano respira a través de la piel, por lo que la afirmación de Bond no puede comprobarse o descartarse.

Comparación

Comparar, ordenar y clasificar juegan un papel muy importante en la biología, debido a la enorme variedad de seres vivos existentes. La comparación, por un lado, ayuda a ordenar esta variedad y, por otra parte, hará evidente que todos los organismos poseen las mismas características esenciales (Tabla 4).

Tabla 4: Pensamiento en ciencias naturales durante la comparación (modificada por Wellnitz & Mayer, 2008).

Formulación de preguntas	¿Qué diferencias, semejanzas o similitudes distinguen a los objetos A y B en las características x e y?
Ejemplos hipotéticos	Los objetos A y B son semejantes en la característica x y diferentes en la característica y
Diseño de examen (Planificación y realización)	Elección de objetos y fenómenos para comparar Contraposición de al menos dos objetos o fenómenos Comparación dentro del grupo o entre grupos Determinación de uno o más criterios (constantes, inconstantes) Comparación de las expresiones de una característica
Análisis de datos (Presentación, análisis, interpretación)	Documentación de los datos: descripción, dibujos, mediciones, fotografías Preparación de los datos: tablas, diagramas Análisis (exactitud, error, magnitudes fuera de escala) e interpretación de los datos Prueba de la relación de equivalencia: ¿Son dos objetos equivalentes o no? ¿Son las características (tamaño, forma) iguales o distintas? Explicación filogenética o ecológica (homologías, analogías)

La comparación es un proceso guiado por la teoría, en el cual se contraponen, según criterios de comparación elegidos, al menos dos objetos o fenómenos. Las comparaciones se ocupan de elementos morfológicos y anatómicos y las funciones relacionadas con ellos. Sin embargo, también pueden dirigirse a procesos, como el desarrollo o la reproducción, así como también los tipos de conducta. Comparar es una acción, donde, bajo los mismos criterios, se observan dos o más objetos o fenómenos y se obtienen datos sobre sus características. Le sigue una prueba para encontrar una relación de equivalencia y para establecer si las características son idénticas o distintas. Mediante esta prueba, se logra la comparación a través de la observación. No obstante, sin observación, no hay comparación. Por lo tanto, una comparación es, como operación lógica, más abstracta y, para los alumnos, posee un mayor grado de complejidad que la mera observación de un objeto individual. La comparación se dirige a una finalidad. La finalidad comprende la elección de criterios y de las características o propiedades de los objetos que se compararán. El resultado de una comparación se determina más a través de la elección de los criterios de comparación que a través del propio objeto. Los criterios de comparación pueden establecerse al principio de la comparación o desarrollarse durante el transcurso del experimento. Comparar es más que una mera clasificación, ya que aquí se evalúa la capacidad de interpretar y de diferenciar entre lo importante y lo irrelevante (véase Gropengießer *et al.*, 2010).

Clasificación

La comparación puede llevar a un tipo determinado de clasificación. Todos los objetos que muestran características idénticas pueden clasificarse. Para ello, es necesario establecer sistemas de clasificación que lleven a una clasificación inequívoca del objeto (Tabla 5). Esto se consigue cuando la clasificación se efectúa paso a paso y sigue un criterio de comparación. Luego, todos los grupos construidos se diferencian en cada nivel del desarrollo de este criterio. Esta clasificación se denomina Constancia de Criterios (Hammann 2002). Para que los objetos puedan ordenarse en forma inequívoca, es necesaria una definición selectiva de los

aspectos relevantes de las características o propiedades. En sistemas de clasificación en base a criterios inconstantes, el orden se realizará, al mismo tiempo, de acuerdo a más de un criterio (véase Gropengießer *et al.*, 2010).

Los alumnos, al momento de clasificar seres vivos, generalmente no utilizan criterios de clasificación taxonómicos o sistemáticos. En lugar de eso, clasifican (la mayoría de las veces, con criterios inconstantes) a los animales según hábitat y desplazamiento, y a las plantas según apariencia, grado de utilidad y hábitat (Kattmann & Schmitt 2006, Krüger & Burmester 2005).

Tabla 5.- Pensamiento en ciencias naturales durante la clasificación (modificada en base a Wellnitz & Mayer, 2008).

Formulación de preguntas	¿Qué objetos o fenómenos con características o propiedades compartidas o similares se pueden clasificar en una categoría?
Hipótesis	Todos los A y B muestran propiedades compartidas, a diferencia de C y D, y por lo tanto, pertenecen a la categoría AB
Diseño de examinación (Planificación y realización)	Determinación de criterios para la clasificación según la finalidad de la clasificación Orden de criterios (comparación dentro del grupo y entre grupos)
Análisis de datos (Presentación, análisis, interpretación)	Documentación de los datos: descripción, dibujos, mediciones, fotografías Preparación de los datos: tablas, diagramas Análisis (exactitud, error, magnitudes fuera de escala) e interpretación de los datos Elaboración de un sistema de clasificación con criterios de comparación de mayor importancia Prueba de la relación de equivalencia: ¿Cómo se ve la totalidad de los objetos que son equivalentes a un objeto dado? Explicación filogenética o ecológica (homologías, analogías) Clasificación (taxonómica, sistemática, construcción de un árbol genealógico) Determinación (probar que las propiedades definidas corresponden con las del objeto en cuestión.

Una forma especial de comparación es la **determinación**. Mediante ésta, se prueba si las propiedades específicas escogidas que se encontraron en un objeto de referencia son idénticas a las del objeto en cuestión. Si este es el caso, se puede clasificar y luego determinar.

Propuesta para un Seminario de Clasificación

Objetivo del seminario: Los participantes explicarán cómo los biólogos proceden a clasificar objetos biológicos. Pueden nombrar la diferencia entre clasificación según criterios constantes e inconstantes.

Introducción: Deben clasificarse once objetos botánicos que alumnos de 10 años de edad puedan nombrar.

Instrucción: Clasifique en grupos los 11 objetos botánicos que se muestran a continuación:



Puede crear tantos grupos como desee. Es posible crear grupos para un sólo objeto. Es de gran importancia que todos los grupos tengan un nombre descriptivo.

Desarrollo: Basándose en los nombres de los grupos, se decidirá según qué criterio se clasificaron (Tabla 6).

Un pequeño grupo de estudiantes clasifica los objetos según un criterio único (clasificación mediante criterio constante). Este tipo de clasificación, desde el punto de vista de la biología, es la deseada al menos en la sistemática. Permite que el objeto se clasifique dentro de un grupo específico.

69

Tabla 6.- Clasificación de los nombres de los grupos en categorías y criterios (Krüger & Burmester, 2005).

Criterio	Categoría	Los nombres de grupo describen...	Nombres de grupo (ejemplos)
riencia	Crecimiento	... el crecimiento	Árbol, arbusto, flor, pasto,

	Forma de las hojas	... la conformación de los órganos de las hojas	Aguja, afilada, redonda
	Característica	... características ópticas y anatómicas llamativas	Espinas, flores, frutos, tronco, tallo, látex
	Color	... el color de las plantas u órganos vegetales	Amarillo, rojo
	Tamaño	... el tamaño	Plantas grandes, pequeñas
Utilidad	Usos	... la utilidad fuera de la alimentación	Material de construcción, medicamento, decoración, planta útil, maleza
	Alimentación	... la utilidad alimenticia	Verduras, cereales, comestible, venenosa, té
	Función	... funciones especiales	Descomponedora, ayuda a formar bosques
Hábitat	Extensión	... áreas de vegetación, la frecuencia de aparición	Tropical, exótica, autóctona, del sur, del norte, muy extensa
	Lugar de crecimiento	... una indicación específica de lugar	Bosque, campo, pradera, crece sobre el suelo, cubre el suelo, plantas de sombra, plantas de luz
Origen	Sistemático	... conjuntos sistemáticos, independientes de las propiedades objetivas	Musgo, hongo, cactus, leguminosas
	Parentesco	... comportamientos de parentesco, fuera de conjuntos sistemáticos, parcialmente inventados	Ortigas, setas, espigas

70

Ciclo	Estación	... la época de floración o períodos de crecimiento	De florecimiento temprano, invierno, verano, siempreverde
	Proliferación	... el tipo de proliferación	Autoproliferación, autopolinización
	Desarrollo	... procesos de desarrollo	Flores que se abren, flores que cambian

Aspectos afectivos	Tacto	... sensaciones al tacto	Quema, blando, punzante
	Estéticoemocional	... sensaciones y actitudes respecto a la planta	Fea, hermosa, mi planta favorita
	Antropomorfo	... la transmisión de rasgos humanos a la planta	Equipo vegetal, “los chicos malos”

En la reflexión sobre las distintas clasificaciones elaboradas por los propios alumnos, se mostrará qué ventajas y consecuencias conlleva la clasificación mediante criterios constantes o inconstantes. En la vida cotidiana, la clasificación mediante criterios inconstantes tiene su significado. Incluso en relaciones ecológicas, un pensamiento es, en muchos niveles de criterio, al mismo tiempo un aprovechamiento. Por el contrario, si se desea clasificar animales o plantas en grupos específicos, lo único capaz de solucionar posibles problemas de clasificación es un procedimiento a través de criterio constante (Krüger, 2006b).

En primer lugar, los alumnos clasifican a las plantas según su apariencia y utilización, donde la categoría “alimentación” juega un papel determinante. Otro criterio utilizado con frecuencia es el hábitat, con las categorías “ubicación” y “extensión”. Si bien los criterios sistemáticos no cumplen ningún rol, casi todos los estudiantes clasifican a las plantas, en forma intuitiva, según aspectos morfológicos (Krüger & Burmester, 2005). El contraste, tanto de los procedimientos comunes como de los diferentes, de los alumnos y la sistemática, debería llevar a discusiones útiles para el aprendizaje.

La clasificación sistemática de dulces de la marca alemana Haribo (también se pueden utilizar monedas, véase Figura 7) es un ejercicio motivador, seguido de la clasificación de ejemplos biológicos (árboles, frutas y verduras). La clasificación inicial y dominante de plantas, según el criterio “apariencia”, se aproxima mucho a los procedimientos que realizan los biólogos. Por esta razón, ciertos objetos vegetales son especialmente adecuados para clasificarse.

Figura 7.- Clasificación utilizando dulces Haribo como ejemplo (Krüger 2006b).



Sugerencia: Los alumnos clasifican a los animales terrestres, acuáticos y aéreos bajo el recurso “elementales” (Kattmann & Schmitt, 1996). Al otorgarles libertad para la clasificación de los animales, los alumnos no utilizan un criterio de comparación de mayor importancia (Hamman, 2002). Los objetos se pueden ordenar en dos tipos distintos: la mayoría de los alumnos harán la clasificación según distintos criterios, en forma simultánea (clasificación mediante criterios inconstantes). La clasificación mediante criterios inconstantes es, desde la perspectiva de la biología, insatisfactoria. No lleva a ninguna decisión definida sobre dónde se clasifica una planta determinada.

Modelos

Se entiende como modelo, la reproducción de un original, que se utilizará para un fin determinado. Las reproducciones pueden ser constructos teóricos (modelos de pensamiento) u objetos (modelos de ilustración). Los modelos se construyen cuando no se tiene acceso directo a un fenómeno natural. Los modelos poseen funciones:

72

- Ilustrativa, ya que interpretan estructuras, procesos o constructos teóricos.
- Económica del pensamiento, ya que facilitan el acceso a circunstancias y resolución de problemas.
- Heurística, cuando permiten la identificación y limitación de problemas, a través de su carácter hipotético.

Todo proceso de construcción de un modelo comienza con la intención de establecer relaciones de causa-efecto. Esto permite una predicción sobre el comportamiento de los elementos participantes, ante un cambio en las condiciones. Para esto, quien construye el modelo elabora una referencia de una teoría de un modelo mental, a partir del original. Este modelo mental posee características intelectuales muy importantes. Antes de que se represente en forma concreta, se le aplica una

comprobación teórica en un experimento de reflexión. Si este experimento fracasa, el modelo se modifica. Si el experimento es exitoso, se procede a elaborar un modelo de ilustración. Si este modelo falla, se modificará o eliminará. Si el modelo cumple con su finalidad, estará sujeto a la crítica, donde se identificarán las siguientes características del modelo:

- Concordancias: características adecuadas de reproducción,
 - Abreviaciones: características inadecuadas de reproducción,
- Accesorios: características teóricamente superficiales (pero prácticamente necesarias).

Un modelo debe corresponder al original en sus características principales. Deben ser adecuadas y reducirse a las esenciales, de manera que sean suficientes para permitir una predicción definida sobre el original (criterios de concordancia, adecuación, productividad). Los modelos de ilustración son fáciles de entender, cuando muestran el objeto de la forma más fiel a la realidad posible, como un modelo homólogo (por ejemplo, el modelo de un órgano). El manejo de los modelos análogos se complica cuando se utilizan únicamente las semejanzas funcionales para la construcción del modelo (por ejemplo, al comparar el ojo con una cámara).

A menudo, los alumnos ven los modelos como una copia fiel de la realidad, que debería facilitarles la visualización y la comprensión de sucesos. Sin embargo, a muchos alumnos no les queda clara la función teórica de los modelos en el proceso de obtención de conocimiento. Para desarrollar una competencia de modelos, es necesario tanto comprender como tener la capacidad de manejar modelos. Para comprender los modelos, deberían desarrollarse ideas sobre los siguientes aspectos de los modelos: características, contenido teórico, finalidad, valor predictivo, revisión, desarrollo, variedades, comprobación y legitimidad científica. Debe aclararse que los modelos hacen visibles, explican o predicen procesos y estructuras que no pueden observarse directamente en el original. Manejar modelos consiste en tener la capacidad de utilizar estos conocimientos y llegar a una elección, aplicación y valoración reflexiva de modelos.

Los resultados de los informes PISA (véase Prenzel *et al.*, 2004) muestran, en el área científica, que sólo pocos estudiantes alemanes poseen una base de conocimientos para el pensamiento con modelos. Existen estudios sobre los resultados con manejo de modelos, tanto concretos como de pensamiento, como por ejemplo Grosslight *et al.*, (1991), Harrison y Treagust (2000), Justi y Gilbert (2003). Para los alumnos, el aspecto descriptivo de los modelos se ubica claramente en el primer plano. Sin embargo, generalmente no aprovechan el rol de los modelos en el proceso científico de obtención de conocimientos. La mayoría de los alumnos tiene una idea estrecha y estereotipada de los modelos como modelos estructurales que sirven, como una copia fiel de la realidad (posiblemente a otra escala), para la visualización de objetos y que facilitan la comprensión, aprendizaje y comunicación de sucesos desconocidos (Terzer & Upmeyer zu Belzen, 2007). Van Driel y Verloop (2002), Justi y Gilbert (2002), _____ o Crawford y Cullin (2004, 2005) establecen un punto de vista limitado sobre el

rol de los modelos en ciencias, incluso para futuros profesores.

Con la ampliación del punto de vista teórico sobre la función medial de los modelos en la clase de biología, a partir de la función teórica de la obtención de conocimiento, los aspectos del pensamiento científico se acercan al foco de la misma manera en que también poseen un significado en experimentación, según Mayer (2007). La cercanía de la experimentación al trabajo con modelos se hará evidente cuando se tenga presente que los experimentos (escolares) poseen caracteres fundamentales de modelos. El paso a una vasta competencia de modelos yace en ampliar el trabajo con modelos, es decir, reflejar el pensamiento sobre el conocimiento en modelos (véase Hodson 1992). La clase de biología debe fomentar el desarrollo de competencias, que serán necesarias para una aplicación de modelos reflexiva y orientada a las ciencias y a una finalidad (véase Meisert 2008). Las condiciones necesarias para obtener conocimiento a través de los modelos y para reflexionar sobre los modelos se definirán a continuación, como competencias de modelos, en el contexto de la clase de biología, según Krüger y Upmeier zu Belzen (2009), conforme a Weinert (2001):

La competencia de modelos comprende las capacidades de obtener conocimiento mediante modelos orientados a una finalidad y de juzgar modelos en base a su finalidad. Comprende las capacidades de reflejar en la biología el proceso de obtención de conocimiento mediante modelos y modelaciones, así como la disposición para utilizar estas capacidades en situaciones problemáticas.

Krüger y Upmeier zu Belzen (2009) reúnen los planteamientos anteriormente mencionados en cinco competencias de la competencia de modelos (Tabla 7). Diferencian entre conceptos de modelos, que abarcan conceptos cognitivos individuales hacia los modelos (competencias, características y alternativas), y construcción de modelos, que comprende las capacidades cognitivas durante el proceso de construcción de modelos (competencias, finalidad, pruebas y modificaciones de modelos). Utilizando a Mahr (2008) como referencia, se definen tres niveles distintos de la competencia de modelos. Estos niveles se diferencian en qué aspecto del modelo se tomará en cuenta. Se exige considerar a los modelos como un modelo de algo, esto es, que sirvan de base para el original que representan. Sin embargo, en el nivel III falta la perspectiva de que el uso de modelos también permite sacar conclusiones a partir de la realidad modelada y que es posible transmitir los conocimientos obtenidos desde el modelo al original.

Tabla 7. Niveles de las diferentes competencias de modelos.

Niveles Dimensiones con competencias	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Conceptos de modelos			
Características de los modelos	Modelos son copias <i>de</i> algo	Modelos son representaciones idealizadas <i>de</i> algo	Modelos son reconstrucciones teóricas <i>de</i> algo
Modelos alternativos	Descripción de diferencias entre los <i>modelos de objetos</i>	El objeto inicial permite la elaboración de distintos modelos <i>de</i> algo	Comparación dirigida por hipótesis de distintos modelos <i>para</i> algo
Construcción de modelos			
Finalidad de los modelos	Aplicación del modelo del objeto / descripción <i>de</i> algo	<i>Para</i> la explicación de relaciones y correlaciones <i>de</i> variables en el objeto inicial	Predicción sobre relaciones de variables <i>para</i> futuras obtenciones de nuevos conocimientos
Pruebas de modelos	Prueba estructural / funcional del <i>modelo del objeto</i>	Realizar un contraste con el objeto inicial Probar el modelo <i>de</i> algo	Verificar las hipótesis mediante aplicación Probar el modelo <i>para</i> algo

Modificaciones de modelos	Solucionar defectos estructurales o funcionales del <i>modelo del objeto</i>	Revisión del modelo como modelo <i>de</i> algo a través de nuevas obtenciones de conocimiento o perspectivas actuales	Revisión del modelo <i>para</i> algo a partir de hipótesis falsas
----------------------------------	--	---	---

Propuesta para un Seminario de Manejo de Modelos

Objetivo del seminario: Los participantes explicarán el significado de los modelos en ciencias y en la escuela. Los participantes desarrollarán estrategias para fomentar la competencia de modelos de los alumnos, basada en un modelo de competencias.

Introducción: ¿Qué es un modelo en ciencias naturales? ¿Qué finalidad tienen los modelos en ciencias naturales? ¿Qué debe ser la semejanza entre el modelo y el objeto inicial? ¿Cuándo modificarían los científicos un modelo? ¿Puede haber, en ciencias naturales, más de un modelo para un objeto inicial? (Crawford & Cullin, 2004).

Instrucción: Reflexione, en forma individual, sobre el rol y significado de los modelos, mediante la formulación de preguntas, y anote sus pensamientos sobre estas preguntas.

Desarrollo: Se divide a los estudiantes en cuatro grupos. La mitad trabajará con la tarea A, la otra mitad, con la tarea B.

Tarea A: Plantee el rol de los modelos en la obtención de conocimientos en ciencias naturales, basándose en el artículo de Watson y Crick (1953). Utilice las preguntas elaboradas en el material.

Tarea B: Plantee el rol de los modelos en la escuela, basándose en modelos estructurales y representaciones de la estructura del ADN, presentes en el texto escolar. Utilice las preguntas elaboradas en el material.

Los participantes presentarán las perspectivas científicas y mediales de los modelos, en forma separada, según el grupo de trabajo. Al término, se definirá la competencia de modelos y se presentará el modelo de competencias de Krüger & Upmeyer zu Belzen (2009). Representantes de ambos grupos elaborarán estrategias para la comunicación del rol de los modelos en la obtención de conocimientos en ciencias naturales, durante la clase de biología.

Comentarios Finales

Nuestro deseo en este trabajo ha sido crear un debate sobre un conjunto concreto de ideas para presentar una introducción a la Didáctica de la Biología. Nos hemos esforzado en aclarar nuestra posición teórica referente a la enseñanza y el aprendizaje en biología. Esta convicción fundamental se refleja también en la realización del seminario, en el que se debería intervenir menos y estimular más. A través de los diferentes ejemplos se pretende realizar una forma de provocación hacia el estudiante, el cual, en conjunto con los compañeros de estudio, se esfuerce por encontrar la manera de solucionarla. El objetivo es resolver un conflicto cognitivo que pueda surgir en biología, entre perspectivas de pensamiento y manejo referentes a los contenidos de estudio y el mundo de la vida real. Es evidente que pueden existir puntos de vista contradictorios en nuestras mentes sin causar mayores problemas, sin embargo, a veces, es necesario poner en problemas a los participantes al enfrentarse con sus propias limitaciones. No se trata de comprometer a los alumnos, sino más bien esperamos que al participante se le de la oportunidad y el tiempo para comenzar con un debate consigo mismo, con la Didáctica de la Biología y con su papel en la enseñanza de biología dentro del aula. Finalmente, esperamos que este artículo motive a los académicos, a los profesores en formación y a los profesores en servicio para enseñar la Didáctica de la Biología exitosamente y para que también la biología se enseñe de la mejor forma posible.

Referencias

- Baumert, J. & M. Kunter (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 9: 469-520.
- Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Dubberke, A., Jordan, A., Klusmann, U., Tsai, Y.-M. & M. Neubrand (2006). Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem fachspezifischen Professionswissen von Mathematiklehrkräften und ihrer Ausbildung sowie beruflichen Fortbildung? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 9: 521-544.
- Crawford, B.A. & M.J. Cullin (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education* 26: 1379-1401.
- Crawford, B.A. & M.J. Cullin (2005). Dynamic Assessment of preservice teachers' knowledge of models and modelling. En: Boersma, K., Goedhart, M., de Jong, O & H.Eijkelhof (Hrsg.), *Research and the Quality of Education*. Dordrecht: Springer, 309-323.
- Deutsches PISA-Kosortium (2000). Schülerleistungen im internationalen Vergleich: Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Online im Internet: <http://www.mpib-berlin.mpg.de/pisa/Rahmenkonzeptiondt.pdf>.
- Duit, D. (2009). Bibliography – STCSE Students' and Teachers' Conceptions and Science Education. Online in Internet: <http://www.ipn.unikiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.

- Glaserfeld, E. von (1984). An introduction to radical constructivism. En: Watzlawick, P. (ed.), *The invented reality*. New York: Norton, 1740.
- Glaserfeld, E. von (1995). *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. London: Falmer Press.
- Gropengießer, H. (1997). Aus Fehlern beim Mikroskopieren lernen. *Unterricht Biologie* 230: 46-47.
- Gropengießer, H. (2001). Didaktische Rekonstruktion des „Sehens“. *Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung*. Oldenburg: Zentrum für pädagogische Berufspraxis.
- Gropengießer, H. (2002). Sehen – Schülervorstellungen, wissenschaftliche Theorie und deren Vermittlung. *Unterrichtsanregung. Materialien des IPN zum BLK-Programm SINUS zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts*.
- Gropengießer, H. (2006). Lebenswelten / Denkwelten / Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. *BzDR 4*, Oldenburg: DiZ.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verfahrens. En: Krüger, D. & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin u.a.: Springer, 105-116.
- Gropengießer, H. & U. Kattmann (2006). *Fachdidaktik Biologie*. Köln: Aulis Deubner (7.Auflage).
- Gropengießer, H., U. Kattmann & D. Krüger (2010). *Biologiedidaktik in Übersichten*. Aulis Verlag
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & C.L. Smith (1991). Understanding Models and their Use in Science. *Conceptions of Middle and High School Students and Ex-perts. Journal of Research in Science Teaching* 28: 799-822.
- Hammann, M. (2002). *Kriteriengeleitetes Vergleichen im Biologieunterricht*. Innsbruck: Studienverlag.

79

- Harrison, A.G. & D.F. Treagust (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education* 22: 1011-1026.
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.
- Hodson, (1992). In search of a meaningful. An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education* 14: 541-562.
- Justi, R.S & J. Gilbert (2002). Modelling, teacher`s view on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education* 24: 369-387.
- Justi, R.S. & J. Gilbert (2003). Teacher`s view on the nature of models. *International Journal of Science Education* 25: 1369-1386.
- Kattmann, U. & A. Schmitt (1996). Elementares Ordnen. Wie Schüler Tiere klassifizieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2: 21-35.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005).

Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. München u.a.: Wolters Kluwer.

- Krüger, D. (2006a). Mit dem Mikroskop Erkenntnisse gewinnen. En: D. Krüger & J. Mayer (Hrsg.), Unterricht Biologie 318, Forscherheft – Biologisches Forschen planen und durchführen, 3-8.
- Krüger, D. (2006b). Objekte vergleichen: gleich oder verschieden? En: D. Krüger & J. Mayer (Hrsg.), Unterricht Biologie 318, Forscherheft – Biologisches Forschen planen und durchführen, 18-21.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. En: D. Krüger & H. Vogt (2007). Theorien in der biologiedidaktischen Forschung, Berlin: Springer Verlag, 81-92.
- Krüger, D. & Burmester, A. (2005). Wie Schüler Pflanzen ordnen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11: 85-102.
- Krüger, D. & Gropengiesser, H. (2006). Hau(p)tsache Atmung - Beim Experimentieren wissenschaftlich denken lernen. *MNU* 59/3, 169176.
- Krüger, D. & A. Upmeyer zu Belzen (2009). Modellkompetenz im Biologieunterricht – Struktur und Entwicklung. Referierter Tagungsband zur internationalen Tagung der Fachgruppe Didaktik der Biologie (FDdB) im VBIO, Kiel: Breitschuh & Kock GmbH, 48-49.

80

- Kuhn, T.S. (1976). Die Struktur wissenschaftlicher Revolution, (2. Auflage). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Mahr, B. (2008). Ein Modell des Modellseins. Ein Beitrag zur Aufklärung des Modellbegriffs. En: Dirks, U. & E. Knobloch (Hrsg.), Modelle. Frankfurt am Main u.a.: Peter Lang, 187-218.
- Mayer, H. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. En: Krüger, D. & H. Vogt (Hrsg.), Theorien der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin u.a.: Springer, 177-186.
- Meisert, A. (2008). Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen. *ZfDN* 12, 243-261.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & W.A. Gertzog (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66: 211-227.
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J. & U. Schiefele (2004). PISA 2003. Ergebnisse des internationalen Vergleichs. Zusammenfassung. Online in Internet: http://www.pisa.ipn.uni-kiel.de/Ergebnisse_PISA_2003.pdf [Stand: 29.08.2007].
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. En: Krapp, A. & B. Weidmann (Hrsg.), Pädagogische Psychologie. Weinheim: Beltz PVU, 611-658.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review* 57: 1-22.
- Steinecke, F. & R. Auge (1976). Experimentelle Biologie. Darmstadt: Quelle & Meyer Verlag.
- Strike, K.A. & G.J. Posner (1992). A revisionist theory of conceptual change. En: Duschl, R. & Hamilton, R. (eds), Philosophy of science, cognitive psychology and

educational theory and practise. New York: New York University Press, 147-176.

Terzer, E. & A. Upmeyer zu Belzen (2007). Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung durch Modelle – Modellverständnis als Grundlage für Modellkompetenz. *IDB* 16: 33-56.

Van Driel, J.H. & N. Verloop (2002). Experienced teachers` knowledge of teaching and learning of models and modeling science education. *International Journal of Science Education* 24: 1255-1272.

81

Watson, J.D. & F.H.C. Crick (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids. *Nature* 171: 737-738.

Weinert, F.E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. En: Weinert, F.E. (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen*. Weinheim: Beltz, 17-31.

Wellnitz, N. & J. Mayer (2008). Evaluation von Kompetenzstruktur und -niveaus

