

¿Qué biología enseñar y cómo hacerlo? Hacia una resignificación de la Biología escolar¹

Julio Alejandro Castro Moreno*
Édgar Orlay Valbuena Ussa*

Artículo recibido: 24-9-2007 y aprobado: 12-10-2007

What biology to teach and how to make it? Towards a rethinking of biology at school context

■ **Resumen:** Se abordan dos cuestiones esenciales de la enseñanza de la Biología, las cuales derivan de algunas particularidades que le imprimen autonomía a esta ciencia: ¿cuáles deberían ser los contenidos (conceptos, disciplinas, procedimientos, etc.) a ser enseñados en la escuela? Y ¿qué procedimientos (métodos, estrategias, etc.) son los más adecuados para poder enseñar dichos contenidos? Igualmente, se reconoce que no se trata de hacer un transferencia directa de los contenidos biológicos desde la lógica disciplinar a su enseñanza, ya que se asume que el conocimiento biológico escolar emerge a partir de la integración y transformación de la Biología, la Didáctica, el conocimiento del profesor y de los estudiantes, las características del contexto, entre otros aspectos.

Palabras clave: conceptos estructurantes de la Biología, procedimientos de la Biología, enseñanza de la Biología, experimentación, narración histórica.

■ **Abstract:** The authors discuss about two aspects of biology teaching which come from biology as an autonomous science: what biology subjects should we teach at school? and, what procedures should we use to teach them? In this way we believe that is not correct to teach biology only from scientific perspective, because biological school knowledge is born from relationships between many kinds of knowledge.

Keywords: Biology's structural concepts, biology's procedures, biology teaching, experimentation, historical narration.

¹ Los autores expresamos nuestros agradecimientos al Profesor Rómulo Gallego, por la invitación a participar en este número de la revista TEΔ.

* Profesores del Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. Miembros del Grupo de Investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias. jcastro@pedagogica.edu.co y edgarorlay@hotmail.com

Para un niño, «conocer la naturaleza», hablar de los animales y de las plantas, reconocerse como individuo vivo y reconocer en los demás las mismas características propias del ser viviente, sentirse parte de un sistema del que también otros forman parte, puede responder a una necesidad mucho más profunda que la de adquirir unas simples nociones de Biología. Es importante que también en la educación escolar estas exigencias, no siempre experimentadas en el nivel consciente, puedan salir a la luz y encontrar una serie formal de palabras mediante las que expresarse hasta constituir la base de un «modo de pensar biológico» que pueda representar para cada uno una guía importante con el fin de formar el propio sistema general de conocimiento.

M. Arcá, P. Guidoni y P. Mazzoli,
Enseñar ciencia.

Introducción

Aunque el título de este artículo puede ser interpretado como una receta para enseñar mejor, nuestra intencionalidad está muy lejos de ello. Nuestro propósito central es reconocer algunas particularidades de la Biología que derivan en importantes implicaciones didácticas. Así como no es lo mismo enseñar Matemáticas que enseñar Educación Física, de igual modo argumentamos que la enseñanza de la Biología debe dar cuenta de algunos aspectos que son inherentes a esta ciencia. En ese orden de ideas, también reconocemos que no basta con saber Biología para enseñarla, ya que ello demanda varios tipos de saberes que se integran de manera coherente en lo que se ha denominado el Conocimiento Profesional del Profesor. Dicho conocimiento le confiere al docente la competencia para transformar e integrar los diferentes saberes que confluyen en el aula de clase de Biología (los de origen científico, los de origen cotidiano, los contextuales, etc.), de tal forma que se

produzca el conocimiento biológico escolar, al que denominaremos en adelante Biología Escolar.

Así pues, en este escrito presentamos las relaciones entre las estructuras sustantiva y sintáctica del conocimiento biológico y la enseñanza de esta ciencia, concretamente en lo que atañe a los contenidos y la metodología.

La estructura del conocimiento biológico y su relación con los contenidos de enseñanza

En este apartado discutiremos acerca de la estructura sustantiva de la Biología, frente a lo cual mostraremos diferentes propuestas que se han hecho al respecto y finalizaremos dejando sentada una propuesta sobre conceptos que deberían constituir el sustrato para la organización de los contenidos de enseñanza.

Las nociones centrales de la Biología

Como lo expresa Mayr (1998), la Biología es una ciencia altamente diversificada debido a:

- La variabilidad de organismos que estudia.
- Los amplios niveles jerárquicos que aborda: desde el nivel molecular al de biotas, pasando por el celular, de tejidos, órganos, organismos, etc.
- La diversidad de campos de estudio: así, para cada nivel de organización existe una especialidad, por ejemplo: Genética, Citología, Anatomía, Etología, Sistemática, etc.

Dado el vasto universo que está implícito en la Biología, discriminar qué es lo esencial en ella resulta bastante complicado. Para abordar esta cuestión podemos tener en cuenta dos criterios:

por una parte, la clasificación que se hace de los diferentes campos o disciplinas de las ciencias de la vida (es decir la forma como están estructuradas), y por

otra, las características que identifican a lo vivo. En la Tabla 1 se sintetizan algunas clasificaciones de los campos de estudio de la Biología.

Tabla 1. Clasificación de los campos de estudio de la Biología

Criterio	Clasificación de disciplinas biológicas
Tradiciones	Historia Natural: Sistemática, Biología Comparada, Ecología y Biología Evolutiva. Medicina: Anatomía y la Fisiología
Tipo de método aplicado	Método comparativo: evolución, Morfología comparada, Fisiología comparada, Embriología comparada, Psicología comparada, etc. Principalmente a partir de la observación (enfoques naturalistas). Generalmente responde a problemas de causación remota. Experimentación: Fisiología, Embriología, Citología. Generalmente responde a problemas de causación próxima (predominio de investigaciones en procesos funcionales).
Tipo de causas	Escuela de causación evolutiva o remota: Biología evolutiva, Genética de poblaciones, Etología, Sistemática, Morfología comparada, filogenia. Utiliza métodos comparativos a partir de la observación; estudia principalmente genotipo y su historia; generalmente se determinan por inferencias a partir de narraciones históricas. Escuela de causación próxima: Fisiología (de órganos, celular, etc.), Biología Molecular, Morfología funcional, Biología del desarrollo, Genética. La mayoría son mecánicas (desciframiento de programas genéticos o somáticos ya existentes); estudian fenotipo, el funcionamiento.
Tipo de pregunta	Preguntas del tipo ¿qué?: Biología descriptiva: Taxonomía, Morfología, Biología Molecular, Biología Evolutiva, Fisiología. Biodiversidad y Ecología (estudio de interacciones). Preguntas del tipo ¿cómo?: Biología funcional: Fisiología, Embriología. Estudia causas próximas; principalmente disciplinas biológicas fisicistas. Preguntas del tipo ¿por qué?: Evolución. Principalmente de tipo histórico y evolutivo.
Consideración morfológica	Separación jerárquica en Citología, Histología, Fisiología de los órganos
Enfoque más o menos jerárquico	Biología Molecular, Biología Celular, Genética, Biología del desarrollo, Biología regulatoria, Biología de grupos y Biología ambiental.
Comité de Ciencias de la Vida, de la Academia Nacional (USA)	Biología Molecular y Bioquímica Genética Biología Celular Fisiología Biología del desarrollo Morfología Evolución y sistemática Ecología Biología del comportamiento Nutrición Mecanismos de la enfermedad Farmacología.

Algunas clasificaciones de los campos de estudio de la Biología. Las líneas indican las relaciones entre clasificaciones. (Tomado de Valbuena, 2007: p. 126, a partir de Mayr, 1998).

De acuerdo con Mayr (1998) se han realizado numerosos intentos por clasificar los campos de la Biología, sin embargo hasta el momento ninguno ha resultado satisfactorio. Entre las clasificaciones reportadas en la historia de la Biología la más criticada fue aquella que reconocía tres ramas: descriptiva, funcio-

nal y experimental. Se le criticó básicamente por los siguientes errores: excluir campos como la evolución, desconocer que todas las ramas necesitan descripciones y asumir que la experimentación solamente es importante como método de análisis en la Fisiología.

El autor al que hacemos referencia destaca los aportes del simposio realizado en 1955 por el Consejo de Biología para analizar conceptos biológicos y la representación de la estructura de la Biología. En dicho evento surgieron criterios muy variados para su clasificación. A continuación se citan los que tuvieron mayor acogida:

- Propuesta de Mainx: Morfología, Fisiología y otras materias, tomando como base la consideración morfológica la mayoría se dividen jerárquicamente en Citología, Histología, Fisiología de los órganos, etc.
- Weiss propone un enfoque más o menos jerárquico: Biología Molecular, Biología Celular, Genética, Biología del desarrollo, Biología regulatoria, Biología de grupos y Biología ambiental (agrupando acá aspectos de la Biología orgánica como son la Sistemática, la Biología evolutiva, la Biología ambiental y del comportamiento).

En 1970 el Comité de Ciencias de la Vida de la Academia Nacional de Estados Unidos reconoció doce categorías, tres de las cuales correspondían a campos aplicados de la Biología. Las categorías eran: 1) Biología Molecular y Bioquímica, 2) Genética, 3) Biología celular, 4) Fisiología, 5) Biología del desarrollo, 6) Morfología, 7) Evolución y Sistemática, 8) Ecología, 9), Biología del comportamiento, 10) Nutrición, 11) mecanismos de la enfermedad, y 12) Farmacología. A esta clasificación se le critica haber considerado la sistemática y la Biología evolutiva como una misma disciplina (*Íbid*). Por su parte Cañal (2004) señala que actualmente existen 80 subdisciplinas biológicas.

Otro criterio presentado por Mayr (1998) es el tipo de pregunta que suscita las investigaciones como: *¿qué?*, *¿cómo?* y *¿por qué?* Al tipo de preguntas del qué, corresponderá la Biología descriptiva. El cómo corresponde a la principal pregunta de la Física, de tal forma que las disciplinas biológicas que enfatizan en esta pregunta son las dominadas por el pensamiento fisicalista como es el caso de la Fisiología y la Embriología. Estas disciplinas biológicas enfatizan sus estudios en las causas próximas, del aquí, del ahora. Las disciplinas biológicas que responden al tipo de pregunta del por qué principalmente se refieren a aspectos evolutivos e históricos, a las causas remotas.

Ahora bien, a continuación describimos las nociones centrales de la Biología relacionadas con las características de lo vivo. Según Mayr (1998), se destacan como fenómenos específicos de los seres vivos:

- Los programas evolucionados: los organismos desde bacterias hasta el hombre compartimos genes que han evolucionado durante millones de años.
- Las propiedades químicas: la capacidad de los organismos para metabolizar moléculas involucradas en estructuras y procesos vitales.
- Los sistemas reguladores y de organización: la capacidad de regularse de los organismos.
- Los sistemas teleonómicos: desde el desarrollo embrionario hasta las actividades fisiológicas y de comportamiento para la adaptación por selección natural.

Para el autor en mención, la evolución es la noción central de la Biología. En ella se mantiene vigente el principio de

la invariancia reproductiva (replicación del material genético) y la coherencia teleonómica de los organismos. Destaca como conceptos importantes de la Biología evolutiva, entre otros: selección, territorio, competencia, altruismo, biopoblación, etc. Según Moore (citado por Fischer, Wandersee y Moody, 2000, p. 29) los núcleos conceptuales de la Biología son la Evolución, la Genética y la Biología del desarrollo. Éstos corresponden a los subdominios de las características fundamentales de la vida que conllevan la propiedad de la reproducción.

Como hemos visto, todos estos intentos de organización conceptual-disciplinar de la Biología han llevado a la propuesta de varias categorías. De acuerdo con Mayr (1998 y 2006) y Jacob (1999), la Biología se puede dividir solamente en dos grupos de disciplinas: la funcional y la evolutiva (o experimental e histórica). La primera se caracteriza por la experimentación, por recurrir a causas próximas, por hacer explicaciones acerca del individuo y por plantearse preguntas relativas al cómo; mientras que la segunda se basa, principalmente, en las narraciones históricas, en dar cuenta de las causas remotas, en explicar fenómenos poblacionales y en formularse cuestiones relacionadas con el por qué.

Desde nuestra perspectiva, todos estos intentos de clasificación (u organización de la estructura sustantiva de la Biología), han enfatizado en las diferencias entre disciplinas, pero poco se ha avanzado en identificar los aspectos en común que ellas tienen. En ese sentido, creemos que la propuesta de los conceptos estructurantes puede ayudarnos a construir una estructura conceptual de la Biología más oportuna y

con más posibilidades para la enseñanza de esta ciencia.

Los conceptos estructurantes de la Biología y su enseñanza

Según Gagliardi (1986), un concepto estructurante es aquel que le permite al sujeto que aprende transformar su sistema cognitivo y, de esa manera, puede construir otros saberes, organizar los datos de otra forma y transformar los conocimientos anteriores. En esa perspectiva, dichos conceptos no serían nuevos temas a enseñar, sino objetivos o estrategias que posibilitarán la construcción de nuevos conceptos. Sin embargo, antes de proponer los conceptos estructurantes que posibilitarían el aprendizaje de una ciencia, es menester definir cuáles serían éstos. De acuerdo con el autor en mención, la Biología tendría, al menos, tres conceptos estructurantes: la dominación del nivel macroscópico por el microscópico; los sistemas jerárquicos de restricciones múltiples y mutuas y la autopoiesis.

Aunque compartimos lo planteado por Gagliardi, en lo que sigue nos arriesgaremos a hacer una propuesta más amplia (en el sentido de considerar más conceptos). De todas maneras, aclaramos que solamente vamos a esbozar² cuáles podrían ser los conceptos estructurantes de la Biología y cuál sería la mejor estrategia para interrelacionar-

² Tenemos claro que hacer una propuesta más sustentada demandaría otros trabajos, y nuestro estado actual de conceptualización al respecto, así como el espacio disponible en esta publicación, no nos permiten dar cuenta de la problemática que hemos trazado. En pocas palabras, estamos indicando cuál podría ser el camino a seguir, pero aún falta emprenderlo.

los. Es decir, cuál sería la manera más apropiada de representar la estructura conceptual de la Biología. Teniendo en cuenta que *“La enorme diversidad de los organismos vivos y su complejidad hacen que la Biología sea difícil de aprender”* (Gagliardi, 1986, p. 32), asumimos que debe haber más de tres conceptos estructurantes en esta ciencia.

Quizá el concepto más abarcador, más central o más estructurante, sea el de organización, entendido como aquello que es asequible para comparar los organismos, su propiedad común, es decir, *“el sistema de relaciones que se articulan en la profundidad del ser vivo para hacerlo funcionar. Esta estructura de segundo orden es la organización que reúne en una misma coherencia lo visible y lo oculto”* (Jacob, 1999:89). Pero este concepto no basta para caracterizar lo vivo, es preciso definir otros que ayuden a comprenderlo. Uno de ellos sería el de *integrón*, o sea cada subunidad que se integra con otras para producir una unidad más compleja. De esta manera, los sucesivos niveles de integración van materializando una organización en particular: *“Esta jerarquía de integrones, este principio de la caja hecha de cajas queda ilustrada en el nivel microscópico por la elaboración de las estructuras proteicas en el seno de la célula”* (Jacob, 1999, p. 282).

Hay que aclarar que cuando se conjugan integrones para producir un integrón de un nivel mayor, ello implica la emergencia de propiedades que en los constituyentes no existían, pero que se expresan en la nueva unidad. En ese sentido, *“Todo sistema y todo integrón pierden algunas de sus características cuando se descomponen, y muchas de*

las interacciones más importantes de los componentes de un organismo no tienen lugar al nivel fisicoquímico, sino en un nivel de integración superior”

(Mayr, 1998: 35).

Lo anterior nos remite al concepto de sistema, por lo cual hay que tener en cuenta que algunas de las características de los fenómenos biológicos se diferencian esencialmente de los físicos. Por ejemplo, desde el punto de vista termodinámico, en la teoría general de los sistemas, Bertalanffy (1976) hace una distinción entre los sistemas físicos y los biológicos. Con la segunda ley se introduce la idea de los procesos irreversibles, la cual contrasta con el pensamiento biológico que muestra que el universo vivo evoluciona del desorden al orden, hacia un estado de creciente complejidad. Así, los sistemas vivos son abiertos (desde el punto de vista energético) y no pueden ser descritos por la termodinámica clásica (Capra, 2000).

En este orden de ideas, podríamos decir que los sistemas a los que hemos hecho alusión, deberían ser denominados como biosistemas (Mahnner y Bunge, 2000), entendidos como sistemas materiales que se caracterizan por tres propiedades. En cuanto a su composición, ésta está conformada principalmente por ácidos nucleicos y proteínas. En lo que atañe a su ambiente, éste aporta los materiales precursores de sus componentes. Finalmente, su estructura, incluiría las capacidades de metabolizar, de automantenerse y autorrepararse.

Como ya se ha insinuado, los biosistemas no son estáticos, sino que se modifican en el espacio y en el tiempo. De ahí que consideramos como relevante

el concepto de transformación, el cual implicaría los de interacción y proceso. A la transformación la entendemos desde diferentes perspectivas. Por ejemplo, los procesos e interacciones que conllevan el cambio evolutivo, los que posibilitan el desarrollo de un organismo, los que están inmersos en el metabolismo y, en general, los que dan cuenta de todas las funciones desarrolladas por las entidades vivientes.

Lo anterior nos abre las puertas para proponer otro concepto estructurante de la Biología: el de diversidad. Este concepto permitiría comprender la variedad de formas y procesos que se llevan a cabo en el mundo viviente. Por ejemplo, los diferentes tipos de especies que existen y han existido, los tipos de moléculas que hacen parte de la estructura y función de los organismos, los diferentes fenotipos y genotipos al interior de una especie, las distintas clases de células en un organismo pluricelular, las diferentes castas pertenecientes a una colonia de insectos sociales, los diferentes ecosistemas existentes en la biósfera, etc. El concepto de diversidad implica el de clasificación o sistematización, el cual es muy útil para ordenar nuestro saber en medio de tanta variedad.

Otro concepto clave en la Biología, y que compartimos con Gagliardi (1986), es el de autopoiesis, la cual es la propiedad que caracteriza a las máquinas autopoieticas: "Por consiguiente, una máquina autopoietica continuamente específica y produce su propia organización a través de la producción de sus propios componentes, bajo condiciones de continua perturbación y compensación de esas perturbaciones" (Maturana y Varela, 1994, p. 69). Dicho concepto

podría ser análogo al de morfogénesis autónoma (Monod, 1993), con la salvedad de que el autor francés hace énfasis en las propiedades de los componentes y los chilenos en las relaciones entre propiedades. A su vez, la autopoiesis implica los conceptos de *homeostasis*, *equilibrio dinámico* y *regulación*. En palabras de Canguilhem (1988, p. 169) "Se reconoce hoy que el modo de existencia de lo viviente es el de un sistema en equilibrio dinámico inestable, mantenido en su estructura de orden por un préstamo continuo de energía a expensas de un medio caracterizado por el desorden molecular".

Un último concepto que aquí sólo mencionamos es el de reproducción o invariancia reproductiva (Monod, 1993). Reconocemos que éste, al igual que los demás, no es una propiedad de los organismos individuales, sino del fenómeno viviente en su conjunto. Si lo vivo no se reprodujera ya se habría extinguido hace mucho tiempo.

Una vez descritos, brevemente, los conceptos estructurantes de la Biología que proponemos, asumimos que éstos deberían interrelacionarse de diversas maneras, para lo cual consideramos que la estrategia más apropiada es la de las redes conceptuales, tal y como han sido definidas por Galagovsky (1996).

Indudablemente, cuando la estructura conceptual de la Biología haya sido reelaborada y consensuada por la comunidad de biólogos (y de otros profesionales), los docentes de biología podríamos repensar cómo ella se hace objeto de enseñanza. En ese sentido, no consideramos que se deban obviar las temáticas que tradicionalmente se han enseñado, sino que éstas estarían orien-

tadas por los conceptos estructurantes. Nos parece más importante que nuestros estudiantes desarrollen un pensamiento sistémico de la Biología³, en lugar de que definan qué es una célula o un ecosistema y no establezcan relaciones entre ellos:

No basta una transformación de los programas decidida por las autoridades educacionales para provocar un cambio decidido en la educación. Creemos que es necesario limitar los programas de estudio, pero creemos que es mucho más importante definir cuáles son los conocimientos que determinan la construcción de los conceptos estructurantes, y las actividades que la favorecen, y que al mismo tiempo permiten que el alumno se valore no por la repetición de cosas ya hechas, sino por el descubrimiento de sus propias capacidades (Gagliardi, 1986: 32).

Asumimos que dar cuenta de la estructura sustantiva de la Biología es, en primer lugar, una tarea del maestro y de los proyectos curriculares de formación docente. Ésta sería, entonces, una ruta, una bitácora, que le permita planear sus estrategias de enseñanza. Es posible que el estudiante no dé cuenta de qué es un concepto estructurante, pero es factible que los haya elaborado y los use para construir e integrar otros saberes. En tal sentido: "Making connections between our students and the world they live in is important. This only occurs when teachers possess a «big picture» view of biology. The «big picture» view requires a well-organized and well-integrated knowledge base supported by an appro-

priate level of detail" (Fisher, Wandersee, and Moody, p. 54).

Creemos haber dado cuenta del qué debería ser enseñado en las clases de Biología. En el siguiente apartado exponemos algunas características particulares del proceder de esta ciencia y sus implicaciones en la enseñanza.

La Biología y sus procedimientos. Implicaciones para la enseñanza

A continuación describiremos la experimentación biológica, las narraciones históricas, el trabajo de campo, la observación y la modelización, como principales formas de producir conocimiento biológico en los contextos científico y escolar.

La experimentación biológica

Como ya hemos anotado, Mayr (1998 y 2006) y Jacob (1999), proponen que la Biología se puede dividir en dos grupos de disciplinas: experimental e histórica. Sin embargo, para Caponi (2003), no sería prudente hacer tal separación ya que en la Biología de poblaciones también se llevan a cabo experimentos, los cuales tendrían aspectos en común con los que se realizan en la Fisiología, pero se diferenciarían de éstos por utilizar otro tipo de variables:

En los experimentos de biología funcional, podríamos decir, se manipulan y controlan variables físico-químicas que afectan esos sistemas físicos complejos que son los organismos individuales. En los experimentos de biología evolutiva, en cambio, se manipulan y controlan variables biológicas y, tal vez, geográficas, que afectan esos sistemas irreduciblemente biológicos que son las poblaciones. Unos, digamos, son un tipo muy particular de experimento

³ Y, a partir de él, reconozcan en la célula o en el ecosistema los conceptos que hemos descrito.

físico; los otros, en cambio, son experimentos de una índole diferente: son experimentos poblacionales. (Caponi, 2003: 93).

Si bien coincidimos con este autor en que no es apropiado dividir la Biología en las dos ramas mencionadas, nos distanciamos de él cuando defiende que el experimento fisiológico es un tipo especial de experimento físico, sin desconocer que éste se asemeja a los realizados en las ciencias fisicoquímicas. Asimismo, compartimos su preocupación por resaltar lo poblacional en el trabajo experimental de la Biología, aunque es preciso anotar que no se pueden hacer experimentos para demostrar el proceso evolutivo seguido por determinado linaje. En ese sentido, proponemos que en la escuela se posibilite que los estudiantes planteen ciertas experiencias que les permitan comprender la compleja dinámica de las poblaciones biológicas⁴. Para tal efecto, un buen material de estudio, como el mismo Caponi propone, es la *Drosophila melanogaster*.

En relación con lo anterior, sostenemos que en la enseñanza de la Biología (como en las demás ciencias experimentales), la experimentación no se debe reducir a la corroboración de una idea ya establecida, ni a la repetición inconsciente de los procedimientos hechos por otros, ni mucho menos, al entretenimiento del estudiante. Lo que nos interesa es que la experiencia sea problematizada, ya que una práctica

aprobática no es más que una actividad mecánica y sin sentido:

Tomemos un ejemplo. En una lección sobre la contracción muscular, se definirá ésta como una modificación de la forma del músculo sin variación de volumen y, en caso de necesidad, experimentalmente se establecerá según una técnica cuyo esquema ilustra cualquier manual escolar: un músculo aislado, colocado en un frasco lleno de agua, se contrae bajo la excitación eléctrica, sin variación del nivel del líquido. Nos sentiremos felices de haber establecido un hecho. Ahora bien, es un hecho epistemológico que un hecho experimental mostrado de esta forma no tiene ningún sentido biológico. Es así y de este modo. Pero si nos remontamos al primer biólogo que ha tenido una idea experimental de este género, o sea a Swammerdam (1637-1680) este sentido aparece al instante. (Canguilhem, 1976, p. 16).

Lo anterior entraría en el terreno de los problemas (en este caso en el ámbito de la Historia de la Biología), si se reconociera que Swammerdam propuso su experimento para “demostrar que la contracción del músculo no se produce por la llegada de espíritus animales a partir del nervio; si no, se habría hinchado” (Giordan *et ál.*, 1988, p. 29). A esta situación se le agrega que “Hoy en día, este mismo experimento aparece en los manuales escolares. No obstante, el epígrafe ha cambiado: «el músculo no cambia de volumen cuando se contrae» (mientras que la conclusión original de Swammerdam era: «durante la contracción, el músculo ocupa un lugar reducido»). Se olvida simplemente mencionar lo que interesa desde el punto de vista

⁴ Recuérdese lo importante que es el pensamiento poblacional en la Biología, en contraposición con el pensamiento tipológico. Para ampliar esta discusión recomendamos revisar el texto de Mayr (2006).

cultural: lo que se pensaba antes y que llevó a hacer el experimento” (Giordan *et ál.*, 1988, p. 29).

Veamos ahora por qué disentimos de Caponi (2003) con respecto a los experimentos de la Fisiología.

Un primer punto que queremos poner de presente, es que, si bien, las técnicas experimentales de la Fisiología *parecen* ser similares a las de las otras ciencias, “la experimentación biológica no puede limitarse a copiar los principios y las prácticas de experimentación en Física o en Química, es Claude Bernard quien enseña, y en primer lugar por el ejemplo, que el biólogo debe inventar su técnica experimental propia” (Comte, citado por Canguilhem, 1976, pp. 25-26). A lo que podemos agregar que: “En biología, diremos, el problema no es utilizar los conceptos experimentales, sino constituir experimentalmente los conceptos auténticamente biológicos” (Canguilhem, 1976, p. 20), lo cual redundaría en que se tengan en cuenta las particularidades del objeto de estudio y los procedimientos singulares a seguir.

Canguilhem (1976), retomando los planteamientos de Comte y Bernard, nos advierte acerca de la necesidad de tener en cuenta algunas precauciones metodológicas originales, a la hora de experimentar en Biología.

La primera de ellas es la especificidad⁵ del objeto de estudio, ya que nada es más importante que su elección. Jacob

(1998, p. 69), en relación con el cambio de material de estudio, cuando decidió modificar sus investigaciones desde la regulación genética en bacterias hacia la diferenciación celular en animales, comenta: “La mayoría de los científicos, los biólogos en particular, una vez embarcados en un tipo determinado de investigación, con un material concreto, jamás cambian. Van pasando así toda su existencia, con mayor o menor acierto en su capacidad de invención”. Con respecto a su situación particular, el mencionado autor, se plantea lo siguiente:

(Si quería estudiar la diferenciación) ¿Cómo decidir entre los organismos favoritos de los embriólogos: erizo de mar, rana, mosca, ratón, etc.? Cada uno se prestaba a un tipo particular de experimentación, pero poco o nada a otros. Un día anoté en una hoja de papel todas las propiedades que deseaba hallar en el animal para que correspondiera al tipo de investigación a que quería dedicarme: facilidad de crianza, rapidez de reproducción, simplicidad de análisis genético, cultivo de células, estudios fisiológicos desarrollados, bioquímica fácil, posibilidad de estudiar el comportamiento, etc. Estaba claro que no existía el animal ideal. Para responder a todas esas exigencias, ¡se necesitaría un híbrido de rana, erizo de mar, mosca, etc.! Habría que rebajar las pretensiones y transigir (Jacob, 1998, pp. 72-73).

Retomando lo planteado por Canguilhem (1976), es necesario precisar que la especificidad del material de estudio en la experimentación biológica es inherente a los siguientes ámbitos: de variedad a variedad, de especie a especie, y del animal al hombre. Esto último (en especial) conlleva aspectos bioéticos

⁵ Es de resaltar que la especificidad (tanto del objeto de estudio como de los procedimientos) en la experimentación biológica, nos permite reflexionar que en esta ciencia es casi imposible hacer generalizaciones, lo cual nos invita a reconsiderar la existencia de leyes en la Biología.

y médicos que no discutiremos aquí⁶. Basta con decir que la experimentación, tanto en el contexto de la Biología como en el de la escuela, debe tener en cuenta las consecuencias e implicaciones bioéticas, sobre todo cuando dichos procedimientos involucran el sacrificio de organismos.

La segunda precaución metodológica de la Biología es la individualización, la cual consiste en que esta ciencia no puede utilizar las técnicas comparativas de la Física y la Química, en donde se contrastan dos sistemas exactamente iguales (excepto en una variable o en unas pocas). Por el contrario, en la Biología no existen dos organismos idénticos en todos los aspectos (en especial en lo que atañe a la información genética⁷): “Dentro de una especie viviente dada, la principal dificultad consiste en la búsqueda de representantes individuales capaces de sostener pruebas de adición o variación medida de los compuestos que se suponen de un fenómeno, pruebas instituidas con fines comparativos, entre un organismo intencionalmente modificado y un organismo testigo, es decir, mantenido igual que en su suerte biológica espontánea” (Canguilhem, 1976, pp. 28-29).

⁶ Sin embargo, esta situación (experimental y conceptual acerca del ser humano) nos remite a una particularidad epistemológica y ontológica de la Biología: ésta es la *única* ciencia experimental (o de la Naturaleza) en donde objeto de conocimiento y sujeto cognoscente pueden coincidir y fundirse en uno solo. Ello deriva, además, importantes implicaciones didácticas, ya que para los estudiantes puede ser más interesante y pertinente aprender aspectos biológicos que redunden (en primer lugar, pero no exclusivamente) en lo que atañe a su cuerpo y a su entorno inmediato, a su ser y existir como sistemas vivientes.

⁷ Excepto los gemelos univitelinos y los clones.

La tercera de las mencionadas precauciones es la totalidad. Ésta no es otra cosa que un rechazo al reduccionismo y al determinismo, mediante los cuales se cree comprender el todo a partir de la suma de sus partes y predecir el estado futuro de un sistema si se conoce su estado actual. Según el criterio de totalidad, si los elementos se separan del conjunto, ello implica que éste ya no sea el mismo. Por lo tanto:

No es cierto que un organismo, después de la ablación de un órgano (ovario, estómago, riñón), sea el mismo organismo disminuido en un órgano. Todo lleva a creer, por el contrario, que uno tiene totalmente otro organismo, difícilmente superponible, igual en parte al organismo testigo. La razón está en que, en un organismo, los mismos órganos son casi siempre polivalentes –de este modo la ablación del estómago no repercute sólo en la digestión sino también en la hematopoyesis–, y que por otra parte los fenómenos están integrados (Canguilhem, 1976, p. 30).

La cuarta y última precaución, a la hora de experimentar en Biología, es la irreversibilidad, la cual se convierte en una dificultad para la previsión, en la medida en que “si algún animal no es absolutamente comparable a otro de la misma especie, el mismo animal no es más comparable a sí mismo según los momentos en que se le examine” (Bernard, citado por Canguilhem, 1976, p. 32). Se nos objetará que en las ciencias fisicoquímicas tampoco es factible hablar solamente de procesos irreversibles, frente a lo cual nos cuestionamos acerca de las implicaciones de utilizar flechas en doble vía para denotar algunas reacciones químicas, denominadas,

precisamente, reversibles. De igual modo nos interrogamos con respecto a las ecuaciones físicas en donde se le asigna un valor negativo al parámetro tiempo (-t).

Quizá el proceso biológico en donde la irreversibilidad se hace más evidente sea el de la evolución⁸, en especial porque, como ya advertimos, es imposible hacer experimentos al respecto (lo cual no es lo mismo que hablar de los experimentos poblacionales de Caponi, 2003). En cuanto a las particularidades de la experimentación biológica, es preciso aclarar que aunque se ha hablado de dificultades, ellas no deberían asumirse en términos peyorativos, o como impedimentos infranqueables, puesto que:

Ya se ha dicho que las dificultades de la experimentación biológica no son obstáculos absolutos, sino estimulantes de la invención. A estas dificultades responden las técnicas propiamente biológicas. Sobre este punto, es necesario convenir en que el pensamiento de Claude Bernard no es siempre muy cerrado, porque si él se resiste a que la fisiología sea absorbida por los químicos y los físicos, afirma que «la biología tiene su problema especial y su punto de vista determinado», también escribe que es solamente la complejidad de los fenómenos de la vida la que manda la especificidad de la práctica experimental en biología. (...) ¿no admite que la especificidad del objeto biológico manda un método bien distinto que el de la físico-química? (Canguilhem, 1976, pp. 33-34).

Debido a que gran parte de nuestra discusión ha estado centrada en lo fisio-

lógico, es conveniente, entonces, hacer dos comentarios al respecto. El primero de ellos tiene que ver con las condiciones que se precisan para poder indagar acerca de las funciones biológicas. De acuerdo con Jacob (1999, p. 180), “En cualquier fenómeno deben tenerse en cuenta dos cosas: el objeto observado y las circunstancias externas que actúan sobre el objeto y lo inducen a revelar sus propiedades. Si se suprime el medio, el fenómeno desaparece”. Lo anterior nos remite a las interacciones entre el medio interno y el medio externo, es decir a los procesos de regulación.

De otro lado, es necesario comentar que el concepto función implica, según algunos autores, abordar el problema de la teleología. Por ejemplo, Atlan (1997, p. 44) afirma que:

Una cuestión esencial en biología teórica es la de la función: es la gran diferencia entre lo que llamamos seres vivos y los demás (...) ¿Hasta qué punto es pertinente este concepto de función? ¿En qué medida no es una proyección antropomórfica? Por lo que a mí respecta es antropomorfismo. El ojo no está hecho «para» ver, simplemente ve. Por el contrario, la noción de función implica que la estructura está adaptada a la función, y todo sucede como si el ojo hubiera sido hecho para ver.

Aunque no somos tan radicales como Atlan, sí consideramos que este problema de explicar las funciones de manera teleológica o antropomórfica es una situación de la enseñanza de la Biología que merece especial atención. Desde nuestro punto de vista, la cuestión de las funciones y, en general, de todos los procesos biológicos (incluyendo el evolutivo), no deben ser explicados con base en

⁸ Lo cual implica que en Biología no exista la “involución”.

una relación unidireccional entre causa (remota o próxima) y efecto. A nuestro modo de ver, ello demandaría dar cuenta de múltiples causas que producen un fenómeno en particular (multicausalidad), o reconocer que una misma causa puede contribuir a que se lleven a cabo diferentes procesos, o asumir que, en ocasiones, es muy difícil distinguir entre causa y efecto. Sólo a modo de ejemplo, desde nuestra perspectiva, el genotipo no es la causa del fenotipo, sino que éste se produce por múltiples interacciones entre aquél y el medio externo. En tal sentido, estamos de acuerdo que en la enseñanza de la Biología se debe tener en cuenta el pluralismo causal (Jiménez, 2003, p. 129).

Volviendo al problema de las explicaciones teleológicas y antropomórficas en la enseñanza y aprendizaje de la Biología, consideramos que ésta es una situación particular de dicha disciplina. De acuerdo con López (1996), en la Biología hay dos tipos de explicación: la causal, que da cuenta de la relación causa-efecto, y la teleológica o funcional, cuyos argumentos están centrados en la relación medio-fines. Con respecto a la primera ya hemos discutido, afirmando que en esta ciencia se debe tener en cuenta la multicausalidad. En lo que atañe a la segunda, de acuerdo con los planteamientos de la autora en mención, no se debería intentar erradicarla de la enseñanza, ya que ésta es una forma particular de hacer explicaciones en la Biología. Sin embargo, dichas formas de explicar fenómenos concernientes a lo viviente, pueden dar la idea de que los organismos no humanos (o en general los procesos biológicos) tienen intencionalidades, objetivos, conciencia, deseos, intereses y propósitos. Lo ante-

rior se denomina como explicaciones antropomórficas.

De todas maneras, según López (1996, p. 155), “Cuando los biólogos emplean el lenguaje teleológico, no están necesariamente usando explicaciones antropomórficas”. En tal sentido, dicha autora defiende el uso de la teleología en las explicaciones biológicas de maestros, libros de texto y estudiantes, ya que de esa manera se puede comprender un proceso conocido comparándolo con uno que no se entiende en su totalidad, para lo cual se usan expresiones del estilo “es como si el ojo funcionara como la cámara fotográfica”. Situación que no sería funesta, si el estudiante fuera totalmente consciente de que el artefacto fue elaborado con una intención explícita para que cumpliera funciones predeterminadas, lo cual no ocurre con el órgano en cuestión. Como lo reconoce López, si no se es explícito en diferenciar las funciones cumplidas con intenciones, deseos, pensamientos, etc., se entraría en el terreno de lo antropomórfico.

Al parecer, en el aprendizaje de la Biología, la línea que demarca lo teleológico de lo antropomórfico no es tan clara. Por ello, diferimos de estos planteamientos: no es prudente utilizar explicaciones teleológicas en el aula⁹,

⁹ Sin embargo, como la ha anotado Molina (2007), en la enseñanza de la Biología para niños es necesario revalorizar este tipo de explicaciones, toda vez que los infantes no pueden descentrarse fácilmente de sí mismos, y el único modo que tienen para hablar del mundo (incluyendo el viviente), es el de su propia experiencia vivida. De todas maneras, consideramos que debe haber un momento y unas estrategias para permitirle al niño que vea el mundo como carente de voluntades, lo cual no es sinónimo de que éste no tenga un sentido para quien aprende.

toda vez que ellas podrían generar errores conceptuales, quizá, difíciles de superar. Por el contrario, asumimos que es necesario posibilitar las explicaciones basadas en el pluralismo causal (Mayr, 1998) y en la teleonomía (Monod, 1993), entendida como la cualidad que convierte a los organismos en objetos dotados de un proyecto (no intencional y cifrado en el material genético), que al desarrollarse permite que los individuos construyan sus estructuras particulares y lleven a cabo procesos específicos.

La narración histórica

Debido a la complejidad del fenómeno viviente, la Biología no solamente procede por experimentación, tal y como la hemos descrito aquí. De acuerdo con Mayr (1998 y 2006), la Biología evolutiva hace uso de otro tipo de procedimientos, denominados *narraciones históricas*, las cuales deben incluirse en los procesos de enseñanza y aprendizaje de esta ciencia:

Muchas de las preguntas que se hace la biología se refieren –como ocurre en geología – a fenómenos únicos e irrepetibles, por ejemplo ¿por qué se extinguieron los dinosaurios? (...) cuyas respuestas no pueden formularse como leyes universales. El método apropiado en estos casos es el histórico y, aunque no sea posible «probar» que una explicación histórica es «cierta», la aceptación de una de ellas (...) se produce cuando las pruebas disponibles la apoyan (Jiménez, 2003, p. 129).

Un ejemplo, tomado de la cotidianidad de nuestros estudiantes, puede servirnos para ilustrar el papel heurístico que juegan dichos procesos en la enseñanza de la Biología. Pensemos en

los perros. Cualquier niño o adolescente ha visto los modos en que estos animales se aparean, frente a lo cual les llama la atención por qué la pareja queda unida por varios minutos y hacen todos los esfuerzos posibles por separarse. Ello demanda dos tipos de respuestas. La primera está enmarcada en las causas próximas, respuesta que se podría encontrar relativamente fácil¹⁰: el glande del macho se inflama durante el acto sexual, impidiendo de este modo que el pene pueda ser retirado de la vagina instantes después del apareamiento.

La segunda de ellas (que a su vez sería una explicación de la primera) nos remite a las causas lejanas, frente a lo cual debemos construir narraciones históricas que sean plausibles, de tal suerte que intentaremos elaborar dichas explicaciones con nuestros estudiantes. Los invitaríamos a que pensaran en qué características tenían (bajo el supuesto de que estén extintos) los ancestros de los perros. Debieron ser carnívoros, vivieron en manadas y, probablemente, no tuvieron depredadores (o éstos eran muy escasos). Bajo tales circunstancias, es muy factible que el aspecto en cuestión haya sido seleccionado porque era muy difícil que la pareja fuese atacada en estado de indefensión, ya que al no poder separarse sería una presa fácil para cualquier carnívoro de suficiente tamaño. De otro lado, para el primer macho que se aparee con la hembra, sería ventajoso permanecer unido a ella por mucho tiempo, toda vez que ello implica que sus espermatozoides tengan

¹⁰ Por ejemplo, en enciclopedias, libros, Internet, o en diálogos con profesores de ciencias o veterinarios, entre otros.

más oportunidad de fecundar los óvulos, puesto que varios machos se aparean con la misma hembra, mientras ésta se encuentre en celo.

Sin embargo, hay otra explicación acerca las causas remotas en cuestión, explicación que haría alusión a la selección artificial. Lo anterior implica que el fenómeno que estamos analizando, se deba, sobre todo, a la domesticación de los perros, ya que al cuidado de los humanos serían casi invulnerables al ataque de cualquier depredador y, de otra parte, en las sociedades humanas se da la posibilidad de que estos animales se congreguen, no necesariamente en forma de grupos estables. El paso a seguir, entonces, es el de recopilar más información y comparar de este modo cuál de las dos explicaciones es la más apropiada, o, incluso, analizar si es posible el surgimiento de otra manera de dar cuenta del fenómeno.

Otro ejemplo de narración histórica puede ser tomado de la historia de la Biología, en especial de algunos aspectos del proceder de Darwin. En *El origen de las especies*, el naturalista inglés le dedica un capítulo a la distribución geográfica, y cuando discute acerca de los medios de dispersión de las plantas, desarrolla una serie de experimentos en los que simula las condiciones de un transporte accidental. Estos experimentos tienen la finalidad de explicar de qué manera las semillas (y otras partes de algunas plantas) han colonizado las islas y archipiélagos de origen volcánico que están cerca de algún continente:

(Darwin) Somete, por ejemplo, una serie de semillas a la acción del agua del mar. De las 87 semillas sumergidas durante veintiocho días en agua del mar, 64 se encuentran en

condiciones de germinar. Por otra parte, seca plantas y observa durante cuánto tiempo flotan: 19 de 94 (no todas pertenecían a las mismas especies que en el experimento anterior) flotan, una vez secas, durante más de veintiocho días. Al combinar los dos resultados deduce que, «el 14 por ciento de las plantas de una región determinada pueden ser transportadas durante veintiocho días por corrientes marinas sin perder por ello su capacidad de germinar». Teniendo en cuenta la velocidad media de las corrientes, las semillas podrían recorrer más de mil kilómetros en busca (sic) de una costa propicia (Drouin, 1998, p. 378).

Este ejemplo nos permite ilustrar que, aunque la evolución escapa a la experimentación (como la describimos párrafos atrás), es posible construir algunas narraciones que den cuenta de por qué han ocurrido determinados eventos evolutivos.

Los trabajos de campo y la enseñanza de la Biología

Como es obvio, el trabajo en campo es muy importante en la Biología, así como en su enseñanza. Diversas estrategias didácticas han sido implementadas para poder llevar a cabo este tipo de actividades, las cuales implican la exploración de entornos naturales próximos a las instituciones educativas, o la realización de salidas pedagógicas a lugares fuera de la ciudad¹¹. En este apartado discutiremos acerca de algunas particularidades de las estrategias mencionadas.

¹¹ Aunque reconocemos la importancia de las visitas a jardines botánicos, museos, zoológicos, etc., no discutiremos aquí las características de dichas actividades.

De acuerdo con Castro (2005, p. 45), la investigación de aspectos de un entorno natural que se visite frecuentemente, implica la elaboración de mapas que les permitan a los estudiantes ubicar su sitio de trabajo, así como la demarcación del terreno en el cual se llevan a cabo otras actividades como el muestreo y el rastreo. El primero de ellos hace alusión a la recolección de ejemplares o partes de ellos que luego serán estudiados a profundidad, por ejemplo, en el laboratorio de la institución (si éste existe). El segundo de los mencionados procesos es oportuno cuando se está estudiando algún tipo de animal que no tiene un hábitat estable y, por lo cual, es necesario seguir sus huellas para poder hallarlo. Igualmente, es oportuno que los estudiantes realicen algunos tipos de registros como los dibujos, las fotografías y las crónicas o, como han sido denominadas por Rubiano (1999), las impresiones en un diario naturalista.

Consideramos que las crónicas juegan un papel muy importante en la enseñanza de la Biología, ya que “Todas estas narraciones son indicios del grado de comprensión que [los estudiantes] tienen (...) del entorno natural (...) Sería pertinente que desde la escuela se posibilitara el uso de la crónica en el aprendizaje de las ciencias, ya que a partir de ello se podría lograr una cualificación en la descripción y en la precisión espacio-temporal” (Castro, 2005, pp. 67-68). Según Rubiano (1999), el diario de campo o diario del naturalista, tiene como principal propósito que los estudiantes aprendan a registrar observaciones y experiencias de índole subjetiva y científica. En ese orden de ideas, el autor en

mención se dirige así a quienes empiezan a construir su diario:

En primer lugar abran la mente a lo que pretenden describir mediante el examen atento de sus diversos matices. Ello implica un acto reflexivo de interrogación y conocimientos en el que deben participar todos los sentidos. Hay que procurar discernir con precisión las formas y los colores, los ruidos y las impresiones táctiles. Ustedes pueden ayudarse formulando preguntas como: ¿qué veo? ¿A qué o a quién se parece? ¿Qué me recuerda? ¿Cómo es? ¿A qué sabe? ¿A qué huele? ¿Cómo huele? ¿Aromático, fragante, perfumado, acre, fétido? ¿Qué sonido o ruido produce? ¿Es armónico, una resonancia, un susurro, un murmullo, un chillido, una estridencia, un chasquido, un crujido, un traqueteo, una detonación, un silbido, un eco? ¿Qué sensación o impresión produce al tocarlo? ¿Suavidad, aspereza, blandura, dureza, finura, tosquedad, tersura? (Rubiano, 1999, pp. 71-72).

Como ya dijimos, la investigación del entorno natural puede implicar el muestreo de organismos, lo cual, a su vez, conlleva la elaboración de ciertos montajes, tales como terrarios o acuarios. Dichas estrategias han sido denominadas por Valencia *et ál.* (2002) como una manera de artificializar la naturaleza, lo que implica construir unas condiciones similares a las naturales para poder observar el entorno desde otro lugar. Ello permite que se haga una extrapolación de lo que ocurre en el montaje experimental a lo que sucede en el entorno. En ese orden de ideas:

Los montajes experimentales permiten ir más allá de lo visual y lo táctil, puesto que se ponen en juego una serie de nuevas preguntas que no

se pueden responder solamente con mirar y tocar. Es entonces necesario construir nuevos escenarios, en donde se puedan apreciar detalles inéditos, que no pueden ser advertidos en la sola exploración del lugar (...). De este modo, los estudiantes se cuestionan acerca de lo que necesitan sus organismos de estudio para poder vivir en un nuevo entorno (...). Los montajes experimentales permiten abstraer el entorno, posibilitan verlo en otra dimensión y obviamente propician su comprensión. Al estudiar lo que ocurre en el terrario, de algún modo, se comprende lo que ocurre en el entorno natural. A partir de este tipo de proceder no hay que visitar los nidos de las arañas todos los días, ni hacer expediciones nocturnas para ver sus hábitos en la oscuridad. Ahora el terrario permite dilucidar esos aspectos de una manera más sencilla y a la vez confiable. El montaje experimental ayuda a comprender el entorno sin la necesidad de estar en él (Castro, 2005, pp. 85-86).

Sin embargo, dichos montajes no pueden ser fabricados solamente de manera empírica, ya que ello demandaría la muerte de muchos organismos. Es preciso, entonces, seguir las instrucciones de expertos para fabricar, por ejemplo, acuarios. En palabras de Wood (1996, p. 46): "The culturing methods are easy, effective and inexpensive. With very little effort it is possible to raise hundreds of invertebrate species that are seldom available from commercial outlets (...) Culture facilities can be assembled from a variety of materials on hand". De esta manera es posible cultivar, observar y comprender, en condiciones adecuadas, los organismos colectados en un entorno natural.

La observación del mundo viviente

Somos conscientes de que la observación está implicada en todos los procesos descritos con anterioridad. Pero también entendemos que hay algunos procederes de la Biología (y de su enseñanza) en donde ella se convierte en la principal estrategia, por ejemplo en el uso del microscopio. Antes de abordar este aspecto, analicemos el tipo de observación que no está mediada por instrumento alguno.

En lo que atañe al trabajo de campo, podemos hablar (muchas veces, pero no siempre) de una observación directa si no se hace "ninguna intervención para que los organismos se comporten de un modo diferente al que usualmente lo hacen" (Castro, 2005, p. 82). En este orden de ideas, es preciso aclarar que cuando hablamos de observación (independientemente de si está mediada o no por un instrumento), no la asumimos como una actividad pasiva, en donde el sujeto percibe la información del entorno, información que será asimilada y memorizada por éste. Muy por el contrario, sostenemos que toda observación depende de un referente conceptual que nos orienta acerca de ello que es observable. Por lo tanto, "Cuando observo «algo» siempre tengo que describirlo". Para lo cual utilizo una serie de nociones que ya tenía antes: éstas se refieren siempre a una representación teórica, generalmente implícita" (Fourez, 1994, p. 28).

En cuanto a la observación con ayuda del microscopio, es necesario considerar que no basta con que los estudiantes vean a través de él para que así construyan, por ejemplo, el concepto de célula, ya que ellos deben tener algunas conceptualizaciones de lo que van a

observar. En concatenación con lo anterior, pensemos en todo lo que es preciso hacer para observar glóbulos blancos humanos: hay que extraer la sangre, es decir, que debemos cambiar de ambiente a las células que serán objeto de nuestra pesquisa. Además, es imperativo que extendamos la sangre en un portaobjetos, que la fijemos a él por medio del calor y, por si fuera poco, necesitamos teñir el tejido para poder ver este tipo de células. Después de todos estos procedimientos ¿vemos realmente células?, o, como lo plantea Fourez (1994, p. 36): ¿utilizamos el modelo celular para ver al microscopio?

La modelización en la enseñanza de la Biología¹²

Un último aspecto que queremos abordar, en relación con los procedimientos de la Biología y su enseñanza (sin decir que hayamos dado cuenta de todos), es el de la modelización, entendida como la elaboración de imágenes, gráficos, maquetas, ilustraciones, simulaciones, etc., que le permitan al estudiante representar y socializar el conocimiento construido (es decir, sus modelos mentales) y, de este modo, ser consciente de las limitaciones, alcances y posibilidades de sus explicaciones. Es posible asumir que la modelización es más potente para poner en orden y relacionar una serie de saberes acerca de un fenómeno biológico, que la representación del

mismo en forma de leyes o expresiones matemáticas:

De esta forma, y por razones pragmáticas, un modelo se corresponderá con un instrumento de pensamiento que el maestro (o mejor el alumno) podrá producir y hacer funcionar, con el fin de convertir en significativo un fenómeno o una situación y poder realizar previsiones. [Los modelos] Deben ayudar al alumno a avanzar algunos pasos, proporcionándole un soporte sobre el que pueda apoyarse y que le permita reagrupar un conjunto de saberes parciales (...) Así, sería posible, en un primer momento, comparar el intestino delgado con un filtro, si lo que nos interesa está relacionado con la asimilación de los alimentos (sic)" (Giordan y de Vecchi, 1999, p. 240).

En esta sección hemos aludido a la enseñanza de los procedimientos particulares de la Biología, frente a lo que hemos argumentado que ésta es una ciencia que procede de diferentes maneras, las cuales difieren de los procesos de las ciencias fisicoquímicas. El aprendizaje de estas metodologías en la escuela les posibilitará a los estudiantes tener una mejor comprensión de lo que ocurre en el contexto científico, aspecto que incidirá notablemente en el aprendizaje conceptual y en el desarrollo de actitudes positivas hacia lo vivo. Con respecto a la comprensión de la naturaleza de la Ciencia, podemos destacar, entre otros, las características distintivas de la Biología: la importancia del trabajo en equipo, la formulación de hipótesis, la comunicación, la socialización y la elaboración de informes. (Banet, 2000, p. 453), así como la modelización, la manipulación de instrumentos y el planteamiento y resolución de problemas,

¹² Asumimos que la modelización también es un proceso muy importante en la Física y en la Química, pero estas ciencias, a diferencia de la Biología, también utilizan otras formas de explicar como las leyes, las generalizaciones y la matematización de los fenómenos, aspectos que tienen más limitaciones que posibilidades en las explicaciones biológicas.

procesos indispensables para lograr un aprendizaje más significativo y complejo de la Biología.

Reflexiones finales

Nunca fue tan necesario comprender que así como las particularidades de una ciencia demandan una epistemología específica, también es oportuno reclamar una didáctica propia con base en esas singularidades. No creemos haber dado fórmulas para ser mejores profesores de Biología, lo que asumimos haber hecho es poner sobre la mesa la discusión en torno a qué cualidades de la Biología deberían orientar su enseñanza. Por lo tanto, la pregunta que ha sido el eje central de este escrito se puede formular en los siguientes términos: ¿qué es lo

propio de la Biología que deba tenerse en cuenta para guiar los contenidos y los procesos de su enseñanza? Sin embargo, reconocemos que la enseñanza de esta ciencia comparte muchos criterios con las otras áreas del saber que se han vuelto objeto de *curricularización*, criterios que no discutimos aquí.

Asumimos que la Biología no puede enseñarse como las otras ciencias, porque sus conceptos y procedimientos son particulares. ¿No estamos en mora, pues, de institucionalizar una didáctica autónoma de la Biología? Sin duda, este artículo no sería el acta de nacimiento de tal disciplina, pero sin ser pretenciosos, podría ser un estímulo, entre tantos, para poner en marcha su gestación. ▀

Referencias

- Atlan, H. (1997). *Cuestiones vitales. Entre el saber y la opinión*. Barcelona: Tusquets.
- Banet, E. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento biológico. En: Perales, F., y Cañal, P. (editores). *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy-España: Marfil.
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Canguilhem, G. (1976). *El conocimiento de la vida*. Barcelona: Anagrama.
- Canguilhem, G. (1988). *Ideología y racionalidad en la historia de las ciencias de la vida. Nuevos estudios de historia y de filosofía de las ciencias*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Cañal, P. (2004). La enseñanza de la Biología: ¿Cuál es la situación actual y qué hacer para mejorarla? En: *Alambique*. No. 41, pp. 27-41.
- Caponi, G. (2003). Experimentos en biología evolutiva: ¿Qué tienen ellos que los otros no tengan? En: *Episteme*, Porto Alegre, 16, pp. 61-97. Disponible en: <http://www.ilea.ufrgs.br/episteme/portal/>
- Capra, F. (2000). *La trama de la vida. Una perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama.
- Castro, J.A. (2005). *La investigación del entorno natural: una estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional y Fundación Francisca Radke.
- Drouin, J-M. (1998). De Linneo a Darwin: los viajeros naturalistas. En: Serrés, M. (editor). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.

- Fischer, K., Wandersee, J., y Moody, D. (2000). *Mapping Biology Knowledge*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico. Filosofía y ética de la ciencia*. Madrid: Narcea.
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. En: *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 30-35.
- Galagovsky, L. (1996). *Redes conceptuales. Aprendizaje, comunicación y memoria*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Giordan, A., y de Vecchi, G. (1999). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos científicos*. Sevilla: Diada.
- Giordan, A., Raichvarg, D., Drouin, J-M., Gagliardi, R., & Canay, A. M. (1988). *Conceptos de Biología. Tomo 1: La respiración. Los microbios. El ecosistema. La neurona*. Barcelona: Labor.
- Jacob, F. (1998). *El ratón, la mosca y el hombre*. Barcelona: Crítica.
- Jacob, F. (1999). [1970]. *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia*. Barcelona: Tusquets.
- Jiménez, M.P. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la biología. En: Jiménez, M.P., Caamaño, A., Oñorbe, A., Pedrinaci, E., y de Pro, A. *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graó.
- López, A. (1996). La explicación teleológica en la enseñanza y aprendizaje de la biología. En: Carretero, M., Baillo, M., Limón, M., López, A., y Rodríguez, M. *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Buenos Aires: Aique.
- Mahner, M., y Bunge, M. (2000). *Fundamentos de Biofilosofía*. México: Siglo XXI.
- Maturana, H., y Varela, F. (1994). *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Mayr, E. (1998). *Así es la Biología*. Madrid: Debate.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la Biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz.
- Molina, A. (2007). Analogía, pensamiento científico infantil y revalorización de las teleologías y el antropomorfismo. En: *Tecné, Episteme y Didaxis*, Número extraordinario, Tercer Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias, pp. 88-107.
- Monod, J. (1993). [1970]. *El azar y la necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Barcelona: Tusquets.
- Rubiano, L.J. (1999). *Percepción y apreciación de vida silvestre. Enfoque sistémico para prácticas de educación ambiental*. Bogotá: Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia.
- Valbuena, E. (2007) *El conocimiento didáctico del contenido biológico. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional, Colombia*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Valencia, S., Méndez, O., Jiménez, G., y Garzón, J.P. (2002). *El Eco-Terrario: una perspectiva fenomenológica para la comprensión de lo vivo*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, Especialización en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico.
- Wood, T. (1996). Aquarium culture of freshwater invertebrates. En: *The American Biology Teacher*. 58, 1, January, pp. 46-50.