

Biología

1. Fundamentación

El futuro es incierto, pero el imaginario de ese futuro nos moviliza hoy y determina gran parte de lo que hacemos y pensamos. Podemos desistir de las utopías, porque finalmente se constituyen en dramáticas distopías, pero no podemos renunciar a pensar, si la pretensión es la constitución de una sociedad más justa, que todo ser humano es un creador y un individuo intelectualmente autónomo. (...)

La ciencia puede constituirse en una forma de conocimiento liberadora de las potencialidades intelectuales de los seres humanos, pero esto exige compartir los saberes y no impartirlos; esto se erige finalmente como decisión y acto fundamental desde el cual la educación que intentamos defender aquí es posible.

Eduardo Wolovelsky¹

Pensar un curriculum es imaginar un futuro. En este caso, un futuro para la enseñanza de las ciencias, y en particular, para la enseñanza de la Biología. Un futuro que estará hecho con muchas de las decisiones que hoy se tomen, hijas de las ideas, de las creencias y de los deseos que nos impulsan en este presente y que hablan, también, de él. Nada mejor que hacer explícitos estos puntos de partida para comenzar a desarrollar la construcción de esta propuesta.

Un enfoque cultural de la ciencia

Todas las culturas poseen un sistema de conocimiento que describe y trata de explicar el mundo natural. Las culturas occidentales privilegian la “ciencia”; ella misma constituye una cultura —una subcultura de las culturas occidentales— ya que fue creada y ha sido sostenida dentro de un entorno cultural particular. Y siguiendo esta línea de razonamiento, un entorno cultural científico conlleva una visión científica del mundo.

Desde el punto de vista de la educación en ciencias, este enfoque, —que se ha presentado muy sucintamente—, sustenta una perspectiva “humanística-cultural” (Aikenhead, 2004) que promueve la utilidad práctica del conocimiento, los valores humanos y la vinculación con temas de interés personal y social para lograr la inclusión y una orientación centrada en el estudiante.

Actualmente y a lo largo del mundo, esta aproximación humanística de la enseñanza de las ciencias adopta diferentes lemas, la mayoría de los cuales destaca la relación entre el conocimiento científico y el ejercicio de la ciudadanía (Aikenhead, 2003). En este sentido, estos programas se apartan de una concepción tecnocrática según la cual el saber se imparte desde quien conoce hacia quien ignora, por lo cual a este último le estaría vedado todo acto de crítica y reflexión. Por el contrario, se trata de proyectos al servicio de la democratización de los saberes y la liberación e inclusión de los sujetos, es decir, de una “ciencia para todos/a”.

¹ Wolovelsky, E. *El siglo ausente. Manifiesto sobre la enseñanza de la ciencia*. Buenos Aires. Libros del Zorzal. 2008.

Una propuesta de alfabetización científica

La idea de una educación científica como parte de una educación general para todos los ciudadanos, suele ser referida como un proceso de *alfabetización científica*² a través del cual las personas llegan a conocer los principales conceptos, hipótesis y teorías de la ciencia y pueden usarlos en la resolución de problemas, la comprensión del mundo y la toma de decisiones; comprenden que la sociedad controla la ciencia y la tecnología por medio de la provisión de recursos; son capaces de tomar decisiones guiadas por procedimientos cognitivos y por valores; reconocen las limitaciones así como las aplicaciones de la ciencia y la tecnología en la mejora del bienestar humano; distinguen entre conocimientos científicamente validados y opiniones personales, y desarrollan una visión rica del mundo producto de esa educación.

Detrás de este acuerdo general, sin embargo, es posible encontrar diferencias vinculadas con los aspectos que se enfatizan en la implementación didáctica de las propuestas de alfabetización científica. De esta forma, se pueden reconocer tres tipos de alfabetización científica basados en los beneficios personales, prácticos y formales (Meinardi, 2010a): La alfabetización científica *personal* se orienta a la comprensión de “un amplio rango de conceptos y al uso de un extenso vocabulario científico en la vida cotidiana y en la cultura propia”; además de “apreciar la historia de la ciencia, comprender la divulgación científica e interesarse por la ciencia en la escuela y estar motivado para seguir aprendiendo ciencia después de la escolarización formal”. Por su parte, la alfabetización científica *práctica* destaca el “saber usar la ciencia en la vida cotidiana y con propósitos cívicos y sociales”, a la vez que “saber obtener información sobre ciencia, comprender la divulgación de la ciencia y los mensajes que dan los medios de comunicación de masas, entender las relaciones entre ciencia y sociedad, conocer algunos conceptos básicos de ciencia y apreciar la ciencia siendo consciente también de sus limitaciones”. Finalmente, la alfabetización científica *formal* combina características de las dos anteriores e incluye “conocer conceptos de ciencia, tener una amplia comprensión de los principios científicos, saber sobre la naturaleza de la ciencia y las relaciones entre ciencia y sociedad, obtener información científica, utilizarla y ser capaz de comunicarla a otras personas, desarrollar una aptitud para usar la ciencia en la vida cotidiana y participar democráticamente en la sociedad civil a fin de tomar decisiones sobre asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología”, junto con “apreciar la ciencia, interesarse por ella y estar al día de las novedades científicas”.

Esta clasificación refleja la tensión entre los fines que ha perseguido tradicionalmente la educación en ciencias (formar futuros científicos) y las demandas que un mundo cambiante, diverso y complejo impone a la formación ciudadana. Entendemos que una propuesta de alfabetización científica debe, por sobre todas las cosas, atender al propósito de formar ciudadanos capaces de leer críticamente el mundo con las herramientas que otorga la ciencia, acercando a los jóvenes a ella y ayudándolos a encontrar su propia vocación científica, si la tuvieran. Llevar adelante esta alfabetización requiere una justa conjunción de rigurosidad y apertura, que permita la construcción de una representación de ciencia personal y socialmente válida en cada uno de los estudiantes.

² Una revisión histórica del concepto puede leerse en: Meinardi, E. Cap. 1. El sentido de educar en ciencias. En: Meinardi, E.; L. González Galli; A. Revel Chion y M. V. Plaza. *Educación en ciencias*. Buenos Aires. Paidós. Pp. 15- 39. (2010).

Una ciencia para la escuela

La ciencia que enseñamos no es la misma que la ciencia que hacen los científicos. El contexto de la escuela demanda una reformulación del conocimiento elaborado por los expertos, una transposición didáctica, en términos de Chevallard (1997). Esta reelaboración del conocimiento científico no debe confundirse con una simplificación, sino que asume la forma de un nuevo modelo que incluye distintos conceptos, lenguajes, analogías e incluso experimentos (Jiménez Aleixandre, 2003). Suprimir lo más complejo y abstracto, seleccionar experiencias y ejemplos que funcionen bien pero descontextualizados, suele resultar en un saber fragmentado, que no permite reconocer su utilidad, pues no se vinculan los conocimientos con el mundo real, a la vez que obligan a los alumnos a ver las cosas de una manera determinada, más que a tratar de comprender lo que ven.

Una transposición inadecuada también entraña riesgos que afectan la imagen de la ciencia enseñada. Como señala Jiménez Aleixandre (2003), “siendo compleja, la ciencia se enseña como si fuese sencilla; siendo una construcción humana sujeta a cambios a veces radicales, se enseña como si hubiese tenido un desarrollo acumulativo. Teniendo por objeto explicar fenómenos naturales, se enseña como si éstos no pudiesen tener más que una única explicación.”

Acercar a los estudiantes a la ciencia implica abordarla en sus dos facetas: como producto y como proceso. Ya se ha destacado la necesidad de transponer el conocimiento producto de la actividad de los científicos; ahora se hará foco en cómo aproximar el trabajo en el aula al proceso de producción de ese conocimiento.

En primer lugar, es necesario abandonar la idea de la existencia de un método científico³ único y rígido, propia del paradigma positivista, cuya aplicación garantizaría resultados válidos (“verdaderos”), claros, lógicos y exactos. Esta concepción de la actividad de los científicos como meros practicantes de un método, reduce la mirada sobre la ciencia, privándola de la consideración de la importancia de la imaginación y la creatividad al plantearse preguntas y construir posibles respuestas, de la subjetividad en la interpretación de los datos, del reconocimiento de la teoría como filtro de la observación, de la falsa objetividad y neutralidad de los juicios, de los intereses y valores en juego, de la negociación de significados en la comunicación de los resultados.

Coincidimos con Galagovsky (2008) en que “si logramos desplazar la entronización construida alrededor de la existencia de *un método científico* y un *pensamiento científico*, y logramos ver a las ciencias naturales desde una perspectiva más centrada en producciones derivadas de la curiosidad de la mente humana y de las habilidades de cualquier sujeto motivado por descubrir, analizar, sistematizar y tratar de encontrar regularidades en fenómenos que existen o que él provoca, entonces, respetando el hecho de que los sujetos humanos tenemos diferentes inteligencias y sensibilidades, podremos pensar en una enseñanza de las ciencias naturales con identidad propia. Se trata de pensar en llevar al aula una *ciencia escolar*.”

³ Para ampliar se pueden consultar: Adúriz Bravo, A. ¿Existirá el “método científico”? en: En: L. R. Galagovsky (coord.) *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?* Buenos Aires. Biblos. Pp. 47-59. 2008, y Galagovsky, L. R. ¿Se puede hacer “ciencia” en la escuela? En: L. R. Galagovsky (coord.) *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?* Buenos Aires. Biblos. Pp. 85- 104. 2008.

Por otra parte, es necesario revisar las actividades escolares para transformarlas en auténticas, es decir, en actividades enmarcadas en la cultura científica en lugar de simples ejercicios estereotipados: indagaciones, resolución de problemas con cierta complejidad y contextualizados en la vida real, entre otras posibilidades. Con estas actividades se busca lograr la inmersión de los estudiantes en la cultura científica, entendida ésta como el conjunto de conocimientos teóricos y prácticos —incluyendo aquellos acerca de cómo usar las herramientas cognitivas y materiales— que comparte una comunidad, en este caso, la de los científicos (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 2002; Jiménez Aleixandre, 2003). Como señala Jiménez Aleixandre (2003), citando a Brown, Collins y Duguid (1989), “tanto conocimiento como herramientas no son comprendidos por completo hasta que son usados, y usarlos conlleva cambios en la visión del mundo, adoptar la cultura en la que se usan.”

Otro aspecto a considerar es que la actividad que realizan los científicos no es un trabajo solitario. Hacer ciencia en el aula debe favorecer las tareas colaborativas, los intercambios, las instancias de comunicación y negociación de sentidos.

Es probable que, de esta manera, los estudiantes se muestren más interesados, motivados y curiosos frente a la ciencia, una ciencia que los ayude a habitar el mundo.

Una Biología para el siglo XXI

Habitamos un mundo signado por el avance de las ciencias, y en particular, por una verdadera revolución en las ciencias de la vida. Si Darwin en el siglo XIX fue capaz de infligir una herida narcisista a la idea del hombre sobre su lugar en la naturaleza, los desarrollos en el campo de la biología molecular, la biología del desarrollo y las biotecnologías parecen venir a tratar de repararla. Organismos de diseño, modificados genéticamente; trasplantes de tejidos obtenidos a partir de células totipotenciales provenientes de embriones clonados; certificación de filiación a través del análisis de “huellas genéticas”; los debates acerca de la posibilidad de crear vida “sintética”, por mencionar solo algunos ejemplos, crean una renovada sensación de dominio y control de la naturaleza, a la que únicamente los problemas ambientales emergentes ponen un límite y amenazan.

Al mismo tiempo, el conocimiento creciente sobre lo viviente contribuye a ampliar y perfeccionar los dispositivos de control sobre la vida y los cuerpos de las personas que se instrumentan desde los distintos poderes. Así, saber y poder se entranan en una biopolítica (Foucault, 2007 [1979]) que permea toda la sociedad. Basta asistir al patentamiento de los genomas; a las biotecnologías que ponen a trabajar las fuerzas de la vida; al dictado de leyes anticontaminación; a la fuerza legal que revisten las pruebas de ADN; a las campañas de reparto gratuito de preservativos y a la negación de las mismas; a la casi incontenible compulsión por lograr poblaciones longevas en sociedades que, paradójicamente, discriminan cada vez más a sus mayores, para confirmar que vivimos en la era de los biopoderes y la biopolítica.

La Biología a enseñar no puede ser ajena a este cuadro de situación. Como escribió Carl Sagan (1998, citado en Wolovesky, 2008): “Adquirir el conocimiento y el saber necesarios para comprender las revelaciones científicas del siglo XX será el reto más profundo del siglo XXI”. El desafío es cómo formar al ciudadano que pueda actuar de manera inteligente, creativa, sensible, responsable y autónoma en esta sociedad del conocimiento.

Pensar esto exige pensar la disciplina. En este sentido, son particularmente valiosos los aportes que hace la Filosofía de la Biología⁴. Entre los biólogos que, sin ser filósofos, han reflexionado *sobre* la biología, se encuentra Ernst Mayr, quien con sus aportes contribuyó a la demarcación de la disciplina frente al resto de las ciencias naturales (Mayr 1988, 1998, 2006).

Según Mayr (1988, 2006), los aspectos y características de la biología que la singularizan pueden sintetizarse de la siguiente manera:

- La completa comprensión de los organismos no puede adquirirse recurriendo exclusivamente a las teorías de la física y la química (negación del fisicalismo, reduccionismo epistemológico).
- La naturaleza histórica de los organismos no puede ser olvidada. Por el contrario, debe ser puesta en un primer plano, en el que quede patente que los sistemas biológicos, los seres vivos, poseen un *programa genético* adquirido en el tiempo.
- Los individuos, en la mayor parte de los niveles jerárquicos, son únicos; aunque pertenecen a poblaciones cuyo grado de variación interna es una de sus características más relevantes. Tal hecho exige poner en marcha un *pensamiento poblacional*, apartado del esencialismo que considera a las especies como clases naturales fijas.
- Existen dos dominios de la biología. Una biología fisiológica o *funcional*, que atiende a las *causas próximas*, y una biología *evolutiva*, que aborda las *causas últimas*. En relación con esto, hay que destacar la multicausalidad de los procesos y fenómenos biológicos (*pluralismo causal*).
- La complejidad inherente a los sistemas biológicos está organizada jerárquicamente, de tal manera que los niveles más altos de la jerarquía se caracterizan por la novedad que emerge en ellos (*emergencia*).
- Es preciso reconocer que la observación y la comparación son métodos con la misma legitimidad científica y valor heurístico que el experimento. Lo mismo puede decirse de la *narración histórica* para dar cuenta de fenómenos únicos e irrepetibles (como la extinción de los dinosaurios), basada en la reconstrucción de los hechos de la historia de la vida a partir de evidencias que la apoyan. Por otra parte, muchos de los datos deben ser interpretados probabilísticamente, dada la *aleatoriedad* que puede estar asociada a alguna de las causas de los fenómenos estudiados.
- Muchas de las explicaciones en biología son teleológicas, no en el sentido tradicional del término, — que refiere a procesos y acciones tendientes a un fin del cual el agente es consciente—, sino que parten de reconocer a los seres vivos como sistemas orientados a la consecución de metas u objetivos sin ninguna intencionalidad manifiesta. Como señala Caponi (2002), “[e]n la biología funcional, es cierto, existe siempre la referencia al resultado de un proceso determinado; es decir: existe la referencia a una meta y los procesos particulares de un organismo son considerados como medios para alcanzar ese objetivo. Pero lo que se procura determinar (...) es cómo cierto fenómeno está causalmente vinculado a esa meta u objetivo. Por eso, aunque, en algún sentido, pueda decirse que el interés que guía esa investigación de los fenómenos orgánicos es, en cierto modo, teleológico, los resultados a los que ésta llega ciertamente no lo son: los mismos se limitan a apuntarnos el rol causal de un fenómeno en la producción de cierto efecto. La biología funcional, en definitiva, no hace más que ponernos ante esa direccionalidad finalista de un sistema mecanicista perfectamente respetable que Pittendrigh (1998) [1970] proponía denominar *teleonomía*. Es decir: nos pone ante la finalidad de los mecanismos autorregulados.

⁴ Para una apreciación del panorama general de la Filosofía de la Biología, puede consultarse el trabajo de Vergara Santana (2007). En Argentina, son significativos los aportes de Gustavo Caponi y Pablo Lorenzano en este campo.

Mientras tanto, en el caso de la biología evolutiva no sólo debemos preguntarnos por el problema que una estructura resuelve, sino también están en cuestión las condiciones bajo cuyo dominio esa estructura pudo resultar una mejor alternativa de solución para ese problema que alguna otra posibilidad efectivamente disponible. Como el arqueólogo que intenta comprender el diseño de una máquina antigua, el biólogo que analiza una estructura adaptativa no sólo se pregunta por el problema que la estructura en cuestión pretendía resolver sino que también intenta reconstruir las razones que pudieron hacerla emerger como una buena alternativa de solución para ese problema (...). Y es considerando esto último que puede decirse que la explicación seccional es teleológica en un sentido más fuerte que la explicación funcional (...)."

Cualquiera sea la terminología usada —*teleología* o *teleonomía*—, la naturaleza y validez de las expresiones y explicaciones finalistas son motivo de debate en la filosofía de la biología.

Por último, otro rasgo de la autonomía de la biología con respecto a las ciencias físicas, es que en biología las teorías se basan habitualmente en conceptos, mientras que en aquéllas se basan en leyes naturales. Así, conceptos como *territorio*, *selección natural*, *recurso*, *aislamiento geográfico*, han llegado a ser fundamentos importantes de teorías en diversas ramas de la biología, y aunque por medio de una reformulación apropiada, algunos de estos conceptos pueden expresarse en forma de leyes, son algo completamente diferente de las leyes naturales newtonianas (Mayr, 2006).

Un modelo de enseñanza basado en la elaboración de modelos teóricos

Los científicos construyen teorías y modelos que pretenden representar e interpretar la estructura y el funcionamiento del mundo con variados propósitos. De la misma forma, en la vida cotidiana todos elaboramos representaciones mentales que nos guían, como verdaderos mapas, por el mundo. Ambos tipos de representaciones —los modelos de los científicos y los modelos de la vida cotidiana—, con sus semejanzas y diferencias, son producto de la actividad cognitiva humana.

Desde hace algún tiempo, se vienen dando desarrollos epistemológicos que vinculan la elaboración de modelos y los procesos cognitivos (Giere, 1992, 1999), y que han servido de base para propuestas didácticas que estructuran la actividad científica escolar alrededor de la elaboración y recreación de modelos teóricos (Justi, 2006; Adúriz Bravo e Izquierdo, 2009).

En primer lugar, se debe señalar que el término modelo admite distintos significados. Aquí se usará en el sentido propuesto por Chamizo (2010)⁵: "*Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico.*"

En esta definición todas las palabras son importantes: las representaciones son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por sí mismas, y valga la redundancia, autoidentificantes. Las representaciones lo son de alguien (ya sea una persona, o un grupo, generalmente este último) que las identifica como tales. Una *analogía* está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en *m* y *M*. *Que se construyen contextualizando*, (Chamizo e Izquierdo, 2005) remite a un tiempo y lugar

⁵ En el mismo trabajo, el autor revisa los distintos tipos de modelos teniendo en cuenta la analogía (mentales, materiales y/o matemáticos), el contexto (científicos, escolares) y la porción del mundo a la que hacen referencia (ideas, objetos, procesos o sistemas).

históricamente definido lo que además enmarca la representación; *cierta porción del mundo* indica su carácter limitado, los modelos m son respecto al mundo M parciales. *Un objetivo específico*, establece su finalidad, general pero no necesariamente, el explicar, y sobre todo predecir. Hay que recordar que la explicación es una de las más significativas características de las ciencias (Bailar-Jones, 2002), pero que en determinados casos aún sin poder del todo explicar, una buena parte de su prestigio radica en predecir”.

Para ampliar la noción anterior de modelo y su relación con las teorías y la realidad, es pertinente citar a Adúriz Bravo e Izquierdo (2009), quienes resumen, desde un enfoque semántico⁶, las características de los modelos que se pueden considerar valiosas para la enseñanza de las ciencias naturales:

“1. El interés está puesto ahora en cómo las teorías científicas dan sentido al mundo sobre el que se aplican y cómo cobran sentido para quienes las están aplicando (los agentes cognitivos, que incluyen a aprendices y maestros), más que en la estructura lógica y lingüística estricta de cada teoría. Se prioriza un acercamiento semántico, pragmático y retórico (Adúriz-Bravo, 2001).

2. Las teorías no son solo los enunciados teóricos de los que aquellas están compuestas, sino que contienen también los hechos interpretados por ellas. Además, las teorías científicas no se reducen a un saber de naturaleza proposicional, sino que constituyen también un ‘saber-cómo’ (know-how) en torno a las explicaciones e intervenciones que se pueden hacer con ellas. Una teoría es, por tanto,

una *familia de modelos*, pero más que una simple suma de estos modelos, porque estos últimos están vinculados por relaciones lógicas y experimentales que aseguran cierta coherencia al conjunto. (Joshua y Dupin, 2005: 20-21; el subrayado es nuestro)

3. Las teorías quedan mejor determinadas y caracterizadas por sus respectivas clases de modelos; por tanto, resulta más relevante dedicarse a estudiar metateóricamente éstos que aquélla. Este tipo de aproximación se dice ‘basada en modelos’ (*model-based view*) o ‘modeloteórica’. El foco del utillaje epistemológico está ahora puesto en entender la naturaleza del modelo científico, más que en ubicar éste dentro de una red teórica cerrada descrita mediante enunciados. En este sentido, los exponentes de la visión basada en modelos creen que se puede demostrar que una reinterpretación de las teorías científicas como conjuntos de modelos es más exitosa para una comprensión de la teorización científica [...], y que puede proporcionar una imagen más satisfactoria de la relación entre las teorías científicas y el mundo real a causa del rol mediador de los modelos [...]. (Develaki, 2007: 729; la traducción es nuestra)

4. No hay una relación tan directa entre lo que decimos (proposiciones) y los fenómenos, sino que esa relación está mediada por los modelos en tanto representaciones no lingüísticas del mundo, representaciones que no son reducibles ni a enunciación ni a realidad, puesto que son ‘autónomas’ con relación a ambas (Justi, 2006).

5. Se toma “en pie de igualdad” las distintas formas lingüísticas con las que se pueden presentar los mismos modelos, sin presuponer la supremacía o prioridad de algunas (la axiomática, por ejemplo) por sobre otras. En este aspecto la visión basada en modelo es

⁶ El *enfoque semántico* comenzó a desarrollarse a finales de la década de 1950 con los trabajos pioneros de Patrick Suppes, y llegó a una formulación sistemática inicial con los aportes del holandés Bastian C. van Fraassen y los estadounidenses Frederick Suppe y Ronald Giere, en las décadas del 70 y 80. Muy sintéticamente, sostiene que las teorías científicas quedan mejor comprendidas como conjuntos de modelos, en el sentido matemático abstracto, que como conjunto de enunciados.

mucho más flexible que la epistemología precedente⁷, al considerar como conocimiento teórico un saber no rígidamente formalizado que se puede expresar con muy distintos lenguajes:

[Los modelos abstractos] pueden ser una maqueta, un dibujo, un hecho ejemplar. [P]ueden presentarse de manera simple, destacando sólo lo esencial para que resulten explicativos. [P]ueden definirse de muchas maneras diferentes [...]. (Izquierdo-Aymerich, 2007: 132)”.

Por su parte, Justi (2006) expande la idea de autonomía de los modelos frente a la realidad y la teoría, mencionando los elementos que contribuyen a ella:

“– *El proceso de construcción de modelos.* Los modelos se construyen a partir de una mezcla de elementos tanto de la realidad modelada como de la teoría, y también de otros elementos externos a ellos. Además la construcción de modelos siempre implica simplificaciones y aproximaciones que han de ser decididas independientemente de requisitos teóricos o de condiciones de los datos.

– *La función de los modelos.* (...) los modelos son instrumentos que adoptan formas distintas y tienen muchas funciones diferentes. Como instrumentos son independientes de la «cosa» sobre la que operan; sin embargo, se relacionan con ella de alguna forma.

– *El poder de representación de los modelos.* Ello permite que los modelos funcionen no solamente como instrumentos, sino que además nos enseñen algo sobre lo que representan. O sea, que funcionen como una herramienta de investigación.

– *El aprendizaje.* El aprendizaje puede tener lugar en dos momentos del proceso: en la construcción y en la utilización del modelo. Cuando construimos un modelo, creamos un tipo de estructura representativa, desarrollamos una forma científica de pensar. Por otro lado cuando utilizamos un modelo, aprendemos sobre la situación representada por el mismo (Morrison y Morgan, 1999).”

La concepción de modelo que se ha expuesto hasta aquí contrasta con la que tradicionalmente se encuentra en la enseñanza de las ciencias naturales y que, siguiendo a Adúriz Bravo e Izquierdo (2009), se puede denominar concepción icónica de los modelos: “Según esta concepción, el modelo científico es una ‘copia’ (a escala, estática, simplificada, bidimensional o cualquier otra variante por el estilo) de aquello real que se está estudiando. Esta visión de la actividad científica es consecuencia de la fuerte impronta *empiriopositivista* en la educación, que promueve en clase una imagen empobrecida de la naturaleza de la ciencia (Fernández et al., 2005)”.

Por el contrario, una propuesta de enseñanza *modeloteórica* debería instalar en la clase el trabajo con *modelos científicos escolares*, “que genuinamente sirvan para entender el funcionamiento del mundo natural mediante ideas abstractas y, al mismo tiempo, no se encuentren tan alejados de las concepciones alternativas que traen los niños y niñas, adolescentes y jóvenes a la escuela (Izquierdo-Aymerich, 2000)” y que permitan “recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos y todas, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los sujetos comprendan el funcionamiento del mundo natural (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). Esta recreación, auxiliada por

⁷ Se refiere al *enfoque sintáctico*, en el que las teorías son presentadas como sistemas formales axiomáticos parcialmente interpretados mediante reglas de correspondencia que relacionan términos teóricos con términos observacionales. Este enfoque fue desarrollado principalmente por el positivismo lógico (o empirismo lógico) y ha dominado el análisis de las teorías en la filosofía de la ciencia durante las siete primeras décadas del siglo pasado, aunque persiste en la actualidad entre muchos filósofos y científicos.

el profesorado y por los textos, no se plantea entonces como un ‘redescubrimiento’ de ideas complejas que llevaron siglos de arduo trabajo a la humanidad, sino como una apropiación –profundamente constructiva– de potentísimas herramientas intelectuales que se van representando en el aula con el nivel de formalidad necesario para cada problema y cada momento del aprendizaje”. (Adúriz Bravo e Izquierdo, 2009).

Por lo tanto, una enseñanza en ciencias debería aspirar a que los alumnos construyan modelos explicativos dinámicos y de distintos niveles de complejidad, para utilizarlos adecuadamente según el propósito particular: *comunicativo*, para negociar significados, *cognitivo*, para razonar, u *operatorio*, para resolver problemas.

Ahora bien, estamos posicionados en un modelo cognitivo de ciencia escolar que considera el *modelo teórico* como la unidad fundamental tanto de la ciencia de los científicos como de la ciencia en la escuela. En este marco, el modelo científico escolar resulta de la transposición didáctica del modelo científico erudito. El punto aquí es cómo los estudiantes pueden aproximarse al modelo científico escolar desde sus propias representaciones construidas en la vida cotidiana.

Adúriz Bravo y otros (2005) han propuesto una estrategia analógica⁸, que se fundamenta en la idea de que “algunos *hechos paradigmáticos*, teóricamente reconstruidos, pueden funcionar como protomodelos teóricos en el aula de ciencias, *mediando* en la construcción de los significados a aprender”.

Como señalan esos autores, estos *mediadores* presentan algunas características que los hacen interesantes para la enseñanza de las ciencias:

“1. Abstracción. Tal como los propios modelos teóricos de primer orden, de los cuales son análogos, los mediadores son entidades abstractas, no lingüísticas, y admiten múltiples representaciones.

2. Potencia semiótica. Los mediadores pueden representarse (*definirse* en el sentido de Giere, 1988) de diversas maneras, por medio del lenguaje natural o de sistemas de símbolos heterogéneos y flexibles.

3. Potencia analógica. Los mediadores conectan por medio de un mecanismo analógico con los hechos del mundo y con los modelos teóricos, sirviendo de puente entre unos y otros a través de lo que Giere (1988) llama ‘parecidos de familia’ (relación de *semejanza*) durante el proceso de modelización.

4. Potencia paradigmática. Los mediadores dan significado a muchos hechos del mundo enlazándolos y abstrayéndolos, a fin de que se pueda intervenir activamente sobre ellos con el pensamiento, la acción y el discurso en forma coordinada. Esos hechos, reconstruidos a través de la mediación, se transforman en hechos *paradigmáticos* (Izquierdo, 2004) o epitómicos, genuinos ‘modelos’ del mundo sensible”.

En el trabajo en el aula, los estudiantes se aproximan al mediador a partir de su propia experiencia en el mundo e intervienen sobre él para ir incorporando las ideas del modelo teórico. Es decir, a través de un proceso de reconstrucción teórica, lo que en un principio era un hecho o fenómeno *que se ve*, se convierte en un hecho científico, interpretado a partir de lo *que se sabe* sobre el mundo.

⁸ Basada en las contribuciones de los estudios sobre el papel de la analogía en la enseñanza de las ciencias y entendiendo la analogía como una ‘mediación’ entre dos campos semánticos, uno conocido y otro novedoso, con el fin de dar sentido al último a partir de los significados asociados al primero (Adúriz Bravo y otros, 2005).

Un cambio ¿“conceptual”o “representacional”?

Es mucha la literatura en torno al cambio de las concepciones del sentido común (ideas previas o alternativas) a las científicas. En ella se discute si es posible o no que ocurra ese cambio, y en tal caso, cómo se produce: sustitución de unas ideas por otras, ampliación y enriquecimiento de las preconcepciones, integración jerárquica de unas en otras o coexistencia de ambos tipos de ideas sin que exista sustitución.

También se ha tratado de responder al interrogante de cuál es la función que desempeñan los conocimientos previos en este cambio: facilitando el anclaje de los nuevos conocimientos científicos, u obstaculizándolo.

Más reciente es la controversia acerca de la naturaleza del cambio. Hay quienes sostienen que se trata de un cambio de conceptos, es decir, de cambiar un concepto “erróneo” por uno científico. Mientras que otros autores postulan un cambio de representaciones, en el que estarían involucradas motivaciones, creencias, valores y emociones. Cualquiera de las dos opciones tiene consecuencias didácticas.

Si se acepta la idea del cambio conceptual, entonces el profesor, a través de la estrategia del conflicto cognitivo, llevaría al alumno a abandonar las concepciones previas y reemplazarlas por otras que se demuestran más adecuadas. Sin embargo, como sostienen Moreira y Greca (2003), “es una ilusión pensar que un conflicto cognitivo y/o una nueva concepción plausible, inteligible y fructífera conducirá al reemplazo de una concepción alternativa significativa. Cuando las estrategias de cambio conceptual son bien sucedidas, en términos de aprendizaje significativo, lo que hacen es agregar nuevos significados a las concepciones ya existentes, sin borrar o reemplazar los significados que ya tenían. O sea, la concepción se torna más elaborada, o más rica, en términos de significados agregados a ella, o evoluciona sin perder su identidad”.

Por su parte, la postura que defiende el cambio representacional parte de reconocer las ideas previas como representaciones intuitivas, de naturaleza implícita y encarnada (Pozo, 2001), y a las que la tarea docente debería intentar dar un nuevo sentido a la luz del conocimiento científico, generando nuevas representaciones. No se busca que el conocimiento científico sustituya a otras formas de saber, sino de integrar jerárquicamente a algunas de ellas, redescubriendo (es decir explicando) sus predicciones y acciones (Pozo, 2002).

Si se asume que nuestras representaciones implícitas constituyen teorías de dominio, es decir sistemas de representación organizados y consistentes, basados en ciertos principios que restringen el procesamiento de la información en ese dominio, pero que pueden ser revisados y explicitados como consecuencia del aprendizaje, el esfuerzo debería enfocarse en fomentar la revisión de esos principios en función de su éxito representacional, en busca de “teorías” más eficaces, de modelos cada vez más ajustados a los modelos científicos.

En este punto, se considera más conveniente y provechosa esta última postura que la idea de un “cambio conceptual” entendido como “reemplazo conceptual”, que por otra parte ha demostrado ser improductiva, cuando no “una visión que nos recuerda el enfoque conductista de instalar y extinguir conductas en el repertorio del aprendiz”, al decir de Moreira y Greca (2003). Por tanto, “frente a la idea de que el conocimiento científico debe sustituir al conocimiento cotidiano –que es la que ha predominado en los modelos didácticos del cambio conceptual- debemos asumir que la función de la instrucción científica sería promover una redescubrimiento o explicación de ese conocimiento cotidiano en términos de modelos científicos más complejos y potentes” (Pozo, 2002).

Una reconstrucción en la que seguramente habrá lugar para la evolución, desarrollo, integración jerárquica, enriquecimiento conceptual y discriminación de significados.

Desde este punto de vista, “la empresa de la ‘alfabetización científica’ plantea nuevos retos, quizás aún más exigentes. No se trata ya sólo de hacer que todos los ciudadanos puedan acceder, en algún nivel, a los conocimientos científicos, sino que para que ese acceso se produzca es preciso de algún modo *reformatear* esas mentes, generar en ellas nuevas posibilidades representacionales sin las cuales el conocimiento científico probablemente es inconcebible” (Pozo, 2002). Se trata de una reconstrucción cultural de la mente (Pozo, 2001), que genera no sólo nuevas representaciones, sino también nuevas formas de representar y concebir el mundo.

Una relación con el saber⁹

Como lo señala Wolovelsky (2008), “(...) el conocimiento científico inevitablemente afecta, de manera específica en diferentes momentos históricos, la cosmovisión de los hombres y, por lo tanto, es una fuerza poderosa constitutiva de la subjetividad humana”. Subjetividad que se produce en la apropiación del mundo por el sujeto.

Así como existen formas de apropiarse el mundo también existen “cosas” que aprender. Esto es: aprender un saber, en el sentido estricto del término, es decir, un contenido intelectual; aprender a dominar un objeto o una actividad; aprender a establecer formas relacionales. En cualquier caso, aparece un sujeto que mantiene con el mundo múltiples relaciones.

Buscar el saber es instalarse en un cierto tipo de relación con el mundo: una *relación con el saber*, pero el sujeto de saber está a la vez comprometido en otros tipos de relaciones con el mundo: no es jamás un sujeto puro de saber. Si nos situamos en la actividad científica, el sujeto de saber despliega una actividad que le es propia: argumentación, verificación, experimentación, voluntad de demostrar, de probar, de validar. Esta actividad es también acción del sujeto mismo: tomar el partido de la Razón y el saber es cargar con exigencias y prohibiciones respecto de sí mismo. Al mismo tiempo, esta actividad implica una forma de relación con los otros, percibidos como comunidad intelectual, y supone e induce una cierta relación con el lenguaje y con el tiempo. Por último, pero no menos cierto, esta actividad puede ser captada por las “pasiones”, la ideología, el inconsciente, incluso por una empresa voluntaria de engaño.

En pocas palabras, la relación con el saber es la relación de un sujeto con el mundo, consigo mismo y con los otros. Es relación con el mundo como *conjunto de significaciones* pero también como *espacio de actividades* y se inscribe *en el tiempo*.

El mundo se ofrece al hombre como *conjunto de significaciones* construidas a través de lo que percibe, imagina, piensa de él, desea, siente, y a la vez, compartidas con otros hombres. Es en ese universo simbólico de las significaciones donde se enlazan las relaciones entre el sujeto y los otros y consigo mismo. Por eso, la relación con el saber es relación con sistemas simbólicos, y en particular con el lenguaje.

Apropiarse del mundo es también adueñarse de él en su materialidad, transformarlo, moldearlo. El mundo no constituye solamente un conjunto de significaciones, es además

⁹ Las ideas de esta apartado han sido tomadas del libro *La relación con el saber- Elementos para una teoría* de Bernard Charlot (2007, [1997]), salvo que se indique lo contrario.

un horizonte de *actividades*. Por eso, la relación con el saber implica una actividad del sujeto.

Igualmente, es una relación con el *tiempo*. La apropiación del mundo, la construcción de sí, el entramado de relaciones con otros —“el aprender”— demandan tiempo y nunca acaban. Ese tiempo es el de la historia de la especie humana, del sujeto, la de su descendencia. No es un tiempo homogéneo sino que está marcado por momentos significativos, por ocasiones, por rupturas. Es un tiempo que se despliega en el presente, el pasado y el futuro, como tres dimensiones que se interpenetran y se suponen una a otra.

De esta forma, intentar definir el *saber* lleva a la idea de que no hay saber más que para un sujeto comprometido en una cierta *relación con el saber*. La idea de saber implica la de sujeto, de relación del sujeto consigo mismo, de relación de ese sujeto con otros (que co-

construyen, controlan, validan, comparten ese saber).
Algunas consecuencias pedagógicas de pensar el *saber* en términos de *relación con el saber* podrían enumerarse como sigue:

- Si el saber es relación, lo que debe ser el objeto de una educación intelectual es el proceso que conduce a adoptar una relación de saber con el mundo y no la acumulación de contenidos intelectuales.
- Una relación con el saber se construye.
- Se aprende porque se tienen *ocasiones* de aprender, en un momento en que se está más o menos disponible para captar esas ocasiones; pero a veces la ocasión no se presenta: aprender es entonces una *obligación* (o una oportunidad que se ha dejado pasar).
- “El desafío es, (...), que cada situación educativa sea un ámbito en el que tenga lugar el pensamiento en acto y que no se agote en la mera reproducción de los que otros pensaron” (...) “...la acción docente de todo acto educativo supone disponer los saberes de una manera especial, de modo tal que puedan ser interpelados subjetivamente” (Cerletti, 2008)

Hasta aquí se han expuesto los fundamentos que sustentan y dan sentido a la presente propuesta curricular y que reconocen como su raíz ineludible el Marco Teórico del Diseño Curricular del que forma parte. Sin duda, otras construcciones son posibles, pero también es cierto que el enfoque cognitivo, modeloteórico y sociocultural elegido es el que —a nuestro juicio— mejor expresa el modelo de ciencia biológica que se pretende que aprendan los alumnos de la escuela secundaria rionegrina.

De todas formas, el planteamiento es amplio y abre un territorio de diálogo a partir del cual los saberes, la creatividad y el profesionalismo de los docentes, seguramente, permitirán tender, en cada aula, los puentes necesarios entre la cultura vivida por los jóvenes y esa otra cultura que es la ciencia, alejados de todo cientificismo y de cualquier visión tecnocrática.

2. Encuadre didáctico

En la Fundamentación de esta propuesta y en el Marco Teórico del presente Diseño Curricular, se han desarrollado las concepciones de hombre, sociedad y sujetos; de enseñanza y de aprendizaje; de conocimiento, ciencia y saber; de la disciplina a enseñar; de las funciones, fines y objetivos de la educación secundaria; así como los aspectos político- ideológicos que las sustentan.

Estas concepciones son las que otorgan una identidad específica al encuadre didáctico que se asume y a través del cual, el texto curricular orienta las decisiones relativas a la programación y práctica de la enseñanza.

Es innegable que las situaciones de enseñanza no plasman siempre ni de la misma manera estas concepciones y lineamientos. Las prácticas escolares cotidianas están teñidas de las particularidades personales, grupales y del contexto, que son las que dan riqueza a la vida en las aulas. No obstante, los componentes del encuadre didáctico determinan los aspectos que se deben tener en cuenta en el desarrollo de esas prácticas, a la vez que habilitan la creatividad y la imaginación de los docentes para llevarlas adelante. De esta forma, la autonomía docente implica la toma de decisiones propias en relación con el encuadre e incluye las posibles innovaciones pero integradas en un marco compartido.

El encuadre didáctico debe ser entendido como un verdadero sistema en donde sus componentes se engarzan, vinculan y determinan mutuamente. Las decisiones tomadas en torno a alguno de ellos repercuten necesariamente sobre las que se tomen en relación con los otros. Establecer determinados propósitos, afecta la selección de saberes que se haga y nos compromete como docentes con determinadas acciones para generar situaciones didácticas que permitan la construcción de esos saberes. Definir ciertas pautas de evaluación de los saberes no puede ser ajeno a los modos en que esos saberes fueron enseñados y aprendidos. Fijar unos dados lineamientos de acreditación forzosamente debe estar en correspondencia con los saberes enseñados y evaluados.

A continuación se desarrollan los componentes del encuadre didáctico para el espacio curricular de Biología. Según los Mapas Curriculares para el Ciclo Básico y el Ciclo Orientado de la Escuela Secundaria Rionegrina, la disciplina Biología se enseña en 2° y 3° año del Ciclo Básico y en 5° año del Ciclo Orientado, en este último caso como parte de la Formación General. No aparece en 4° año del Ciclo Orientado y en el primer año del Ciclo Básico integra, junto con las otras disciplinas de las ciencias naturales: Química y Física, el espacio curricular denominado "Taller de Ciencias de la Naturaleza para el Ciudadano". Por lo tanto, la siguiente propuesta ha sido proyectada para 2°, 3° y 5° año y debe considerarse como una unidad, es decir, sin una discontinuidad entre ciclos, a pesar de la brecha temporal existente entre 3° y 5° año.

Propósitos

Los propósitos son la expresión de la intencionalidad pedagógica (*qué, cómo, para qué*) y prefiguran un horizonte de acción, en tanto marco experiencial, a ofrecer para que los estudiantes lleguen a construir los saberes que los mismos propósitos implican.

- Favorecer la construcción de un modelo de ser vivo suficientemente rico y complejo que permita interpretar los fenómenos biológicos, especialmente los que se presentan en la vida cotidiana, a través de sucesivas y variadas aproximaciones.
- Facilitar el desarrollo de un pensamiento relacional e integrador, a partir de la familiarización con los modos de conocer de la biología, para utilizarlo en otros contextos.
- Ofrecer oportunidades para la toma de decisiones frente a situaciones con trasfondo biológico que interpelen a los alumnos desde lo personal y como ciudadanos, aportando herramientas y estrategias que les permitan actuar en

forma crítica, reflexiva, creativa y con fundamento, dejando de ser pacientes de una biopolítica que se les impone para ser agentes del cuidado de sus propias vidas.

- Facilitar el acceso al discurso biológico, como parte del discurso científico, estimulando el contacto con él en distintos formatos y soportes, para su apropiación crítica: reconociendo su especificidad, las estrategias discursivas y los contextos de aplicación.
- Acompañar la construcción de una imagen corporal propia que armonice los aspectos biológicos, psicológicos y socioafectivos, para poder tomar decisiones soberanas sobre el propio cuerpo biológico, respetando las otras corporeidades, a través tanto de recorridos disciplinares como abordajes interdisciplinares.
- Estimular la reflexión acerca de la persona humana como parte del mundo biológico, reconociendo el carácter excepcional de sus posibilidades de intervención sobre él, resultantes de su devenir sociohistórico, y las responsabilidades derivadas como consecuencia de ello, para contribuir a generar una conciencia ambiental local, regional y global.
- Introducir a los alumnos en la cultura científica de la época para que comprendan las prácticas específicas que permiten reconocer la interdependencia entre los seres vivos y el medio, apreciar la vida y entenderla como fenómeno dinámico y singular, advirtiendo su vulnerabilidad y su capacidad de adaptación.

Saberes

La selección de los saberes se realizó teniendo en cuenta los propósitos mencionados en el apartado anterior y la concepción de las teorías científicas centrada en modelos, desarrollada en la Fundamentación. Es así que los saberes se organizan de tal forma que permita la construcción de un modelo de ser vivo a lo largo de toda la escolaridad secundaria. El modelo “ser vivo” puede ser considerado un modelo irreducible fundamental en el campo de la biología, lo que justifica su enseñanza en el aula (García Rovira, 2005; Gómez Galindo y otros, 2007).

El modelo “ser vivo” incluye otros submodelos (cada uno de los cuales se compone, a su vez, de numerosos submodelos), como el de célula, organismo, ecosistema, biodiversidad, evolución, por mencionar algunos. Toda la propuesta, entonces, gira en torno a esa construcción, donde el modelo “ser vivo” se despliega a través de sucesivos cambios de escala, considerando los distintos niveles de organización: célula- organismo-ecosistema, que los alumnos deberán identificar y conceptualizar. Las distintas focalizaciones posibilitan un mayor énfasis sobre las relaciones entre conceptos y una progresiva complejización de las representaciones, facilitando una comprensión más integral de lo viviente. Esto significa que recién al finalizar la escuela secundaria los alumnos habrán alcanzado una representación más o menos acabada de los sistemas biológicos (célula, organismo, ecosistema), pudiendo componer entonces un modelo de “lo viviente” más ajustado al de la ciencia. La adopción de este punto de vista —la construcción del modelo “ser vivo” a partir de la diferenciación e integración de la familia de modelos relacionada con él— da continuidad al *currículum* ya que posibilita el estudio de los seres vivos de forma articulada.

Tradicionalmente, los seres vivos han sido estudiados en la escuela desde su estructura, relacionando los órganos y los sistemas con sus funciones, enfatizando en la ubicación

espacial de los órganos, sus nombres y la función que desempeñan. Esta forma de abordaje implica presentar la relación entre estructura y función de forma lineal y causal simple, y no es coherente con la realidad de los seres vivos como sistemas complejos en constante interacción con su medio, donde la estructura y dinámica de las funciones interactúan.

Lo que aquí se propone es recuperar la visión dinámica y compleja de los seres vivos a partir del estudio de las funciones de *nutrición, reproducción y relación*, abordándolas de manera interdependiente e integrando escalas, sin olvidar la conexión con el medio. Al mismo tiempo, el planteo debe incluir la dimensión humana para considerar esas mismas funciones desde el punto de vista de la promoción de la salud y el ambiente, dejando de lado los aspectos más “higienistas” de la misma, representados por su componente instrumental de “la educación para la salud”, dirigida a la modificación de hábitos nocivos para la salud, y su enfoque de “culpabilización de la víctimas”. La alternativa debe estar centrada en el componente más colectivo de la promoción de la salud, en dejar de ser el “Pepito Grillo” de las conciencias y comportamientos individuales para enfatizar una concepción de salud como aquella manera de vivir autónoma, solidaria y profundamente gozosa. Entendiendo la autonomía como la capacidad de desenvolverse en la vida con un mínimo de dependencia, a la vez que aumentan las responsabilidades individuales y de la comunidad en relación con la salud; la solidaridad, como preocupación por los otros y por el entorno, y el término “gozosa”, como reconocimiento de las posibilidades de disfrutar de la vida placenteramente y de una mirada optimista acerca de la vida. Este enfoque no puede prescindir de lo ambiental por lo que en este currículum salud y ambiente se abordan de manera integrada, desde una perspectiva multicausal y multirreferencial (Meinardi y otros, 2010).

Por otra parte, la mirada estaría incompleta si no se consideraran la *biodiversidad*, que se manifiesta tanto en los patrones estructurales y funcionales como en la composición específica de los ecosistemas o genética de las poblaciones, y la *evolución*, donde se encontrarían las *causas últimas* de esos patrones. Se debe señalar que en forma simultánea al reconocimiento de la diversidad de los sistemas biológicos, se requiere tender puentes con la caracterización de los grandes grupos de seres vivos.

Esta propuesta supone una articulación con los saberes que los alumnos deberían haber construido en el espacio de primer año *Taller de Ciencias de la Naturaleza para el Ciudadano*. En este sentido, el punto de partida debería ser la idea de que en todo sistema se pueden reconocer unos componentes *materiales*, que tienen unas propiedades; estos componentes *interactúan*, y los cambios que se producen en ellos se relacionan con procesos de transferencia de *energía*. Es posible que los estudiantes hayan construido también otros saberes vinculados con el recorrido de los materiales y la energía en los seres vivos, y la alimentación en los seres humanos que se deberán retomar en el segundo año.

En la Figura 1 se presenta un esquema que sintetiza lo que se ha dicho hasta aquí y muestra la organización de los saberes desde el enfoque modeloteórico, multiescalar y sistémico que adopta esta propuesta.

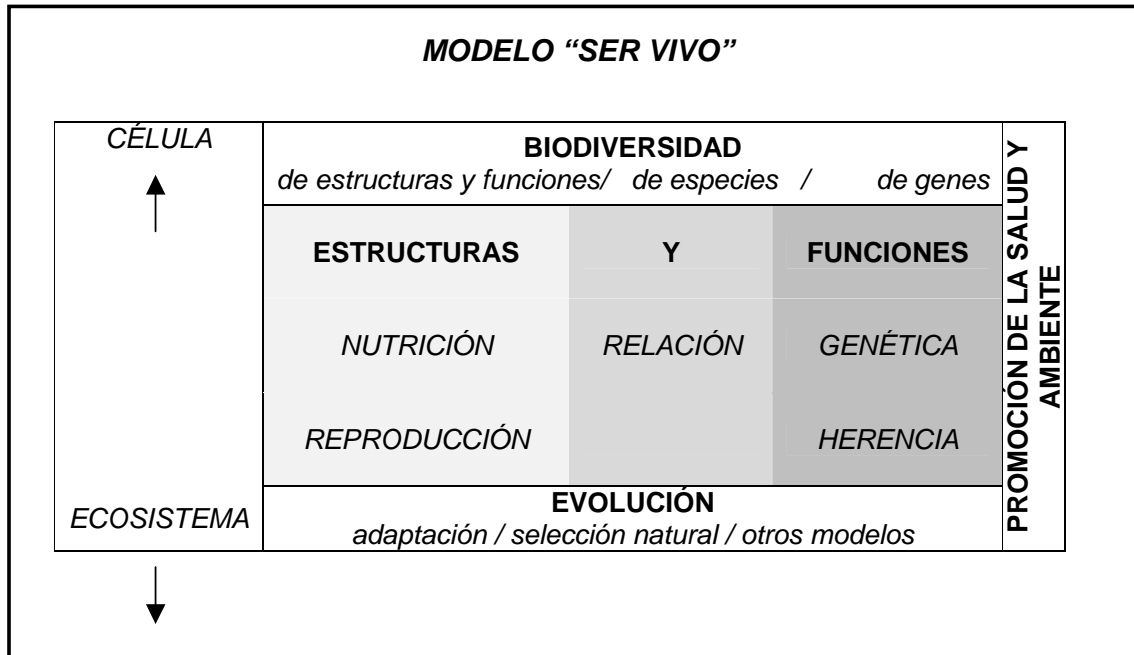


Figura 1. Organización de los saberes. Los distintos sombreados representan los años de escolaridad: 2°, 3° y 5°, de izquierda a derecha. Los lados verticales del marco representan las intersecciones que ocurren en cada año, mientras que los lados horizontales del marco, los desarrollos que se suceden a lo largo de los años. La construcción del modelo "ser vivo" es una tarea a concretar a lo largo de toda la escolaridad secundaria.

No se propone un "programa" de contenidos, sino que estos quedan comprendidos en los saberes que orientan el trabajo por modelos. Desde esta perspectiva, no se trata de introducir conceptos aislados, sino de irlos conectando con el modelo que sirve para explicar los fenómenos objeto de estudio.

Además, si bien en los otros espacios curriculares se presentan ejes que organizan los saberes, en este caso se desestimó tal posibilidad en virtud de la naturaleza de la propuesta. Es difícil captar el dinamismo, la integración de escalas y las interconexiones con que deberían abordarse los saberes, a través del planteamiento de ejes organizadores, más bien estáticos. Por esta razón, se optó por una presentación esquemática como la exhibida en la Figura 1, para mostrar los recorridos horizontales y las intersecciones verticales que orientan la construcción del modelo de ser vivo: el gran eje organizador del espacio, si se quiere.

A continuación se explicitan los saberes a trabajar en quinto año:

5º año

- Comprender que el conocimiento sobre la biodiversidad es organizado en sistemas de clasificación para facilitar tanto su comprensión como la comunicación.
- Reconocer que los sistemas de clasificación de la diversidad biológica sirven de guía para su exploración con fines prácticos (identificación de organismos para la obtención de productos biotecnológicos, selección de organismos, identificación de indicadores ambientales, otros).

- Explicar el origen de la diversidad biológica como el producto de la evolución biológica a partir un ancestro común.
- Reconocer que las clasificaciones de la diversidad biológica se pueden basar en dos criterios principales: similitud y parentesco, los cuales son priorizados de diferente manera por las tres grandes escuelas de clasificación: tradicional (similitud y parentesco), fenética (similitud) y cladismo (parentesco).
- Comprender que el grado de parentesco entre organismos se establece utilizando distintas evidencias.
- Reconocer que las clasificaciones son provisorias, como lo evidencian las modificaciones que han sufrido los sistemas de clasificación de los seres vivos a lo largo de la historia según los criterios utilizados y los conocimientos disponibles en cada momento histórico.
- Conocer los principios de la clasificación cladística.
- Interpretar el uso de cladogramas para representar la diversidad.
- Comprender el valor de la nomenclatura científica para la actividad de los biólogos.
- Reconocer la importancia de las colecciones (museos, herbarios) como forma de documentar la diversidad biológica.
- Comprender la biodiversidad desde el punto de vista de la información genética que portan los organismos.
- Comprender cómo la información genética está codificada en la molécula de ADN y organizada en cromosomas y genes.
- Relacionar los genes con la expresión de las diferentes características de los seres vivos, reconociendo los procesos celulares básicos involucrados y el papel modulador del ambiente.
- Reconocer la relevancia, desde el punto de vista evolutivo y práctico (aplicaciones biotecnológicas), de la universalidad del código genético.
- Comprender la función de la duplicación del ADN en la transmisión de la información genética de una célula madre a una célula hija y las consecuencias de los “errores” que pueden ocurrir en dicho proceso.
- Reconocer las implicancias de las dos formas básicas de transmisión de la información genética en la división celular: sin recombinación de la información y con conservación de la cantidad del material genético, o con recombinación de la información y reducción de la cantidad del material genético.
- Reconocer que la transmisión de un organismo a otro de la información asociada a sus características puede ser explicada a través de “leyes” probabilísticas.
- Reconocer que existen características que se heredan de acuerdo con las “leyes” de Mendel y otras que siguen patrones de herencia más complejos: interacciones entre alelos distintos de la dominancia completa, interacciones entre genes, interacciones con el medio.
- Analizar casos para comprender cómo a través de la experimentación se pueden encontrar evidencias indirectas del rol de los genes en la transmisión de los caracteres hereditarios.
- Evaluar las consecuencias, y sus implicancias políticas y éticas, de los avances alcanzados en el conocimiento del campo de la genética y sus aplicaciones (biotecnología e ingeniería genética), especialmente en las dimensiones ambiental, socioeconómica y ciudadana.
- Analizar las evidencias que sostienen la idea de que todos los seres vivos son el resultado de un proceso de cambio evolutivo y tienen un origen común.
- Reconocer que la actual teoría evolutiva (Teoría Sintética de la Evolución) busca explicar, en general, cómo y por qué se produce el cambio evolutivo y, más particularmente, cómo se originó la biodiversidad y cómo se adaptan las poblaciones.

- Comprender que explicar el origen de la biodiversidad implica entender los mecanismos de producción de nuevas especies (especiación) y la historia de los grandes grupos de organismos.
- Comprender que la adaptación (en términos evolutivos) es explicada por el modelo de selección natural.
- Distinguir los dos tipos de procesos fundamentales que permiten explicar cómo y por qué evoluciona una característica: uno aleatorio (deriva génica) y otro no aleatorio (selección natural).
- Comprender la evolución como un proceso poblacional (y no individual) y que los procesos evolutivos (selección natural, deriva génica y otros) cambian las frecuencias alélicas en las poblaciones.
- Conocer cómo se ponen a prueba las hipótesis evolutivas (estudios genéticos, análisis de fósiles, etc.).
- Comprender que construir una explicación en biología evolutiva implica la elaboración de un texto histórico narrativo fundamentado en evidencias.
- Utilizar las explicaciones evolutivas para dar cuenta de fenómenos cotidianos como el desarrollo de la resistencia a los insecticidas; la existencia de órganos vestigiales como el apéndice; la necesidad de completar el esquema de administración de un antibiótico y los problemas que puede acarrear el tomarlos innecesariamente.
- Dimensionar el tiempo que demanda la evolución para comprender lo irreparable de la extinción de una especie.
- Diferenciar las posturas científicas en torno a la evolución de las que no lo son (por ejemplo, el “diseño inteligente” y otras formas de creacionismo).
- Comprender algunos debates que tienen lugar actualmente en la biología evolutiva como el que se refiere a los niveles de selección, el modelo de equilibrios puntuados, etc.
- Comprender que la especie humana está sujeta a los mismos procesos evolutivos que el resto de los seres vivos.
- Comprender los modelos y debates que la ciencia postula en relación con el origen del ser humano.
- Utilizar estos modelos evolutivos para analizar críticamente algunas cuestiones polémicas de relevancia social, tales como el concepto de raza y eugenesia.
- Formular hipótesis y diseñar estrategias de indagación para ponerlas a prueba en el contexto de la biología evolutiva.

Consideraciones metodológicas

Enseñar y aprender con modelos

La presente propuesta curricular se centra principalmente en la enseñanza basada en modelos y la modelización, y parte de reconocer a la ciencia como una construcción de modelos provisionales, organizados jerárquicamente en teorías, para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo, cuya validez es consensuada considerando no sólo factores racionales sino también sociales y contextuales.

Como se señaló en la Fundamentación, los modelos de enseñanza son los de la ciencia escolar, es decir, unos modelos especialmente desarrollados —transposición didáctica mediante— para ayudar a los estudiantes a comprender los modelos científicamente consensuados. Los modelos de enseñanza deben preservar la estructura conceptual del modelo científico, mostrar su dinamismo a través de la acción en ciencia y negociar con

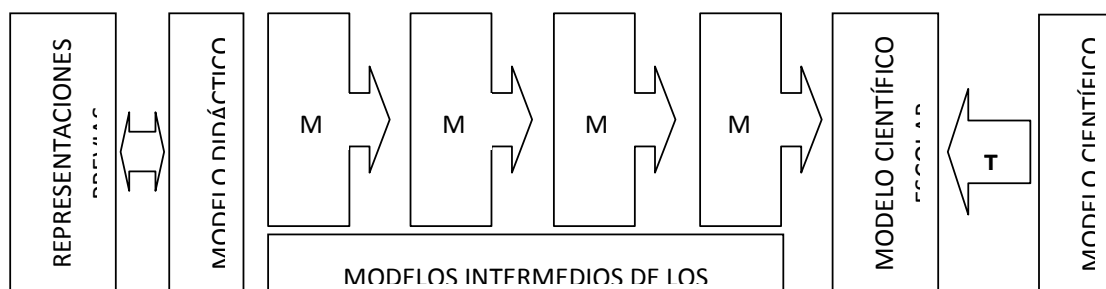
el conocimiento previo de los estudiantes para apoyar la construcción de su comprensión personal a través de la evolución de sus modelos mentales.

Justamente, uno de los desafíos es cómo ayudar a esa construcción, especialmente en Biología, donde el aprendizaje de los fenómenos biológicos es problemático dada la complejidad y el amplio rango de escalas físicas y temporales en que ocurren, que tornan difícil no sólo su observación directa sino también el construir representaciones con los estudiantes (Buckley, 2000). En este marco, el trabajo con analogías aparece como una herramienta útil para facilitar la comprensión de conceptos científicos e interpretar fenómenos nuevos (Harrison y Treagust, 2000; Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Desde este punto de vista, se ha propuesto el uso de modelos didácticos analógicos como mediadores entre las representaciones previas (o modelos de sentido común) de los alumnos y el modelo científico escolar. El “mediador” es un modelo analógico del modelo científico escolar que funciona como heurístico para ayudar, en las clases de ciencias, a pensar, experimentar y hablar sobre el mundo de los fenómenos que se identifican y analizan (Adúriz-Bravo, 2001; Gómez Galindo, 2002; Gómez Galindo y otros, 2007). Los mediadores didácticos son elementos de naturaleza analógica o metafórica que facilitan establecer relaciones desde el modelo de sentido común hacia el modelo teórico escolar (Adúriz-Bravo y otros, 2005).

Las características que tienen estos mediadores ya han sido señaladas en la Fundamentación y pueden sintetizarse diciendo que son sistemas simbólicos abstractos que sirven a manera de ‘mapas’ para interpretar la realidad; son transformados en representaciones diversas: textos, gráficos, maquetas, dibujos, ecuaciones; funcionan como analogías de los modelos (modelos de segundo orden) y tienen una clara intención didáctica.

Estos modelos didácticos analógicos funcionan como modelos teóricos iniciales para representar(se) el mundo natural en las clases de ciencias, los que puestos en diálogo con las representaciones de sentido común, darán lugar a un proceso de reconstrucción que hará evolucionar los modelos mentales de los alumnos para aproximarlos al modelo teórico escolar. Esquemáticamente:



TD: TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

Esta propuesta de trabajo deberá orientar la planificación y las prácticas en el aula de Biología, para que las mismas dejen de estar basadas en la exposición magistral¹⁰ del docente y la reproducción mecánica y memorística de los alumnos, y den lugar a un proceso verdaderamente constructivo, de intercambio entre alumnado y docentes que

¹⁰ Una revisión de la clase magistral y una propuesta para superarla puede leerse en Anijovich y Mora (2009).

favorezca el aporte de ideas, su regulación, integración y organización, y posibilite el actuar, tomar decisiones y resolver problemas. Es decir, se deben crear escenarios que ayuden al alumno a construir sus propios modelos, pero también a interrogarlos y redescubrirlos a partir de los elaborados por otros, ya sean sus propios compañeros o científicos.

Así podremos hablar de una ciencia escolar, cuando en el aula se construyan modelos teóricos que tengan sentido para los estudiantes y les permitan comprender el mundo haciendo, pensando, comunicando e integrando valores y maneras de intervenir en la realidad.

Al mismo tiempo, los estudiantes necesitan adquirir experiencia trabajando con modelos, al utilizarlos como una herramienta para resolver problemas; reflexionar sobre esas experiencias y discutir las funciones de los modelos en la investigación científica. De esta forma, los alumnos desarrollarán una mejor comprensión de los procesos y propósitos de la ciencia, y aprenderán los saberes involucrados en los modelos.

Por otra parte, es importante también que los estudiantes comprendan las características de los modelos así como la relación analógica que subyace en ellos y que necesita ser construida, a fin de no subestimar su naturaleza metafórica.

Las actividades deberían proponer a los estudiantes utilizar diferentes formas de representación de los conceptos desarrollados para formular descripciones y explicaciones de los mismos, elaborar sus propias representaciones, analizar críticamente los modelos utilizados (señalando su utilidad y sus limitaciones), y comparar con modelos presentados por libros de texto y publicaciones de divulgación científica.

Modelos y metacognición

El concepto de metacognición hace referencia a la conciencia sobre los propios procesos cognitivos y la autorregulación de los mismos. Es decir, por un lado al saber *qué*, —relativo a personas (estimar la capacidad propia o la de otros en el uso de la memoria, la lectura, la escritura, el cálculo, etc.), tareas (saber que determinado tipo de tarea es más difícil que otra o hasta qué punto se puede abordar un conocimiento) o estrategias (darse cuenta de que no se ha entendido una determinada explicación o rehacer tareas con la misma estrategia) —y por el otro, al saber *cómo*,— relacionado con la planificación (planificar acciones antes de la resolución de una tarea), el control (reparar un texto el tiempo suficiente para que pueda ser recordado y entendido; pedir que repitan una explicación que no se ha entendido, destacando las dudas o dificultades específicas) y la evaluación de los procesos cognitivos (evaluar los resultados de la estrategia empleada al finalizar una tarea).

En este punto se abordará la actividad metacognitiva en relación con el trabajo con modelos y más adelante se retomará desde el punto de vista de la evaluación, en el apartado correspondiente.

Teniendo en cuenta el esquema que se propuso más arriba para el trabajo en el aula con modelos, se pueden establecer “momentos” donde la metacognición cobra particular relevancia, tanto como actividad de los estudiantes como de los profesores. Uno de ellos es el pasaje entre los niveles representacionales científico y didáctico, en el que la concientización y verbalización de las operaciones conceptuales utilizadas en ese tránsito, pueden hacer más significativo el aprendizaje y permitir a los estudiantes construir una visión más crítica y dinámica del proceso de modelización científica (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001). Al mismo tiempo, se trata de evitar cualquier analogía forzada a través del ejercicio consciente de la metacognición: si se explicitan las

operaciones de transferencia entre modelo y análogo, este último puede jugar su papel de trampolín hacia el modelo científico sin obstruir la integración teórica por mecanismos como la desnaturalización del conocimiento disciplinar.

Otra instancia donde se deberían poner en juego procesos metacognitivos es cuando las representaciones previas de los estudiantes se enfrentan al modelo didáctico propuesto por el docente. Allí es necesario que los alumnos, a través de la reflexión sobre sus propias concepciones, puedan tomar conciencia de la factibilidad o no de sus ideas previas y, por ende, optimizar su disposición al “cambio”. Para facilitar el cambio a través de la acción metacognitiva se requiere: a) hacer explícitas las ideas de los estudiantes y profesores en el contexto del aula, b) discutir las ideas expuestas y contrastarlas con las evidencias e, c) integrar una justificación que brinde soporte a las ideas del sujeto que aprende. Como sostiene Pozo (2001), “la función de la mente es vencer la inagotable entropía de la materia, es poner orden representacional en el mundo, y eso finalmente sólo puede hacerlo [el sujeto] tomando conciencia de sí mismo”.

A lo largo de la evolución de las representaciones de los alumnos hacia el modelo científico escolar, el uso explícito de la metacognición para organizar las operaciones y estrategias cognitivas puestas en juego en el aprendizaje de la biología, debería permitir a los estudiantes independizarse, hasta cierto punto, de los saberes específicos y conseguir transferencias estructurales hacia otros saberes aprendidos o por aprender. Entre estos desplazamientos formales estaría la construcción misma de la idea de *modelo científico*. Las estrategias metacognitivas pueden ser vistas, entonces, como una especie de puente entre la cognición situada (esto es, dependiente de los saberes), y los procesos psicológicos más generales, inespecíficos del dominio.

Modelos, comunicación y lenguaje

Con los modelos se generan formas de “ver” o conceptualizar el mundo, de interpretarlo y de comunicarse. Pero la elaboración de modelos exige también comunicación. Las aulas deben ser espacios que la faciliten, donde a través del lenguaje se dé la construcción de significados, de un discurso compartido por todos en una verdadera comunidad de aprendizaje.

Como sostiene el sugerente título de un trabajo de Sanmartí (1996), *para aprender ciencias hace falta aprender a hablar sobre las experiencias y sobre las ideas*. Aprender a hablar, pero también a escribir y leer para *hacer* ciencia a través del lenguaje: describir, definir, clasificar, informar, hipotetizar, argumentar son, todas ellas, formas de hablar ciencia (Revel Chion, 2010).

Si lo que se pretende es que los alumnos mejoren la comprensión de los textos con los que se enfrentan en las clases de ciencias, a la vez que eleven la calidad de sus producciones textuales, es preciso generar instancias de aprendizaje específicas. O sea, no se puede pensar que estos saberes se aprenden en las clases de lengua y de allí se transfieren a las otras disciplinas (Revel Chion, 2010). En Biología, los estudiantes deberán aprender a manejar los tipos de texto más frecuentes en la disciplina, así como el vocabulario y el lenguaje científico que le son propios. Por eso, la planificación deberá incluir situaciones de uso del lenguaje como actividades de aprendizaje, enfocadas tanto a la escritura como a la lectura.

Siempre teniendo presente, como Freire (1994), que “... en realidad escribir no es un puro acto mecánico precedido por otro que sería un acto *mayor*, más importante, el acto de pensar ordenadamente, organizadamente, sobre un cierto objeto, en cuyo ejercicio el sujeto pensante, apropiándose del significado más profundo del objeto pensado, acaba por aprehender su razón de ser. Acaba por saber el objeto. A partir de ahí, entonces, el

sujeto pensante en un desempeño puramente mecánico, *escribe* los que sabe y sobre lo que pensó antes. ¡No! No es así como suceden las cosas. Ahora mismo, en el momento exacto en que escribo sobre esto, vale decir sobre las relaciones entre *pensar, hacer, escribir, leer, pensamiento, lenguaje, realidad*, experimento la *solidaridad* entre estos diversos momentos, la total imposibilidad de separarlos, de dicotomizarlos”. Y que “... en el nivel de una posición crítica que no dicotomiza el saber del sentido común del otro saber, más sistemático o de mayor exactitud, sino que busca una síntesis de los contrarios, el acto de estudiar siempre implica el de leer, aunque no se agote en éste. De leer el mundo, de leer la palabra y así de leer la lectura del mundo hecha anteriormente. Pero leer no es mero entretenimiento ni tampoco es un ejercicio de memorización mecánica de ciertos fragmentos del texto.”

Es importante que en ambos tipos de actividades —de lectura y de escritura— estén claros los propósitos. ¿Para qué se lee? ¿Para qué se escribe? ¿A quién va dirigida la escritura? Se trata de que los alumnos se apropien de la actividad, que le encuentren un sentido que vaya más allá del de “aprobar la materia” y evitar situaciones artificiales, descontextualizadas, que llevan a resultados no significativos.

En este sentido, las situaciones de escritura deberían ir más allá de la mera comunicación de lo ya aprendido y no estar limitadas a los momentos de acreditación. Dichas situaciones deben desestimar la posibilidad de que se constituyan en una simple copia de información hallada en un texto. Por el contrario, deben exigir que los alumnos se involucren en la actividad y se preocupen por la comprensión del texto por parte del destinatario como una cuestión inherente a la tarea de escribir. De esta manera, los alumnos escribirán para intentar convencer a otros con los que disienten; tomar apuntes para realizar una exposición oral; comunicar la interpretación realizada sobre un texto bajo un formato diferente al de la organización presentada en dicho texto; o relatar una experiencia, una salida de campo, etc.

Por otra parte, los alumnos leen, normalmente, para cumplir con los requerimientos del docente, por ejemplo, responder a las preguntas de un cuestionario, subrayar las ideas principales, resumir un texto, etc. Son los profesores quienes establecen qué leer, cuánto leer y cómo leer, y generalmente los alumnos tratan de satisfacer esas demandas en pos de la acreditación. No hay detrás de ello un genuino interés por saber. Diferente es cuando leen fuera de la escuela para informarse, recrearse, saber cómo funciona un aparato, etc., es decir, con un propósito que les es propio. En la escuela, la situación es creada por los docentes y resulta fundamental, entonces, que los alumnos se apropien de un propósito lector de le dé sentido a la lectura que realizan y la oriente: en este caso, leen porque “necesitan saber”.

Al mismo tiempo, los procesos de escritura y de lectura deberán ser regulados. En el caso de la escritura, todo texto necesita de varios borradores, que requieren ser autoevaluados y autorregulados, cuando no sometidos a la lectura de otras personas (compañeros, profesores, familiares) para que digan si realmente lo entienden o no, lo critiquen y ayuden a reconocer los aciertos y/o desaciertos haciendo avanzar el proceso de reconstrucción de lo aprendido.

En cuanto a la lectura, hay que recordar que el texto aporta sólo un significado “en potencia” y es el lector quien lo actualiza a través de su interpretación, que no necesariamente será la misma que la del autor o la de otros lectores. Los docentes debemos evitar imponer nuestra propia interpretación y postergar su explicitación. Al mismo tiempo, deberíamos intervenir activamente para permitir la circulación de las distintas ideas acerca de los que “dice” el texto para que los estudiantes las contrasten, argumenten y validen las distintas interpretaciones. Por otra parte, los estudiantes deben aprender a reconocer, a medida que avanza la lectura, si la idea que van construyendo

es coherente o no con las ideas que siguen, cuándo se trata de un error de ellos y cuándo de una inconsistencia del texto. “Es decir, se trata de ayudar a los alumnos a monitorear su propia comprensión; a encontrar indicadores, huellas, marcas en el texto que les permitan fundamentar su interpretación o refutar la de un compañero o la del docente; se trata entonces de ‘brindar a los niños oportunidades de construir estrategias de autocontrol de la lectura’ (Lerner, 2001)” (Espinoza y otros, 2009).

Volviendo al comienzo de este apartado, como sostiene Revel Chion (2010): “La ciencia no es un cúmulo de informaciones, sino que está conformada por modelos complejos contruidos y comunicados con reglas lingüísticas propias que forman parte de la cultura, tal como lo hacen las producciones artísticas. ¿Queremos realmente que los alumnos accedan a esta forma de la cultura o la dejaremos reservada para algunos pocos que prosigan estudios superiores en ciencias? Y, para los que efectivamente prosiguen con aquellos estudios, ¿les propondremos aprender y dominar estrategias que les permitan explicar y comunicar adecuadamente las ideas de la ciencia? Si la respuesta es afirmativa, allí mismo radica la importancia de estos aprendizajes”.

Modelos y resolución de problemas

Anteriormente se mencionó el uso de modelos en relación con la resolución de problemas. En este sentido, resolver un problema es mucho más que recurrir a un algoritmo; debe ser una actividad que requiera el análisis de los hechos, la movilización de los saberes necesarios, la búsqueda razonada de una estrategia a seguir para su resolución. No es suficiente con que se posean conocimientos declarativos vinculados con la disciplina, es necesario que se sepa cómo activarlos y utilizarlos para resolver la situación planteada. Además, requiere habilidades para diseñar la forma de obtener los datos necesarios y procesarlos, organizar la información, argumentar y comunicar los conocimientos elaborados a través de su resolución.

Como lo muestran varios estudios (Greca y Moreira 1996,1998; Solaz-Portolés y Sanjosé López, 2007), la comprensión alcanzada en la resolución de problemas es mayor cuando los alumnos logran poner en juego sus modelos mentales sobre el tema, que cuando trabajan solo con proposiciones (fórmulas, definiciones y enunciados de leyes) aisladas, limitándose a aplicarlas mecánicamente. Esto significa, como sostienen Solaz-Portolés y Sanjosé López (2007), “que el uso de estrategias de enseñanza que tomen como referencia los problemas algorítmicos no es adecuado para la comprensión profunda y el aprendizaje significativo de los conceptos. Por ello, el trabajo en el aula debería orientarse hacia tareas de alto nivel cognitivo, como son los problemas que requieran capacidad de análisis y síntesis, llevar a cabo conexiones conceptuales y evaluación de decisiones en situaciones problemáticas que no sean familiares (...) Con todo, los problemas algorítmicos pueden ser útiles para los primeros contactos didácticos con los conceptos y las leyes –sirven de ejemplo y ejercitan al alumno en determinados cálculos o usos de los mismos-, además de facilitar luego la resolución de problemas conceptuales que presentan también demandas procedimentales algorítmicas. Sin embargo, parecen tener escaso valor como indicadores de comprensión de conceptos, lo que cuestiona su extensa utilización en la evaluación del aprendizaje y la profusión con que suelen aparecer en los textos con finalidad educativa o incluso en pruebas de tanta trascendencia como las de acceso a la Universidad”.

En Biología, el planteamiento de situaciones problemáticas no es de uso frecuente y se circunscribe mayormente a la enseñanza y aprendizaje de la genética. Aun en este caso,

los problemas suelen tener características bien definidas: ejercicios¹¹ de lápiz y papel, con un enfoque "causa-efecto", de solución cerrada y única. Por lo general, estos problemas no demandan un análisis detallado de los datos iniciales y son resueltos mediante la aplicación de algoritmos. De mayor interés son los problemas "efecto-causa" en los que se parte de fenotipos conocidos y requieren que el estudiante establezca el modelo de herencia (causa o conjuntos de causas) y determine los genotipos de los individuos haciendo uso de determinadas reglas.

Lo que se propone aquí es resignificar y extender la resolución de problemas a otros tópicos de la disciplina. La resolución de problemas puede ser utilizada con distintas intenciones didácticas: por ejemplo, como movilizadora de la motivación de los alumnos, como herramienta o medio para lograr el aprendizaje, o como estrategia para evaluar los aprendizajes. En cualquier caso, se debería tender a plantear problemas cuya resolución demande la referencia a algún modelo y que sean abiertos, esto es, que el enunciado no proponga explícita o implícitamente un modelo que se debe emplear y que admita más de una respuesta. En síntesis, es preciso que los alumnos se enfrenten a problemas que despierten en ellos la necesidad de encontrar respuestas — que sean auténticos—, que deben ser modeladas, explicadas, pero también enriquecidas mediante la multiplicación de modelos alternativos.

Si el propósito es hacer de la resolución de problemas una estrategia de aprendizaje, entonces la primera condición es que los interrogantes propuestos tengan realmente carácter problemático y no se trate de meras preguntas retóricas (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 2002). Es importante reflexionar, en este punto, sobre la formulación de preguntas: de *buenas* preguntas.

En relación con la resolución de problemas, una buena pregunta sería aquella que permite la enunciación de una o más hipótesis, que puedan ser pensadas "experimentalmente". En consecuencia, deberían descartarse las preguntas que pueden ser respondidas con un *sí* o *no*, ya que este tipo de preguntas cierran la posibilidad de argumentar ideas y de intercambiarlas.

Más en general, "es posible utilizar una variedad de preguntas en el desarrollo de la enseñanza pero, para que efectivamente contribuyan al aprendizaje de los alumnos, es imprescindible que el docente se pregunte qué quiere que los alumnos comprendan de la disciplina y qué habilidades cognitivas se propone que desarrollen" (Anijovich y Mora, 2009). Es así que la tarea de formular preguntas adecuadas en un contexto didáctico requiere reflexión, planificación, acción y evaluación¹².

Pero no solo los docentes preguntan en clase. También lo alumnos lo hacen, o lo hacen poco. Por ello, se debe estimularlos a que formulen sus propias preguntas y es necesario enseñarles a reconocer los distintos tipos de preguntas. Solo así sus preguntas (y sus respuestas) crecerán en profundidad.

¹¹ La distinción entre *problemas* y *ejercicios* es relativa al sujeto que los ha de resolver. Si domina todos los conocimientos y procedimientos necesarios se encontrará frente a un ejercicio, mientras que si los desconoce tendrá un problema. Así, la mayoría de las situaciones que el docente plantea en clase son ejercicios para él, ya que conoce la estrategia de resolución, mientras que para el alumno son problemas hasta que logra reconocerlos como "modelos" o problemas-tipo (Oñorbe, 2003).

¹² Algunas orientaciones sobre la formulación de preguntas adecuadas pueden encontrarse en el Capítulo 2: Las buenas preguntas, del libro *Estrategias de enseñanza. Otra mirada del quehacer en el aula* de R. Anijovich y S. Mora (2009).

Modelos y trabajo experimental

Seguramente, nadie duda del valor formativo de los trabajos prácticos experimentales en la enseñanza de las ciencias, basado sobre la gama de potencialidades de los mismos (Caamaño, 2003):

- Motivan al alumnado.
- Permiten un conocimiento vivencial de muchos fenómenos.
- Permiten ilustrar la relación entre variables significativas en la interpretación de un fenómeno.
- Pueden ayudar a la comprensión de conceptos.
- Permiten realizar experimentos para contrastar hipótesis emitidas en la elaboración de un modelo.
- Proporcionan experiencia en el manejo de instrumentos de medida y en el uso de técnicas de laboratorio y de campo.
- Permiten acercarse a la metodología y los procedimientos propios de la indagación científica.
- Constituyen una oportunidad para el trabajo en equipo y el desarrollo de actitudes y la aplicación de normas propias el trabajo experimental.

Sin embargo, cuando se consideran los logros alcanzados con ellos, la perspectiva no es positiva y se destaca su poca efectividad, e incluso en algunos casos, su inutilidad.

Estos resultados se han atribuido mayormente al carácter cerrado con el que se son planteados los trabajos prácticos. Pero también hay que llamar la atención sobre el hecho de que, muchas veces, los docentes no reconocen las limitaciones inherentes a cada tipo de experiencia, de tal manera que la propuesta no condice con los propósitos planteados y se obtienen otros resultados de los esperados, en términos de aprendizajes.

Por consiguiente, al plantearse la realización de trabajos prácticos experimentales en biología debería tenerse en cuenta:

- La adecuación entre los propósitos y el tipo de trabajo experimental escogido, reconociendo sus posibilidades y limitaciones.¹³
- El grado de apertura, tendiendo a propuestas cada vez más abiertas, donde la mayor parte de las decisiones queden en manos de los estudiantes (sin por eso renunciar al papel del docente como coordinador y orientador pedagógico de la tarea).¹⁴
- La significatividad de la situación experimental para los estudiantes.

De cualquier forma, los trabajos prácticos experimentales deberían ser abordados como una actividad genuina de aprendizaje, en la que la teoría y la práctica se iluminen mutuamente. De nada vale aprender a operar un microscopio si esa manipulación no favorece la construcción y reconstrucción del modelo de célula de los estudiantes, por ejemplo.

En efecto, el aprendizaje conceptual se apoya en la acción de los sujetos sobre situaciones “concretas”, de forma articulada y en relación con la actividad cognitiva, con la utilización de lenguaje para comunicar y operar sobre entidades conceptuales y la utilización y construcción de relaciones. Como sostiene el Marco Teórico del Diseño

¹³ Una tipología de trabajos prácticos puede ser consultada en Caamaño (2003).

¹⁴ Más sobre el grado de apertura de las investigaciones se puede leer en Caamaño (2003) y Meinardi (2010b).

Curricular, no tiene sentido continuar separando conocimiento conceptual de procedimental. De ahí que el trabajo experimental deba ser considerado en el contexto del aprendizaje conceptual de forma clara y consecuente. El trabajo experimental es una ocasión privilegiada para construir y desarrollar conceptos, pues al mismo tiempo que moviliza algunos será necesario reformular, enriquecer y eventualmente aprender otros, impulsando el cambio en las representaciones que los alumnos tienen de un fenómeno.

En resumen, los trabajos experimentales deben estar al servicio de una demanda cognitiva si realmente se quiere aproximar a los estudiantes a la actividad que realizan los científicos, que, como se señaló en la Fundamentación, dista mucho de aplicar el tradicional “método científico”.

Evaluación

Este apartado dedicado a la evaluación, se dirigirá a complementar y profundizar algunos aspectos ya consignados en el Marco Teórico. En él se lee que la evaluación será *procesual, continua e integrada* en el curriculum y, con él, en el aprendizaje, además de ser siempre *formativa, motivadora, orientadora* y al servicio de los protagonistas.

Como sintetiza Anijovich (2010a), la evaluación será verdaderamente formativa si:

- “Los docentes comunican con claridad los [propósitos] y los alumnos tienen que participar activamente en su comprensión, estableciendo relaciones con las tareas que va a desarrollar y los criterios de calidad de estas.
- Los docentes ofrecen retroalimentaciones variadas en sus estrategias y frecuentes en el tiempo, focalizándose en el futuro más que deteniéndose en lo ya sucedido. También los alumnos ofrecen retroalimentaciones a sus pares.
- Los docentes estimulan y promueve en los alumnos procesos metacognitivos y reflexiones sobre sus trabajos para que asuman un trabajo activo de monitoreo y comprensión de sus propios procesos de aprendizaje, estrategias, obstáculos, avances.
- Los docentes ofrecen y/o construyen con los alumnos criterios de niveles de calidad de las producciones.
- Los alumnos identifican fortalezas y debilidades que les permitirán orientar sus aprendizajes.
- Los docentes recogen información de sus observaciones, del análisis de las producciones y de los aportes de los estudiantes. A partir de ella, ajustan la enseñanza.
- Docentes y alumnos son conscientes del impacto emocional de las retroalimentaciones en la autoestima y en la motivación de todos y cada uno”.

Por otra parte, se debe distinguir, tal como propone Perrenoud (2008), entre la evaluación del *aprendizaje* del alumno y la evaluación de su *actividad*. En teoría, es posible diferenciar la actividad del alumno en una tarea escolar (por ejemplo, elaborar un esquema que explique las relaciones alimentarias en un ecosistema o producir un texto argumentativo), sus procesos cognitivos (razonar, interpretar, relacionar, deducir...) y sus aprendizajes (integrar un nuevo conocimiento en un saber más amplio, transferir este conocimiento a otras situaciones). Ahora bien, si el alumno es pasivo, es imposible evaluar su aprendizaje; sin embargo, realizar exitosamente una actividad no significa automáticamente que ha ocurrido aprendizaje. Es decir que la actividad del alumno es una condición necesaria pero no suficiente para apreciar el aprendizaje que no es directamente aprehensible.

Esto implica, desde el punto de vista de la evaluación, que los hechos evaluados son hechos *construidos*, en el sentido que son suscitados por las situaciones de evaluación implementadas, las metodologías elegidas, las herramientas utilizadas, el tipo de apoyo otorgado (Mottier Lopez, 2010). No se evalúa un aprendizaje “puro”, independiente de la situación que lo hace observable, sino que la situación de evaluación forma parte de lo que el alumno aprende y “marca” el aprendizaje escolar evaluado.

Un aspecto que forma parte de las situaciones de evaluación, es la selección y uso de herramientas de evaluación. Si bien es cierto que es posible evaluar sin instrumentos, como cuando el profesor observa las actividades de los alumnos e interactúa con ellos para comenzar una regulación, el uso de herramientas particulares permite estructurar y facilitar la evaluación, a la vez que puede constituir un registro disponible para la consulta de los diferentes actores de la evaluación.

A la hora de construir y utilizar los instrumentos de evaluación se deberán considerar las siguientes condiciones, si se pretende asegurar la validez de la evaluación (Camilloni, 2010):

1. La correspondencia entre los saberes evaluados y los saberes enseñados y aprendidos.
2. La adecuación del instrumento al propósito que se persigue.
3. La coherencia entre los propósitos de la evaluación y los propósitos de la enseñanza.
4. Los efectos que tiene la interpretación y el uso de la información (que deberían ser positivos o mínimamente adversos para los individuos o grupos relacionados con la evaluación).
5. Las decisiones que se adoptarán sobre la base de esa evaluación.
6. Que su uso no signifique un obstáculo para la regulación.

La evaluación formativa ofrece una amplia variedad de recursos que permiten un nuevo diálogo con los estudiantes para comprender sus aprendizajes: desde la elaboración de portafolios o diarios de aprendizaje hasta la realización de proyectos¹⁵. Una herramienta novedosa y consistente con los principios de la evaluación que se sostienen en este Diseño Curricular, está representada por las matrices de valoración o *rúbricas*, que definen distintos niveles de aprendizaje para cada criterio evaluado y permiten seguir el proceso llevado adelante por los alumnos.

Los instrumentos utilizados deberían poder plantear situaciones en las que los estudiantes tuvieran que poner en juego sus saberes previos, utilizar diversas estrategias y demostrar la comprensión de los saberes nuevos, brindando información para que alumnos y docentes tomen decisiones: los primeros, en cuanto a sus aprendizajes (autorregulación), y los segundos, en relación con las prácticas de enseñanza.

Asimismo, es conveniente que los alumnos puedan aprender a utilizar las herramientas, elaborando junto con el docente una comprensión compartida de las mismas y sus finalidades.

Los resultados obtenidos a través de la aplicación de los instrumentos deben ser interpretados en un marco de referencia que incluya los criterios y/o la autorreferencialidad, es decir, la comparación del nivel alcanzado por el alumno con su nivel anterior. En una evaluación que se pretenda formativa, no es admisible la

¹⁵ Algunos de estos instrumentos y otros han sido desarrollados en documentos curriculares anteriores como el Módulo de la Capacitación 2008: La Transformación de la Escuela Secundaria Rionegrina desde el Taller de Ciencias de la Naturaleza para el Ciudadano, o en el presente Diseño Curricular, en el espacio curricular de los Talleres Interdisciplinarios.

comparación interindividual y la construcción de una norma, pues esto no permite identificar las dificultades encontradas por los alumnos, sus procesos o avances realizados. En este contexto, es importante que los alumnos se apropien de los criterios de evaluación e incluso puedan ajustarlos para comprenderlos mejor y utilizarlos para autorregularse.

Desde esta perspectiva de la evaluación, los alumnos deben poder autoevaluarse. La autoevaluación es al mismo tiempo un medio y un objeto de aprendizaje. Un medio, porque permite a los alumnos ocuparse de sus procesos cognitivos y motivacionales para aprender. Lo segundo, porque el desarrollo de esta aptitud para ejercer un control sobre los propios aprendizajes debe ser una preocupación de docentes y estudiantes.

Se debe buscar, en consecuencia, que los alumnos asuman un rol activo, protagónico, con respecto a la evaluación, brindando oportunidades para que reflexionen sobre la calidad de sus trabajos, los analicen y emitan un juicio de valor sobre la base de criterios previamente establecidos; expliciten las estrategias de aprendizaje implementadas; revisen la planificación de las operaciones necesarias para llevar adelante una tarea, con la intención de mejorar sus aprendizajes, desarrollar una conciencia metacognitiva más profunda y convertirse en estudiantes cada vez más autónomos.

En la misma dirección debería plantearse la evaluación entre pares (coevaluación), la que puede contribuir a mejorar tanto los aprendizajes de quienes reciben la retroalimentación como de quienes la ofrecen. Para que sea significativa, es necesario que se genere un clima de confianza mutua, de trabajo e intercambio, en que la ignorancia y el error son aceptados, donde se ofrecen ejemplos o sugerencias con lenguaje sencillo, con el único fin de mejorar un trabajo, una producción o un desempeño (Anijovich, 2010 b).

Algunas sugerencias para implementar la coevaluación en las aulas pueden ser las siguientes (adaptado de Anijovich, 2010 b):

- Destinar un tiempo para que los estudiantes comprendan el para qué, el sentido, conozcan las diferentes estrategias que se pueden utilizar y los posibles obstáculos que encontrarán.
- Asegurarse que los estudiantes conocen los propósitos de la tarea, el tipo de demanda cognitiva que esta implica y los criterios de valoración que orientarán la retroalimentación a sus pares.
- Establecer que las retroalimentaciones entre pares sean anónimas.
- Ofrecer un protocolo o guía de preguntas para llevarla adelante.
- Alternar retroalimentaciones por escrito con devoluciones cara a cara.
- Organizar devoluciones de un equipo a otro.

Entendidas de esta forma, la hetero-, auto- y coevaluación se articulan en un “proceso de enseñar- aprender- evaluar [que] se convierte en un acto de comunicación social con todas sus exigencias y posibilidades, y la evaluación se revela como un elemento primordial en el proceso de auto- socio- construcción del conocimiento” (Sanmartí, 2007).

Volviendo al uso de las herramientas de evaluación, como advierte Camilloni (2010), “(...) por lo general, tanto en la teoría como en la práctica, una vez realizados los primeros pasos en el proceso de construcción de los instrumentos, la validez se define internamente con referencia específica a los propósitos propios de la evaluación. Es así como en esta etapa del proceso observamos que los propósitos de la evaluación se han distanciado ya de los procesos de la enseñanza, en razón de que son el resultado de las selecciones e interpretaciones que, con el objetivo restringido de obtener una medida, definir un ranking, comparar individuos, grupos o instituciones, concluyen por reducir el campo y limitarlo a la formación medible sobre esas bases.”

Es necesario, entonces, reafirmar la evaluación como *un instrumento de intervención y no de simple constatación* (Alonso Sánchez y otros, 1996). En este sentido, la evaluación no puede reducirse a aquello que permite una medida más fácil y rápida: la memorización repetitiva de los "conocimientos teóricos" y su aplicación igualmente repetitiva a ejercicios de lápiz y papel. Se trata de ajustar la evaluación -es decir, el seguimiento y la retroalimentación- a las finalidades y prioridades establecidas para el aprendizaje.

Si se acepta que la cuestión esencial no es averiguar quiénes son capaces de hacer las cosas bien y quiénes no, sino lograr que la gran mayoría consiga hacerlas bien, es decir, si se acepta que el papel fundamental de la evaluación es incidir positivamente en el proceso de aprendizaje, es preciso concluir que ha de tratarse de una evaluación a lo largo de todo el proceso y no de valoraciones terminales. Ello no supone parcializar la evaluación realizando pruebas tras períodos más breves de aprendizaje para terminar obteniendo una nota por acumulación sino integrar las actividades evaluadoras a lo largo del proceso con el fin de incidir positivamente en el mismo, dando la retroalimentación.

Se trata, en definitiva, de lograr una total confluencia entre las situaciones de aprendizaje y de evaluación, explotando el potencial evaluador de las primeras y diseñando las segundas como verdaderas situaciones de aprendizaje. En esta misma línea de pensamiento, es posible afirmar que la evaluación, en definitiva, siempre es diagnóstica si pretende estar al servicio de los aprendizajes.

En cuanto a la calificación, ha de constituir una estimación cualitativa que utilice categorías amplias, se apoye en una diversidad de y se justifique con comentarios detallados. Ello no supone, muy al contrario, caer en el subjetivismo: cuantos más elementos se puedan tomar en consideración (incluyendo, muy en particular, las actividades ordinarias de aprendizaje realizadas en clase) y cuanto más amplias sean las categorías, más fiables y fáciles de consensuar resultan las estimaciones. De hecho, una calificación de estas características permite que no haya discrepancias sensibles entre las valoraciones del profesor y las del propio estudiante (o la que pueden realizar sus compañeros).

Toda calificación ha de ser presentada como una indicación provisional y ha de ir acompañada, en caso necesario, de propuestas de actuación para su mejora (y de la comunicación de expectativas positivas en ese sentido). No es lo mismo, por supuesto, dar a un estudiante una valoración de "insuficiente" que explicarle que ha de realizar progresos en tales y cuales aspectos para lograr una valoración global positiva, estimularle a realizar las tareas correspondientes y apoyarle con un seguimiento adecuado.

Finalmente, y a manera de cierre de este apartado, es oportuno reflexionar junto con Camilloni (2010): "Cuando encontramos que hay coherencia efectiva entre enseñanza y evaluación, cuando la evaluación está alineada con el currículo y con la programación didáctica, cuando evaluación y enseñanza están realmente entrelazadas, cuando los nuevos aprendizajes de los alumnos se asientan sobre aprendizajes previos y se establece una red que contiene los aprendizajes nuevos y lo que ya sabían, y entre ellos se enriquecen mutuamente, cuando lo que se enseña y se aprende es interesante y desafiante, y cuando se perciben estos aprendizajes como asequibles, al menos en algún grado, para todos los alumnos, probablemente podamos afirmar que [...] [e]s en la congruencia de estas relaciones donde reside la "honestidad" de la buena enseñanza y de la buena evaluación de los aprendizajes."

Lineamientos de acreditación básicos

5° año

- Reconocer el valor de la clasificación biológica desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y de otros fines prácticos.
- Comprender los fundamentos del sistema actual de clasificación de los seres vivos, reconociendo su dinamismo.
- Reconocer las relaciones entre información genética, características fenotípicas y ambiente, integrando los procesos que ocurren a nivel celular para comprender que, en los organismos multicelulares, la misma información genética se expresa de manera distinta en diferentes células.
- Explicar la variabilidad genética de las poblaciones como producto del origen de nueva información, debido a alteraciones ocurridas durante el procesamiento del material genético.
- Identificar los principios básicos que sustentan las prácticas biotecnológicas para reconocerlos en casos particulares: por ejemplo, obtención de organismos transgénicos, clonación.
- Analizar críticamente algunas aplicaciones y limitaciones de la manipulación genética en plantas y animales, incluido el hombre, asumiendo un posicionamiento ético frente a la misma.
- Aplicar los modelos de la herencia mendeliana y no mendeliana a situaciones de la vida cotidiana, como por ejemplo, cómo saber si se padecerá una enfermedad hereditaria, el uso de grupos sanguíneos como pruebas de paternidad, predecir alguna característica de los descendientes de una pareja, qué recomendar en caso de que alguien padezca determinada enfermedad genética, etc.
- Usar la teoría evolutiva actual para explicar el origen de rasgos concretos, la adaptación y la formación de nuevas especies.
- Comprender el origen evolutivo de la especie y las poblaciones humanas para disponer de modelos científicos que permitan el análisis crítico de posturas políticas e ideológicas relacionadas con problemáticas sociales que involucran conceptos tales como el de raza.

Bibliografía

- ADÚRIZ-BRAVO, A. Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona. 2001. Consultado septiembre de 2010 en <http://www.tesisexarxa.net/TDX-1209102-142933>
- ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Existirá el “método científico”? en: En: L. R. Galagovsky (coord.) *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?* Buenos Aires. Biblos. Pp. 47-59. 2008
- ADÚRIZ-BRAVO, A. y M. Izquierdo-Aymerich. Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Año 4 Nro. Especial 1, pp. 40-49. 2009
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; Gómez, A.; Márquez, C. y Sanmartí, N. La mediación analógica en la ciencia escolar. Propuesta de la ‘función modelo teórico’. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra. VII Congreso. 2005
- AIKENHEAD, G.S. Review of Research on Humanistic Perspectives in Science Curricula. A paper presented at the European Science Education Research Association (ESERA) 2003 Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 19-23, 2003.
- AIKENHEAD, G.S. The Humanistic and Cultural Aspects of Science & Technology Education. A plenary paper presented to the 11th International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) Symposium Lublin, Poland, July 25-30, 2004.
- ALONSO SÁNCHEZ, M.; Gil Pérez, D y Martínez-Torregrosa J. Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 30: 15-26. 1996.
- ANIJOVICH, R. Introducción. En: ANIJOVICH, R. (comp.), Camilloni, A. R. W. de; Cappelletti, G.; Hoffmann, J.; Katzkowicz, R. y Mottier Lopez, L. *La evaluación significativa*. Buenos Aires, Paidós. Pp. 15-22. 2010 a.
- ANIJOVICH, R. La retroalimentación en la evaluación. En: ANIJOVICH, R. (comp.), Camilloni, A. R. W. de; Cappelletti, G.; Hoffmann, J.; Katzkowicz, R. y Mottier Lopez, L. *La evaluación significativa*. Buenos Aires, Paidós. Pp. 129-149. 2010 b.
- ANIJOVICH, R. y Mora, S. *Estrategias de enseñanza. Otra mirada al quehacer en el aula*. Buenos Aires, Aique. 2009.
- BUCKLEY, B.C. Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, Vol. 22 (9), pp. 895-935. 2000.
- CAAMAÑO, A. Los trabajos prácticos en ciencias. En: Jiménez Aleixandre, M. P. (coord.) *Enseñar Ciencias*, Barcelona, Graó. Pp. 95-118. 2003.
- CAMILLONI, A. R. W. de. La validez de la enseñanza y la evaluación. ¿Todo a todos? En: ANIJOVICH, R. (comp.), Camilloni, A. R. W. de; Cappelletti, G.; Hoffmann, J.; Katzkowicz, R. y Mottier Lopez, L. *La evaluación significativa*. Buenos Aires, Paidós. Pp. 23-42. 2010.
- CAPONI, G. Explicación seleccional y explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. *Episteme*, Porto Alegre, N°14, pp. 57-88. 2002.
- CERLETTI, A. A. *Repetición, novedad y sujeto en la educación*. Buenos Aires, Del Estante Editorial, 2008.
- CHAMIZO, J. A. Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.*, 7(1), pp. 26-41. 2010.
- CHARLOT, B. *La relación con el saber- Elementos para una teoría*. Buenos Aires, Libros del Zorzal. 2007 [1997].
- CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires. Aique. 1997.
- DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. y M.P. Jiménez Aleixandre. Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. En: M. Catalá y otros. *Las ciencias en la escuela. Teorías y prácticas*. Barcelona. Graó. Pp. 27-36. 2002.
- ESPINOZA, A.; Casamajor, A. y Pitton, E. *Enseñar a leer textos de ciencias*. Buenos Aires. Paidós. 2009.

FOUCAULT, M. *El nacimiento de la biopolítica*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica. 2007 [1979].

FREIRE, P. *Cartas a quien pretende enseñar*. Buenos Aires. Siglo XXI Editores, 1994.

GALAGOVSKY L. R. y Adúriz Bravo A. Modelos y Analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 231-242. 2001.

GALAGOVSKY, L. R. ¿Se puede hacer “ciencia” en la escuela? En: L. R. Galagovsky (coord.) *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?* Buenos aires. Biblos. Pp. 85-104 2008.

GARCÍA ROVIRA, M. P. Los modelos como organizadores del currículo en biología. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra. VII Congreso, pp. 1-6. 2005.

GIERE, R. N. La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 1992. [Original en inglés de 1988].

GIERE, R. N. Un Nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 63-70. 1999.

GÓMEZ GALINDO, A. A. Reflexiones sobre la utilización de un modelo mediador didáctico como herramienta auxiliar en la construcción del modelo de ser vivo en niños y niñas de nueve años. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona. 2002.

GÓMEZ GALINDO, A. A.; Sanmartí, N. y Pujol, R. M. Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 325–340. 2007

GRECA, I.M. y Moreira, M.A. Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-303. 1998.

GRECA, I.M. y Moreira, M.A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de posgrado y físicos profesionales. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1). 1996.

HARRISON A. G. y Treagust D. F. A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026. 2000.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. Fundamentos epistemológicos. En: Perales, F.J. y Cañal, P. (comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil. Pp. 35-64. 2000

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas. En: Jiménez Aleixandre, M.P. (coord.) *Enseñar ciencias*. Barcelona. Graó. Pp. 13- 32. 2003.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173–184. 2006.

MAYR, E. *Toward a new philosophy of biology*. Cambridge. Harvard University Press 1988.

MAYR, E. *Así es la biología*. Madrid. Editorial Debate. 1998.

MAYR, E. *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires. Katz. 2006.

MEINARDI, E. El sentido de educar en ciencias. En: Meinardi, E.; L. González Galli; A. Revel Chion y M. V. Plaza. *Educación en ciencias*. Buenos Aires. Paidós. Pp. 15- 39. 2010 a.

MEINARDI, E. ¿Cómo enseñar ciencias?. En: Meinardi, E.; L. González Galli; A. Revel Chion y M. V. Plaza. *Educación en ciencias*. Buenos Aires. Paidós. Pp. 95- 129. 2010 b.

MEINARDI, E.; M. V. Plaza y A. Revel Chion. Educación en ambiente y salud. En: Meinardi, E.; L. González Galli; A. Revel Chion y M. V. Plaza. *Educación en ciencias*. Buenos Aires. Paidós. Pp. 191- 224. 2010.

MOREIRA, M. A. y Greca, I. M. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. *Ciência e Educação*, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

MOTTIER LOPEZ, L. Evaluación formativa de los aprendizajes. Síntesis crítica de los trabajos francófonos. En: ANIJOVICH, R. (comp.), Camilloni, A. R. W. de; Cappelletti, G.;

Hoffmann, J.; Katzkowicz, R. y Mottier Lopez, L. *La evaluación significativa*. Buenos Aires, Paidós. Pp. 43-71. 2010.

OÑORBE, A. Resolución de problemas. En: Jiménez Aleixandre, M.P. (coord.) *Enseñar ciencias*. Barcelona. Graó. Pp. 73- 93. 2003.

PERRENOUD, P. *La evaluación de los alumnos. De la producción de la excelencia a la regulación de los aprendizajes. Entre dos lógicas*. Buenos Aires. Colihue. 2008.

POZO, J. I. *Humana mente: el mundo, la conciencia y la carne*. Madrid, Morata. 2001.

POZO, J. I. La adquisición de conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. *Investigações em Ensino de Ciências – V7 (3)*, pp. 245-270, 2002.

REVEL CHION, A. Hablar y escribir ciencias. En: Meinardi, E.; L. González Galli; A. Revel Chion y M. V. Plaza. *Educación en ciencias*. Buenos Aires. Paidós. Pp. 163- 190. 2010

SANMARTÍ, N. Para aprender ciencias hace falta aprender a hablar sobre las experiencias y sobre las ideas. En: *La Lengua como instrumento de aprendizaje*. Textos de Didáctica de la Lengua y de la Literatura N°8, Barcelona, Graó, 1996.

SANMARTÍ, N. *10 ideas clave. Evaluar para aprender*. Barcelona, Graó, 2007.

SOLAZ-PORTOLÉS, J. J. y Sanjosé López, V. Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 6(1). 2007.

VERGARA SANTANA, M. La Filosofía en las Ciencias Biológicas. *Avances en Investigación Agropecuaria* 11 (1): 27-39. Universidad de Colima, México. 2007. (<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=83711104>)

WOLOVELSKY, E. *El siglo ausente. Manifiesto sobre la enseñanza de la ciencia*. Buenos Aires. Libros del Zorzal. 2008.