

Un papel para la epistemología en la enseñanza de las ciencias

A role for epistemology in science education

Carola Astudillo – castudillo@rec.unrc.edu.ar

Alcira Rivarosa – arivarosa@exa.unrc.edu.ar

Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

Investigación
Investigación

RESUMEN

El presente trabajo aborda el papel de la epistemología en la enseñanza de las ciencias refiriendo a dos sentidos complementarios: a) como saber contextualizado en las metas de la educación científica para el siglo XXI; y b) como herramienta para resolver los problemas prácticos que se plantean al profesorado en el aula de ciencias. Ambos sentidos se desarrollan en relación con cuatro ideas epistemológicas claves la naturaleza tentativa y provisoria de la ciencia, la no neutralidad de las ideas científicas, el principio de pluralidad metodológica y el carácter no acumulativo del conocimiento científico. Su abordaje integra propuestas, ejemplos y casos curiosos tomados de bibliografía de divulgación científica, discusiones filosóficas sobre la ciencia e investigaciones preocupadas por la integración de la reflexión metacientífica en la enseñanza escolar y la formación del profesorado..

Palabras clave: epistemología – enseñanza de las ciencias – reflexión metacientífica – enfoque narrativo

ABSTRACT

This paper examines the role of epistemology in science education considering two complementary aspects of it: a) as contextualized knowledge in the goals of science education for the twenty-first century, and b) as a tool to solve practical problems posed to teachers in the science classroom. Both interpretations are developed in relation to four key epistemological ideas: the tentative and provisional nature of science, the non-neutrality of scientific ideas, the principle of methodological pluralism and the non-cumulative aspect of the scientific knowledge. This approach integrates proposals and curios examples and cases taken from popular science literature, philosophical discussions about science and research concerned with the integration of metascientific reflection in school education and teacher training.

Keywords: epistemology – science education – metascientific reflection

Introducción

Plantear la reflexión respecto del papel de la epistemología en la enseñanza requiere, como punto de partida, de una primera aclaración. Nos referimos a la necesidad de superar aquellas visiones que sitúan a la epistemología como un mero recurso para enseñar que se adiciona al conocimiento disciplinar o didáctico. Proponemos, en cambio, integrar la reflexión sobre la naturaleza del conocimiento científico como un aporte para superar la clásica disociación teoría-práctica, la fragmentación enciclopedista y el eclecticismo aún vigentes, no sólo en el currículum escolar, sino también en la formación docente del profesorado de ciencias.

Situados en esta posición inicial, plantearemos dos cuestiones centrales y que, esperamos, resulten organizadoras de lo que sigue.

La primera de ellas es que, cuando referimos a una epistemología anclada en la enseñanza, hablamos de un conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia contextualizado en las metas de la educación científica para el siglo XXI. Adoptamos, en este sentido, un enfoque capaz de integrar saberes provenientes no sólo de la epistemología sino también de la historia, sociología de la ciencia, todos ellos traspuestos en función de su valor profundamente educativo.

La segunda cuestión es que nos reconocemos interesados en una epistemología que contribuya a abordar los problemas prácticos que plantea la enseñanza de las ciencias naturales y que aporte herramientas para cuestionar el pensamiento docente espontáneo e indagar reflexivamente alternativas de innovación plausibles.

Creemos que ambos posicionamientos revelan un enfoque de profesionalización docente que reconoce a la inmersión en la cultura científica como una tarea abierta, problematizadora y creativa para el profesorado de ciencias (Vilches y Gil, 2007; Furió, 1994).

Epistemología y educación científica para el siglo XXI

En función de lo expresado, la reflexión acerca de las metas de la educación científica se constituye en una antesala ineludible. Debemos interrogarnos entonces acerca de qué queremos como profesores o maestros para luego dar un paso más: ¿cuáles de estas metas –que deberían interesarnos como educadores– convocan genuinamente a la reflexión epistemológica?

Quizás antes de ensayar una respuesta acordaremos en señalar, con muchos otros, que nos hallamos inmersos en un proceso de crisis de la educación científica en el mundo, e inmediatamente advertiremos que este reconocimiento ha impulsado, afortunadamente, un camino de revisión y transformación de sus objetivos

Vinculado al extendido acuerdo en torno al concepto de alfabetización científica. Nos referimos al creciente conflicto que la educación para toda la ciudadanía establece frente a la cuestionada meta de preparación de futuros científicos.

Desde la perspectiva de Vilches y Gil (2007) estos modelos propedéuticos no han conseguido abordar las complejas relaciones entre la ciencia y la sociedad, limitando las posibilidades de que los sujetos cuenten con

herramientas para tomar decisiones informadas sobre los aspectos más variados de sus vidas. Estos modelos han terminado negando la comprensión de la ciencia como parte de la cultura pero han incurrido además en una segunda falla: el *teoricismo* descontextualizado y las visiones algorítmicas y técnicas en torno al método han terminado por promover un generalizado rechazo entre los jóvenes hacia las materias científicas y cierto analfabetismo científico y tecnológico que no se ha conseguido revertir (Boido, 1999).

Se ha promovido una imagen de la ciencia no sólo falsa, sino también elitista, inaccesible y poco atractiva. Tal es el punto que, paradójicamente, el aprendizaje conceptual mismo se ha visto limitado como consecuencia del reduccionismo conceptual de los modelos propedéuticos.

Basta explorar las imágenes sobre la ciencia y los científicos que los mismos profesores sostienen: imágenes heredadas, sedimentadas por la propia biografía de formación e históricamente reforzadas por los medios de comunicación y el entretenimiento mediático (Campanario, 1999; Astudillo, 2011). Empirismo, racionalismo, idealismo, realismo son posiciones arraigadas en el pensamiento del profesorado, desde las que se sostienen algunas visiones clásicas:

- La ciencia permite el acceso a la verdad acerca del universo.
- La ciencia se reduce a la búsqueda ordenada, meticulosa y exhaustiva de datos.
- La ciencia procede siempre por evaluación lógica y racional, de manera acrítica y monolítica.

- Los científicos son genios desinteresados y objetivos (Cachapuz y Paixao, 2002; Nadeau y Desautels, 1984, citado en Hodson, 2008).

Este conjunto de cuestionamientos y limitaciones ha puesto en el tapete la discusión de aspectos procedimentales y axiológicos de la enseñanza en íntima relación con aportes epistemológicos actuales. Y es aquí donde nuestra posición inicial comienza a tomar cuerpo: urge, sin duda, que los estudiantes no sólo sepan de ciencias naturales sino que también sepan *sobre* ciencias naturales. Y ello supone un saber de segundo orden, de naturaleza esencialmente crítica, transversal al currículum escolar, capaz de de-construir algunos mitos e imágenes que, portadoras de dogmatismos y elitismos, se contraponen a las metas emancipatorias de la educación en ciencias.

Nos referimos a una educación científica entendida como un derecho que ha de atender a la necesidad de los ciudadanos de usar y valorar la ciencia frente a las amenazas y desafíos de la vida moderna. En otras palabras, apostamos a una educación científica puesta al servicio de la formación de un “utópico ciudadano autónomo, creativo, crítico y solidario” (Adúriz, 2011:428), capaz de:

- Construir sentido respecto de los hechos del mundo a través de modelos explicativos cada vez más complejos.
- Desarrollar una mirada crítica sobre la ciencia, la tecnología y la actividad científica, en tanto productos culturales valiosos (Acedo, 2008).
- Tomar decisiones fundamentadas en relación con cuestiones sociocientíficas re-

levantes (Acevedo et al., 2005; Izquierdo y Adúriz, 2005; Adúriz, 2011).

- Proyectar soluciones posibles y alternativas desde una lectura global de los problemas y las relaciones entre ellos (Vilches y Gil Pérez, 2007).

- Poner a dialogar la ciencia con problemas prácticos y reales y con preocupaciones sociales más amplias recuperando las implicancias socio-culturales y las perspectivas futuras del conocimiento (Lemke, 2006).

En este marco, una tarea principal del profesorado será transponer la ciencia erudita acercándola a los modelos de sentido común de los estudiantes a fin de que estos consigan incorporar criterios epistémicos sobre qué conocimiento sobre el mundo es válido y cómo se justifica esa validez (Adúriz, 2001). Otra tarea igualmente relevante será acercar una perspectiva *humanizadora* de la actividad científica, capaz de aportar una visión más real, integrada y dinámica de las ciencias (Adúriz et al., 2002).

Es esta aproximación la que, creemos, configura el marco de significados necesario para transmitir la *pasión* por la ciencia como aventura del pensamiento y vincularla con otras actividades humanas, reconociendo sus ricas conexiones con la política, la economía, la religión, el arte. Algunas ideas epistemológicas, fuertemente promulgadas por investigadores de diversas latitudes (Boido, 1999; Guyot, 2000; Bentley y Fleury, en McComas, 1998; Hernández y Prieto, 2000; Camacho y Padrón, 2005; Carrascosa et al., 2006; Campanario, 1999; Adúriz et al., 2002; McComas et al., en McComas, 1998; Dawkins y Glatthorn, en McComas, 1998; Adúriz et al., 2002; Adúriz,

2011) resultarán especialmente clave en estos sentidos:

- a. La naturaleza tentativa y provisoria de la ciencia
- b. La no neutralidad de las ideas científicas
- c. El principio de pluralidad metodológica
- d. El carácter no acumulativo del conocimiento científico

Estas cuatro ideas, que son sólo un recorte, resumen la apuesta por experiencias educativas de contextualización e integración del conocimiento, que promuevan la formulación de preguntas sobre el saber mismo, para situarlo y problematizarlo, abordando, incluso, su inacabamiento, sus brechas y sus límites. En palabras de Adúriz (2011:9): "... admirar la profundidad, potencia, rigor, imaginación y belleza de las ciencias pero siendo capaces, al mismo tiempo, de considerarlas empresas genuinamente humanas, no exentas de limitaciones, yerros y desvíos".

2.1. La naturaleza tentativa y provisoria de la ciencia

Una primera idea clave es la comprensión del *progreso de la ciencia* como un proceso de progresivas transformaciones de la *imaginación* científica que define determinados hitos de controversia entre modelos o modos de ver el mundo. Este aspecto pone en escena la dimensión semántica de la evolución científica, al tiempo que señala las incompatibilidades teóricas y condiciones externas que orientan las revoluciones conceptuales, metodológicas e ideológicas.

Esta misma idea supone una perspectiva respecto de la *historia de la ciencia* que trasciende la idea de un mero depósito de anécdotas y sucesos basado en una tarea de descripción, enumeración y registro. Se

trata más bien de una historia de reconstrucciones teóricas, dinámica y no acumulativa, que da cuenta de complejos procesos de transformación de modelos explicativos provisorios.

En el marco de esta idea-fuerza, se torna relevante promover la comprensión de que lo que sabemos no es una producción anónima, pero tampoco la obra de un solo hombre y mucho menos un resultado que ha ocurrido de la noche a la mañana (Kuhn, 1989). Su formulación reclama también una especial atención a la dimensión del *lenguaje*: cuando hablamos de progreso científico, sabemos que no sólo cambia el modo en que se piensa el mundo, sino también el modo en que se lo describe y explica, lo que conduce a desnaturalizar las categorías, nombres y códigos del *decir la ciencia*.

En este marco, cobran interés aquellas propuestas educativas capaces de recuperar el progreso de las ideas, incorporando episodios históricos acerca de la evolución de las cosmovisiones a lo largo de la historia de la humanidad. De allí la importancia de indagar en textos científicos de diferentes épocas, acudir a los relatos, explicaciones, interpretaciones que los sujetos y las instituciones del saber han producido en distintos tiempos y culturas.

La historia de la ciencia nos provee de ejemplos curiosos que despiertan inevitablemente la atención y el interés de quien se asoma a ellos. Releamos sino la famosa *receta para hacer ratones*, escrita por Juan B. van Helmont, en su *Ortus Medicinae* (1667, citado en Lazcano-Araujo, 2007:17), que revela la fuerza con que la hipótesis de la generación espontánea estaba instalada en el siglo XVII (aunque hoy nos resulte algo más que un absurdo).

“... las criaturas tales como los piojos, garrapatas, pulgas y gusanos son nuestros miserables huéspedes y vecinos, pero nacen de nuestras entrañas y excrementos. Porque si colocamos ropa interior llena de sudor con trigo en un recipiente de boca ancha, al cabo de veintiún días el olor cambia y el fermento, surgiendo de la ropa interior y penetrando a través de las cáscaras de trigo, cambia el trigo en ratones. Pero lo que es más notable aún es que se forman ratones de ambos sexos, y que estos se pueden cruzar con ratones que hayan nacido de manera normal... Pero lo que es verdaderamente increíble es que los ratones que han surgido del trigo y la ropa íntima sudada no son pequeñitos, ni deformes, ni defectuosos, ¡sino que son adultos perfectos!”.

Este tipo de recorrido es el que contribuirá a comprender a la ciencia como empresa plenamente situada en la cultura, reconociendo que lo que sucede en estos planos configura sus condiciones de posibilidad en tanto práctica de conocimiento. Ello permitirá, además, conocer las tensiones entre la ciencia y sus usos a lo largo de la historia y valorarla como conocimiento tentativo, comprendiendo los problemas que dieron origen a la construcción de los conocimientos científicos y cómo estos llegaron a articularse en cuerpos coherentes.

Será interesante también *explorar* las modificaciones que ha ido sufriendo la iconografía científica, en tanto revelan transformaciones más o menos profundas en los modelos explicativos sobre un mismo fenómeno o aspecto de la realidad a lo largo de la historia del conocimiento.

En su libro *La vida maravillosa* (1999), Stephen Jay Gould expone, por ejemplo, dos tipos de iconografías que representan diferentes interpretaciones de la evolución biológica. La primera de

ellas (Figura 1) ofrece una comprensión simplificada en términos de un proceso continuo de diversificación creciente. Tras esta iconografía, que podríamos catalogar de clásica o convencional, subyace una “ordenación de mérito implícito” (p. 38): estar situado en la parte baja del cono significa no sólo ser antiguo, sino también ser simple.



Figura 1. Cono de la diversificación creciente. (Fuente: Gould, 1999).

En cambio, la iconografía revisada (Figura 2) devela una interpretación más ajustada a la comprensión actual, que el mismo Gould traduce del siguiente modo, diferenciándola de la interpretación previa:

“La máxima gama de posibilidades anatómicas surge con el primer ímpetu de la diversificación. La historia posterior es un relato de restricción, a medida que estos experimentos tempranos sucumben y la vida se sienta para generar infinitas variantes a partir de unos pocos modelos supervivientes” (p. 43).

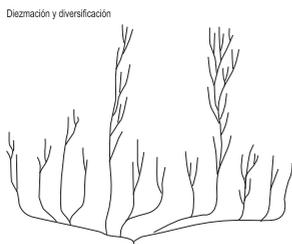


Figura 2. Cono de la diversificación y la diezmación. (Fuente: Gould, 1999).

Finalmente, contribuirá a cuestionar una idea de ciencia acabada y exitosa, hacer lugar a *conocer*

lo que aún no se conoce, traer a escena aquellas preguntas que los científicos, aun en los campos de conocimiento más desarrollados, no han conseguido todavía responder. Hacerlo desde el relato y la experiencia de investigadores *de carne y hueso* será una nueva manera de contribuir a instalar una imagen más humana y real de la actividad científica.

Valga como ejemplo esta pequeña referencia, fragmento de una conversación con David Gorla¹, (comunicación personal, septiembre 20, 2010) uno de los principales referentes en nuestro país en el estudio del mal de Chagas:

“A pesar del largo camino recorrido... aún no sabemos cómo controlar o eliminar las poblaciones de vinchucas que se instalan en el peridomicilio (de las diferentes especies, desde el sur de USA hasta Argentina), ni cómo resolver el problema de las poblaciones de *T. infestans* resistentes a insecticidas piretroides... No sabemos si las dos formas genéticas de nuestra vinchuca *Triatoma infestans* (andina y chaqueña) tienen diferente capacidad para transmitir el parásito, ni tampoco hemos conseguido determinar si los dos tipos genéticos de *Trypanosoma cruzi* producen diferente patología y tienen o no diferente susceptibilidad al tratamiento con las drogas existentes”.

Por su parte, el cine y la literatura de ciencia ficción son escenarios sugerentes para el abordaje de las proyecciones de la ciencia. Especialmente instalan la discusión de cuestiones éticas y bioéticas que emergen en la creación de escenarios imaginarios donde se proyectan los posibles usos de

¹ Investigador principal de CONICET y director del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología de La Rioja. Desde hace 35 años investiga sobre el control de poblaciones de vinchuca y la enfermedad de mal de Chagas en Argentina y Latinoamérica.

la ciencia y sus frutos. Asimismo, estas obras son ejemplos de cómo se recrea la percepción social que reina en cada momento acerca de la ciencia y los científicos². Es posible incluso advertir cómo algunas obras recuperan hipótesis científicas ampliamente discutidas en la historia de la ciencia o construyen procesos naturales imaginarios, con abundantes precisiones espacio-temporales del mundo real. Estas creaciones dan lugar así a anticipaciones tecnocientíficas cuya plausibilidad puede ser juzgada a través de los adelantos de la ciencia actual (Sierra Cuartas, 2007).

Finalmente cabe destacar la tensión utópica que atraviesa a los cuentos, novelas y filmes de ciencia ficción. Una tensión que sitúa al lector/espectador en la posición de imaginar mundos y soluciones posibles a los grandes problemas y enigmas del hombre³, todo ello sumado al componente lúdico de estos recursos y el atractivo que deviene del “manejo privilegiado del suspenso” sitúan a estos recursos como medios privilegiados para el estímulo de la imaginación y el asombro científico, reconocidos hoy como claves para promover el interés en materias de ciencia (Sierra Cuartas, 2007).

La no neutralidad de las ideas científicas

Un segunda idea epistemológica clave es que *la ciencia no conoce hechos desnudos* sino que estos están interpretados de algún modo, una interpre-

tación que, situando al sujeto en el centro de la escena, conduce a reconocer un principio de no neutralidad (Feyerabend, 1975). Se avanza de este modo en la instalación del concepto de *verdad relativa* entendida en relación con complejos procesos de legitimación y se contribuye a la desmitificación de la supuesta objetividad absoluta del conocimiento científico (Geymonat, 1985).

En este sentido, emerge el cuestionamiento de propuestas educativas que transmiten la idea de una teoría fija y una racionalidad única trasuntando una concepción ingenua de los procesos de construcción de conocimiento. De allí, nuevamente, el valor que otorgamos a recuperar, en los procesos educativos, la historia del pensamiento científico y sus controversiales procesos. El objetivo es movilizar aquellas concepciones más arraigadas acerca de una ciencia descontextualizada, a-problemática y a-temporal; promoviendo el reconocimiento del trasfondo cultural que siempre subyace a las ideas científicas.

Sabemos, por ejemplo, que la expresión “lucha por la existencia”, que Charles Darwin adoptara en la formulación de su idea de selección natural, reconoce su inspiración en el pensamiento del economista Thomas Malthus, enunciado en su obra de 1798 *Ensayo sobre el principio de la población*. A pesar de que el mismo Darwin explicitara su sentido *amplio* y su uso *metafórico*, la expresión retornó cien años después al ámbito de las ciencias sociales, aunque con nuevas connotaciones. Un proceso de naturalización del pensamiento metafórico dio lugar, entonces, al llamado *darwinismo social*, una corriente de pensamiento de finales del siglo XIX que explicaba las diferencias de clase como resultado del éxito diferencial de los individuos en función de sus características biológicas. Este movimiento, que deliberadamente vehiculizaba la más absurda

² Es ampliamente recomendada con estos fines la obra de Asimov.

³ Algunas producciones cinematográficas interesantes en estos sentidos son: “El planeta de los simios”, “La guerra de las galaxias”, “Alien, el octavo pasajero”, “Contacto”, “Matrix”, “El hombre bicentenario”, “Evolución”, “La isla”, entre otras.

extrapolación de las ideas originales de Darwin, se convirtió en el fundamento de las más aberrantes injusticias sociales (Galagovsky, 2010).

En este sentido, urge abordar críticamente los diálogos entre la ciencia y las prácticas culturales, teñidos de valores políticos y religiosos e insertos en contextos socio-históricos múltiples. A modo de ejemplo, se constituyen en núcleos de interés problemáticas como los orígenes míticos y religiosos de la ciencia, las políticas de conocimiento, la cultura del trabajo científico, la transversalidad de sistemas de poder en el progreso de la ciencia, la discusión de los conceptos de utilidad y finalidad del saber, la conflictividad ética de sus aplicaciones y las implicancias de los *mundos posibles* que la ciencia invita a proyectar. Del mismo modo, cobrará relevancia comprender la actividad científica como tarea signada por competencias profesionales, así como abordar la naturaleza pública de la ciencia o el carácter comercial y casi industrial de la ciencia moderna (asociada a los ejércitos, las grandes industrias, los gobiernos, etc.).

A fin de ilustrar alguna de estas ideas, invitamos nuevamente al genial Jay Gould. En esta oportunidad, nos remitiremos a su último libro, *Érase una vez el zorro y el erizo* (2010) de donde seleccionamos tres elocuentes casos. El primero de ellos nos conduce a finales del siglo XVII de la mano de John Woodward, un gran pensador geológico abocado a desarrollar teorías generales que explicaran la compleja historia de la Tierra. Lo interesante del caso es cómo su producción científica estuvo especialmente integrada con una de las instituciones más arraigadas y prestigiosas del momento: la teología oficial. Él mismo, como la gran mayoría de los primeros científicos mo-

dernos, seguramente ha sido profundamente devoto y cristiano. Estas estrechas relaciones ciencia-religión quedan plasmadas de manera contundente en la primera página de su libro (Figura 3) cuya traducción es (p. 29): “Ensayo con relación a una historia natural de la Tierra y los cuerpos terrestres, especialmente los minerales, y también del mar, los ríos y fuentes. Con un relato del Diluvio Universal y de los efectos que tuvo sobre la Tierra.”

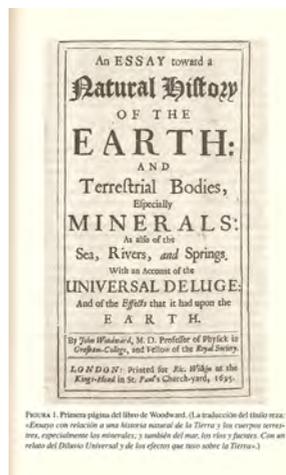


FIGURA 3. Primera página del libro de Woodward. (La traducción del título es: «Ensayo con relación a una historia natural de la Tierra y los cuerpos terrestres, especialmente los minerales, y también del mar, los ríos y fuentes. Con un relato del Diluvio Universal y de los efectos que tuvo sobre la Tierra.»)

Figura 3. Primera página del libro de Woodward. (Fuente: Gould, 2010).

El segundo caso, también nos revela el anclaje socio-cultural que ha tenido la producción científica desde sus inicios. Tomando como texto de referencia la obra *Ornithology* de Ray, también del siglo XVII, Gould sintetiza el conjunto de juicios sociales que laten tras los primeros sistemas de clasificación de organismos. Traduciendo la llave dicotómica de Ray para aves terrestres es posible advertir cómo las categorías *socialmente favorecidas* van siendo colocadas en la parte superior, mientras que *las menos valiosas* se sitúan debajo: grande versus pequeño, diurno versus nocturno, con orejas (los *ricos* en la metáfora de Gould) versus sin orejas (los *pobres*), habitantes

de Europa versus exóticas, con alas largas versus con alas cortas, entre otros llamativos criterios.

Este es un ejemplo que tiene, además, un segundo interés. Las claves dicotómicas están muy lejos de ser un invento de los biólogos, como quizás nos atreveríamos a arriesgar. Por el contrario, su uso extendido en la ciencia ha de reconocer una herencia innegable proveniente de las humanidades que devela estrechos diálogos entre ambos ámbitos del saber. En palabras de Gould (2010: 149):

“... en realidad, el sistema de las llaves dicotómicas representa uno de nuestros inventos más antiguos y generales, utilizado durante siglos, y en todas las disciplinas, para organizar sistemas de información complejos. En realidad, siglos antes de que nadie pensara siquiera en una clasificación de los organismos de base empírica, los escolásticos medievales, siguiendo a Santo Tomás y la lógica aristotélica, utilizaban llaves dicotómicas como su dispositivo principal para presentar la estructura conceptual de cualquier clasificación”.

Finalmente, con el tercer caso, Gould (2010) nos acerca la evidencia de la fusión absoluta entre arte y ciencia entre algunas producciones de principios del siglo XVII. Entre ellas destaca el volumen de ilustraciones de Haeckel llamado *Las formas artísticas de la naturaleza* (Figura 4). La obra ilustra organismos reales, con un detalle magistral, pero cada organismo y su disposición en las láminas responden con rigurosidad a las convenciones del *modernismo* en pleno apogeo en el mundo de las bellas artes y el diseño decorativo.

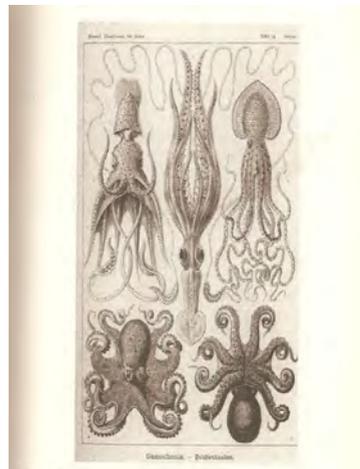


Figura 4. Cefalópodos en una de las láminas de *Las formas artísticas de la naturaleza* de Haeckel (Fuente: Gould, 2010).

El principio de pluralidad metodológica

Una tercera idea epistemológica clave puede sintetizarse en la premisa del *pluralismo metodológico*. A partir de ella, el desafío educativo se relaciona con incorporar una visión abierta y creativa de las metodologías de trabajo científico, contextualizando técnicas y procedimientos y asumiendo el abordaje de una arqueología de las prácticas que destaca su dimensión interpretativa.

Desde esta premisa, otro conjunto de ideas fuertemente instaladas por la tradición positivista entre científicos y educadores son puestas en el *banquillo de los acusados* (Adúriz, 2008, en Galagovsky, 2008). Entre ellas podemos señalar las siguientes:

- Existe un único y universal método científico que garantiza la científicidad de los productos de la ciencia.
- El método científico consiste en una sucesión lineal y rígida de pasos predeterminados.
- El método científico conduce de manera exacta e inequívoca a la verdad sobre el mundo.

Se trata de tres formulaciones que dejan poco lugar para la diversificación, la creatividad, el error, el azar y el diseño. No hay posibilidad de pensar en términos de grados y matices ni comprender los complejos procesos de toma de decisiones o discutir acerca de la interacción recursiva y dinámica entre problemas, hipótesis y procedimientos. Asimismo, esta visión reduccionista y lineal nos impide siquiera asomarnos a la amplísima diversidad de estudios, que aun en el seno mismo de las ciencias naturales dan cuenta de sustanciales diferencias entre objetivos, problemas, instrumentos, procedimientos, valores y finalidades (por ejemplo neuropsicosociobiología, arquitectura ambiental, sistemática computacional) (Adúriz, 2008, en Galagovsky, 2008).

Sin caer en relativismos extremos, hacer lugar a estas nuevas discusiones implicará enfatizar *los cómo* de la construcción del conocimiento: cómo los científicos abordan los problemas, los criterios de validación de hipótesis, las intencionalidades subyacentes, la creación de modelos teóricos y el recurso al lenguaje matemático. Implicará también reconocer la carga teórica de la observación, así como abordar el problema de la objetividad, el lugar de la incerteza, las miradas complementarias y la naturaleza probabilística del dato científico. Será clave, asimismo, considerar la dimensión colaborativa –y competitiva– de la investigación y la participación crucial de los procesos creativos.

Al respecto, el cine épico y biográfico que reconstruye la historia de científicos e investigaciones es un medio privilegiado para el análisis de estos aspectos, incluyendo la interpretación del contexto histórico que sitúa la génesis del relato y los problemas éticos emergentes (Sierra Cuartas, 2007, Astudillo et al., 2012). Asimismo, ofrece la posibilidad de discutir la dinámica del trabajo científico así como los condicionantes sociales, políticos y económicos del proceso, etc. (Guerra Retamosa, 2004). Pero especialmente se valora a este tipo de producciones cinematográficas como referentes de valores y actitudes científicas, en tanto genera un alto nivel de identificación o repulsa con los personajes (Torre, 2000, citado por Santibáñez y Gil, 2003)⁴.

Del mismo modo, las narrativas autobiográficas de científicos reales de nuestro medio acuden con exquisitos y atrapantes ejemplos (Rivarosa et al., 2012). Nuevamente, un relato de nuestro investigador del mal de Chagas nos traslada a los inicios de su carrera, al contexto de un ámbito cotidiano de investigación, y más específicamente al interior de una cámara de cría de vinchucas. Allí, una pequeña pero sustantiva lección sobre creatividad, paciencia, rigurosidad y error:

“Un relámpago de genialidad me permitió imaginar un sistema muy cómodo y limpio para alimentar a las vinchucas con ratoncitos. El sistema consistía en usar unos rúleros plásticos bastante grandes, donde los ratoncitos entraban sin que sobrara mucho espacio. Los dos extremos del rúleros iban tapados con tela mosquitera metálica y el conjunto era sostenido por bandas elásticas. Lo genial del

⁴ Recomendamos un visionado de films como “Creación”, “Y la banda siguió tocando”, “Casas de Fuego”, entre otros.

sistema era que yo podía poner el rulo con el ratón dentro del frasco con las vinchucas; las vinchucas se alimentaban del ratoncito a través del retículo plástico y al cabo de 30 o 40 minutos sacaba el rulo del frasco, liberaba el ratoncito en su jaula y listo [...] Un día... al ingresar a la última cámara de cría vi que las decenas de frascos donde tenía las vinchucas estaban destapados. Cada uno estaba en su lugar, pero abierto, con las vinchucas alegremente correteando por la cámara de cría. No podía imaginarme lo que había pasado. Mientras corría a buscar una bandeja para levantar tantas ninfas como pudiera encontré uno de los frascos con un rulo adentro. ¿Y esto? Lo saqué cuidadosamente, vi que tenía las 2 tapas de alambre tejido en los extremos, pero ¡sorpresa!, tenía un gran agujero en un costado. En ese momento me di cuenta de que el día anterior había olvidado el rulo junto con el ratón dentro de aquel frasco. Fue entonces que comprendí que el ratoncito había tomado venganza... Aquel buen amigo tuvo el placer de arruinar 4 meses de mi estudio, que tuve que repetir pacientemente, poniendo especial cuidado..." (Gorla y Rivas, en prensa).

Creemos que esta posibilidad de restituir el hilo narrativo de la práctica de investigación habilita un escenario donde la dimensión procedimental de la ciencia se problematiza y se contextualiza. Asimismo, se promueve la significación de la naturaleza recursiva y articulada del trabajo experimental, incorporando el interjuego método-teoría en sus sucesivas reformulaciones y el ajuste progresivo de hipótesis de partida.

Este abordaje deberá ser coherente, a su vez, con una *pedagogía de la creatividad*, capaz de

avanzar en la complementariedad de enfoques y revalorizar el lugar del trabajo en equipo así como las instancias de debate e intercambio de argumentos. Será necesario, para ello, trascender los modelos sujetos a enfoques cientificistas, rígidos, excesivamente teóricos o exclusivamente técnicos.

Será importante también revisar las modalidades con que habitualmente se proponen las actividades de experimentación escolar. Estas se convertirán en escenarios de reflexión epistemológica en tanto incluyan: a) la discusión acerca de la relevancia del problema que se intenta abordar; b) la reconstrucción del origen histórico del experimento o de otros similares; c) la génesis y evolución de los conceptos involucrados; d) las herramientas explicativas y procedimentales con que pensadores y científicos de diferentes épocas han abordado el mismo problema, e) la participación reflexiva de los estudiantes en la elaboración y revisión del diseño metodológico y la construcción de hipótesis, entre otras alternativas (Hernández y Prieto, 2000; Carrascosa et al., 2006).

De este modo, el tan mentado *método científico* se redefine como *instancia abierta e historizada* en torno a *núcleos de sentido* con relevancia epistemológica y sujeto a *sucesivos ajustes y repeticiones*, dando lugar a opciones metodológicas posibles de ser significadas en función de nuevas necesidades de conocimiento. Desde allí es posible pensar en una metodología de la ciencia, diversificada y compleja, orientada a la construcción de respuestas provisionales a preguntas relevantes sobre el mundo natural, que se integran en modelos explicativos a través de lenguajes simbólicos específicos (Adúriz, en Galagovsky, 2008).

El carácter no acumulativo del conocimiento científico

Esta cuarta y última idea es una invitación a discutir acerca de cómo la historia de la ciencia y el conocimiento de la estructura actual de las disciplinas que enseñamos se convierten en herramientas potentes para promover aprendizajes significativos. Asumimos al respecto que la reflexión explícita sobre la *naturaleza no acumulativa* del saber, sus formas de organización y cambio, pueden favorecer la generalización, transferencia e integración de diferentes ámbitos del conocimiento profesional docente (Porlán, et al., 1997; Hugo y Adúriz, 2002 en Adúriz et al., 2002).

El conocimiento metacientífico de mayor relevancia aquí es el de la estructura semántica de las disciplinas científicas. Este aspecto refiere a los conceptos estructurantes que definen la lógica interna de cada campo del saber y sus interacciones en un sistema integrado y jerarquizado (Furió, 1994; Gil et al., 1991; Maiztegui et al., 2000; Furió y Carnicer, 2002; Porlán, 2003, Rodríguez y Meneses, 2005; Vilches y Gil, 2007; Carrascosa et al., 2008).

Las nociones reunidas, en el modelo evolutivo de explicación biológica son un ejemplo claro y contundente. Nos referimos a conceptos como adaptación, origen, mutaciones, selección natural, azar, herencia, población, biodiversidad, especie, información genética, reproducción, entre muchos otros. Estos —estrechamente articulados entre sí por afinidad temática— configuran un campo estructurante de la biología que, además, viene siendo abordado con especial énfasis por la investigación didáctica. Al respecto, la literatura de investigación coincide en señalar la centralidad del modelo evolutivo en la enseñanza de la

biología, esgrimiendo al respecto razones de tres tipos (Fernández y Sanjosé, 2007; Hernández et al., 2009; Gandará et al., 2002; Maroto, 2004; Polop, 2009; Galotti, 2009; González, 2009; González et al., 2008, Astudillo et al., 2012b).

Un primer conjunto de argumentos alude al *poder integrador* del modelo evolutivo respecto de los conceptos de la disciplina y del currículum escolar de ciencias naturales. Este emerge como eje transversal y vertebrador de todos los modos y niveles de la organización biológica, ofreciendo un principio de estructuración a la diversidad de organismos, las diferencias y semejanzas entre sus distintas clases, las pautas de distribución y comportamiento, las interacciones y las adaptaciones.

Un segundo conjunto de argumentos, estrechamente relacionados con los anteriores, señalan el *poder explicativo* del modelo respecto de cualquier hecho biológico. Se argumenta la potencialidad de los postulados de la evolución en la comprensión de las denominadas causas últimas de los sistemas biológicos, permitiendo así construir una visión histórica de los mismos. El campo estructurante así configurado contribuye a mostrar la vida de una manera más compleja y menos analítica, aportando una visión sistémica de la misma.

Finalmente, un tercer grupo de razones enfatizan las *implicancias socio-culturales, filosóficas, ideológicas, bioéticas y políticas* del modelo, señalando cómo ha revolucionado la visión moderna del mundo y el lugar del hombre en él. Además, se alude a la transformación intelectual que ha implicado en distintos campos de la ciencia y la cultura (biología, historia, sociología, antropología, filosofía, educación, política) y las posibilidades que ofrece en el abordaje de algunas preguntas fundamentales: ¿de dónde venimos? ¿Dónde surgió la vida? ¿Cómo se desarrolló? ¿Cuál es el

origen del hombre? ¿Cuáles son las raíces biológicas de la conducta humana?, etc.

De este modo, *poder integrador*, *poder explicativo* y *relevancia sociocultural* de modelos explicativos como el que acabamos de reseñar, fundamentan una visión no acumulativa de la ciencia erudita que contribuye a fundamentar una visión también globalizadora de la ciencia escolar. Nos referimos a una perspectiva que, fundamentada en este tipo de reflexión epistemológica, integra las siguientes potencialidades: a) el desarrollo de una visión sistémica y evolutiva del aprendizaje; b) el diseño de propuestas de enseñanza que permitan acercar los contenidos de ciencias a la comprensión de los estudiantes (evitando generar y transmitir errores); y c) la superación de un currículum enciclopedista, descontextualizado y fragmentado. Analicemos más detenidamente cada una de ellas.

- *Hacia una visión sistémica y evolutiva de los procesos de aprendizaje*

En primer lugar, asumir una enseñanza basada en la estructura semántica de una disciplina y los modelos explicativos que esta integra, resulta inherente a una concepción compleja de la cognición, según la cual el sistema cognitivo de los individuos es entendido como una *red de significados* (Giordan y De Vecchi, 1998). Desde esta perspectiva, los conceptos estructurantes serán aquellos cuya construcción *transforma o reestructura* el sistema cognitivo de quien aprende, permitiendo no sólo adquirir nuevos conocimientos, sino también organizar los datos de otra manera, transformar los conocimientos anteriores y superar obstáculos epistemológicos (García Cruz, 1998, citado por Adúriz, 2001; Gagliardi

1986; Gagliardi y Giordan, 1986; Bermúdez y De Longhi, 2006).

Se enfatizan, de este modo, los procesos constructivos y metacognitivos, sostenidos en una perspectiva evolutiva o procesual del aprendizaje (frente a las clásicas ideas de sustitución, corrección o destrucción de las *ideas previas*) que procede por complejización creciente de las argumentaciones (Giordan y De Vecchi, 1998). Como puede advertirse, la intención es privilegiar el reconocimiento y valoración de los saberes del estudiante, entendidos como genuinos puntos de partida en la construcción progresiva del conocimiento.

Por otra parte, y tal como hemos anticipado, es razonable asumir que si un concepto sirvió históricamente para superar un determinado obstáculo epistemológico, puede servir también para superar los obstáculos epistemológicos de los estudiantes. Nos referimos a aquellas construcciones personales, que resultando funcionales para dotar de sentido al mundo (González, 2009) caracterizan el pensamiento de sentido común acerca de un amplio conjunto de fenómenos de la naturaleza, contradiciendo o simplificando la explicación erudita de los mismos.

Para el caso especial de las ciencias naturales, reconoceremos los siguientes:

- Visión aditiva
- Centramiento en lo próximo y evidente
- Causalidad mecánica y lineal
- Dicotomías y antagonismos
- Idea estática y rígida del orden y el cambio (equilibrio estático).
- Pensamiento teleológico
- Antropocentrismo

- Pensamiento mágico (bondad inherente a lo natural).
- Pensamiento catastrófico
- Reduccionismo a un único nivel o escala
- Realismo ingenuo

Reflexionando sobre algunos de estos obstáculos, una rápida mirada sobre la historia de la ciencia nos permitirá constatar cómo el pensamiento teleológico, antropocentrista y mágico ha teñido las interpretaciones, especialmente en biología. Basta recordar brevemente las ideas lamarckianas de evolución hacia la perfección o la idea de progreso por necesidad y esfuerzo resistente a condiciones ambientales. Ideas que, tal como señala la investigación en didáctica de las ciencias, resultan especialmente confortables para estudiantes de diferentes edades. Ideas que, además, perviven fuertemente instaladas en diferentes sistemas de mediación cultural (González et al., 2005; Fernández y Sanjosé, 2007).



Figura 5. Publicidad basada en la metáfora de la evolución como marcha hacia el progreso. Imagen extraída de [http://timerime.com/es/evento/671858/La+evolucion+de+las+publidades+ de+ The+Coca-Cola+Company/](http://timerime.com/es/evento/671858/La+evolucion+de+las+publidades+de+The+Coca-Cola+Company/)

Seguramente no nos resultará difícil evocar algún ejemplo de la publicidad gráfica donde la evolución se formula como metáfora de la *marcha hacia el progreso* (Figura 5). Otros, llama-

rán nuestra atención (y sin duda la de nuestros estudiantes) desde los cómics y el cine de ciencia – ficción. Entre ellos, quisiéramos compartir a modo de ilustración un curioso personaje de la saga X-Men, llamado Marvel Darwin (Figura 6). Este mutante tiene la capacidad de adaptarse automáticamente a cualquier situación o medio en que se encuentre, dotándole de una increíble capacidad de supervivencia: adquiere visión nocturna en la oscuridad, desarrolla branquias al sumergirse en el agua, su piel se endurece al caer y no necesita oxígeno si se encuentra en el espacio.



Figura 6. Personaje Marvel Darwin de la saga X-Men. Imagen extraída de <http://marvel.com/universe/Darwin>

El personaje resulta así una síntesis de todos los clásicos obstáculos en la comprensión de la evolución biológica: teleología, necesidad, causación espontánea, consideración de los cambios a nivel de individuos (en vez de poblaciones), direccionalidad del cambio, entre otros (González et al., 2005). Creemos que su vigencia y atractivo para las nuevas generaciones lo convierten en un disparador nada despreciable para la explicitación y movilización de estas preconcepciones.

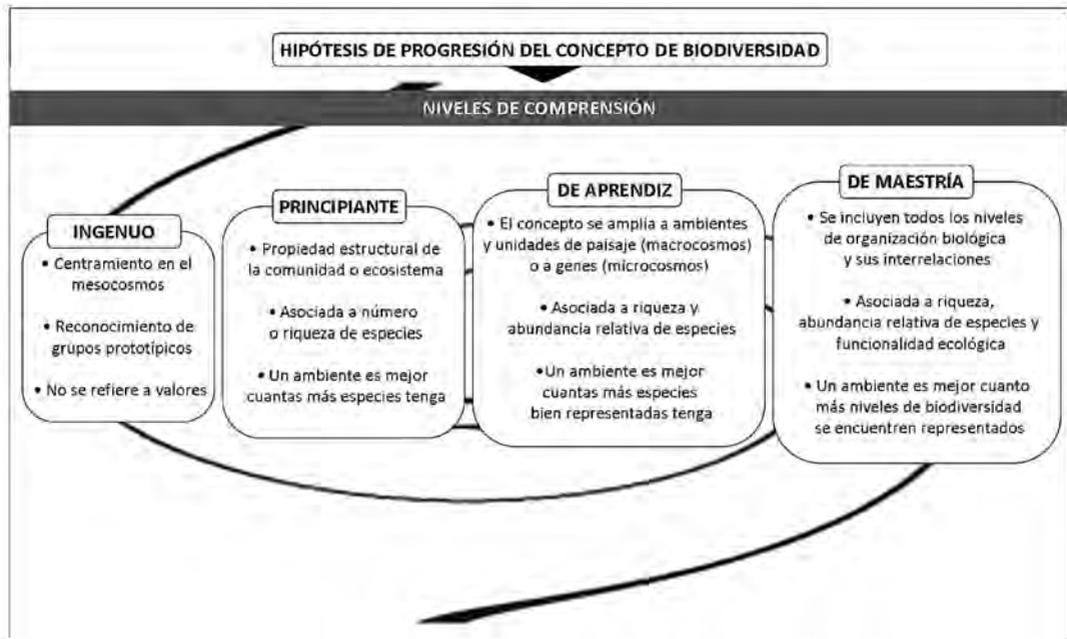


Figura 7. Hipótesis de progresión por niveles de comprensión para el concepto de biodiversidad (adaptado de Bermúdez y De Longhi, 2006).

• *El diseño de hipótesis de enseñanza*

En segundo lugar, esta perspectiva sistémica, compleja y evolutiva del aprendizaje se complementa con el reconocimiento del carácter *conjetural* de la enseñanza (Bermúdez y De Longhi, 2006). La enseñanza, concebida en términos de hipótesis flexibles, se focaliza sobre la dimensión procesual del aprendizaje y las maneras de orientar el cambio de los sistemas cognitivos de los estudiantes (Porlán et al., 2007). Así, una visión acumulativa y mecánica de la enseñanza es reemplazada por metas de integración progresiva de significados: el énfasis se traslada de los conceptos a las *relaciones* entre los conceptos y los modelos explicativos que estos acercan (Galagovsky y Adúriz, 2001).

Tras esta complejización reside una comprensión fundamental: *saber es mucho más que nombrar o*

designar (Giordan y De Vecchi, 1998). Más que proporcionar al alumnado definiciones conceptuales o fenómenos ya explicados mediante sus lenguajes específicos, se reconoce la necesidad de acercar la *manera de mirar que es propia de la disciplina* apostando a una motivación generada epistémicamente (Izquierdo y Adúriz, 2005). Ello implica restituir el papel de la teoría más allá de los datos, comprendiendo sus bases conceptuales, metodológicas e históricas desde una perspectiva integrada (Hernández Rodríguez, 1996).

Asimismo, abordar el entramado conceptual de una disciplina, supone la definición de niveles de formulación, cada vez más complejos, que traduzcan la transición hacia un enfoque más sistémico del mundo. Dichas formulaciones, a modo de hipótesis de progresión, serán las que orienten el diseño de itinerarios flexibles de enseñanza con el

objetivo de promover la transición gradual hacia los modelos y lenguajes de la ciencia erudita. A modo de ejemplo, presentamos la hipótesis de progresión propuesta por Bermúdez y De Longhi (2006), para el concepto de biodiversidad, en tanto noción estructurante de la ecología (Figura 7).

- *¿Qué enseñar de ciencias naturales?*

En tercer lugar, la reflexión metacientífica que aquí proponemos, nos acerca algunas alternativas frente a la clásica pregunta *¿qué enseñar de ciencias naturales?*, aportando un principio de *economía* para los contenidos escolares. De este modo, la selección consistirá en un relevamiento de los conceptos estructurantes de las disciplinas científicas, adaptados a su máxima profundidad, según las condiciones del entorno de cada situación de enseñanza y aprendizaje: edad de los alumnos, condiciones socio-culturales, recursos disponibles, etc. (Galagovsky y Adúriz, 2001; García Rovira, 2005; Bermúdez y De Longhi, 2006).

Los conceptos estructurantes no serán, entonces, nuevos temas en un programa sino objetivos generales que apuntan a la construcción de conocimientos articulados en modelos explicativos

significativos para los estudiantes. Tal como sostiene García Rovira (2005), la relevancia y significatividad de estos modelos dependerán de su conexión con “fenómenos familiares sobre los que los estudiantes puedan pensar, hablar y actuar”. El objetivo último de la enseñanza será, entonces, promover la construcción de sentido respecto de los hechos del mundo “utilizando modelos cada vez más complejos” (p. 5).

En esta línea argumental, Izquierdo y Adúriz (2005) coinciden en señalar que el pensamiento teórico sobre el mundo es una de las aportaciones más importantes de las ciencias a la cultura y que enseñar a pensar de manera teórica ha de ser la finalidad más importante de la educación científica de la ciudadanía.

Este planteo se propone otorgar cierta autonomía a la ciencia escolar que, ya no concebida como una simplificación de la ciencia erudita, contará con modelos propios y originales que contemplarán tanto la dimensión lingüística como representacional del aprendizaje de las ciencias (Galagovsky y Adúriz, 2001; González et al., 2005; Armúa et al., 2005; Bermúdez y De Longhi, 2006; Didarbouré, 2009). La apuesta es a trascender visiones enciclopédicas y acumulativas del currículum escolar, habilitando el abordaje de temáticas complejas (Rivarosa y De Longhi, 2006). El siguiente esquema pretende ilustrar esta perspectiva, esbozando los componentes de un enfoque epistémico y cultural para abordar procesos de alfabetización científica en torno a la noción de alimentación (Figura 8).



Figura 8. Enfoque epistémico - cultural para la enseñanza de la noción de alimentación (Fuente: Rivarosa y De Longhi, 2012).

Un cierre con sabor a apertura

En su artículo *Formación científica y reflexión filosófica* (2001:150), Alberio Cupani se interroga a sí mismo acerca de cuáles han de ser el objetivo, la estrategia y el beneficio de incluir la reflexión epistemológica en la formación de futuros científicos, e inmediatamente se responde: “Creo que el objetivo se puede caracterizar, sintéticamente, diciendo que consiste en investigar más lúcida y responsablemente”.

Si extrapolamos ahora la interrogación para el caso de futuros profesores, consideramos que la respuesta puede ser la misma: el objetivo será para nosotros el de enseñar más *lúcida y responsablemente*. Quizás esta sea la mejor síntesis que podamos ofrecer de lo que hemos compartido en este escrito y respecto de lo cual intentamos esbozar algunos argumentos y alternativas.

Una preocupación principal ha sido acercar estrategias y recursos diversificados y potentes para incluir la reflexión metacientífica en la enseñanza. Nuestra intención ahora es recapitular sobre lo expuesto y focalizar sobre algunas ideas. La pregunta que nos convoca es ¿cómo enseñar acerca de la naturaleza de la ciencia de manera que resulte significativa e interesante para los estudiantes?

En primer lugar, la literatura de investigación coincide en señalar la necesidad de un *enfoque reflexivo y explícito* para que los estudiantes consigan conectar metacognitivamente su experiencia de aprendizaje con ideas epistemológicas clave. Ello requiere de una planificación de contenidos y actividades, la definición de categorías de problematización fundadas teóricamente y su mediación con recursos especialmente seleccionados

para tal fin (Acevedo, 2008; Schwartz y Crawford, en Flick y Lederman, 2006).

En segundo lugar, se reconoce a la *narrativa* como tipología textual de gran valor para la reflexión metacientífica. En algunos casos, su incorporación tiene como propósito relacionar temáticas acerca de la naturaleza de la ciencia con contenidos disciplinares a través de casos históricos (Dawkins y Glatthorn, en McComas, 1998) o episodios epitómicos de la historia de las ciencias (Adúriz, 2009). Estas propuestas reconocen ejemplos paradigmáticos significativos y potentes (Quintanilla et al., 2005) que permiten otorgar un sentido profundamente humano a la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia y recuperan el potencial de la narrativa en la formación en actitudes y valores (Bentley y Fleury, en McComas, 1998; Adúriz, 2009). Desde esta perspectiva se reivindica el rol del profesor como “contador de cuentos” y se reconoce, también desde una visión epistemológica, que la ciencia escolar consiste, en parte, en la “construcción de buenas narraciones” (Tignanelli, et al., 2009: 2763).

En tercer lugar, sostenemos que el planteo de *problemas relevantes y auténticos* es un punto de partida clave, en cualquier propuesta de enseñanza que tenga como meta introducir escenarios de reflexión metacientífica. Ello brindará mejores condiciones para incorporar las ideas epistemológicas clave como herramientas de debate y argumentación de posiciones (Adúriz, 2011).

Finalmente, consideramos importante la *diversificación* de recursos y herramientas de mediación para la reflexión metacientífica, lo que constituye un desafío a la creatividad del profesorado, su capacidad de búsqueda y su formación cultural. Será necesario, en este sentido, potenciar actitudes de curiosidad e inquietud genuina en torno

a otros formatos de comunicación, divulgación y circulación de problemas y saberes.

Otra preocupación transversal en esta comunicación ha sido discutir cómo la reflexión meta-científica puede ser ella misma una experiencia de aprendizaje profesional que contribuye a estructurar y dar coherencia al conjunto de los demás saberes docentes (disciplinares, pedagógicos, psicológicos, didácticos). En este sentido, hemos propuesto la discusión de algunas ideas epistemológicas clave como oportunidad para construir conciencia profunda acerca de la relevancia y los condicionamientos socio-culturales e históricos del conocimiento que se enseña. En definitiva, hemos reconocido la relevancia y urgencia de dedicar un espacio y un tiempo material a comprender cómo el conocimiento incluido en el currículo escolar fue formulado, cuáles son sus implicancias, sus límites y sus posibilidades (Sullenguer y Turner, en McComas, 1998; McComas, et al., en McComas, 1998; Campanario, 1999, Cachapuz y Paixao, 2002).

En segundo lugar, las reflexiones que hemos ofrecido han sido pensadas como una invitación para hacer explícitos aquellos sentidos que, aunque no son deliberadamente planificados, se *cuelan* en la enseñanza a través del lenguaje usado, las actividades de enseñanza y aprendizaje, los ejemplos de ciencia y de científicos que se emplean, el material ilustrativo y biográfico en los textos, etc. (Nadeau y Desautels, 1984, citado en Hodson, 2008).

Además, hemos planteado que la consideración del sesgo histórico y filosófico en la enseñanza puede contribuir a la comprensión más profunda de dificultades de aprendizaje en torno a contenidos específicos. Complementariamente, hemos intentado ilustrar cómo esta construcción de metaconocimiento puede ayudar al profesor

a evitar la transmisión de confusiones conceptuales y epistemológicas (Boido, 1999; Bentley y Fleury, en McComas, 1998; McComas et al., en McComas, 1998; Hernández y Prieto, 2000; Adúriz et al., 2002).

Hemos propuesto, en síntesis, un *potencial instrumental* de los enfoques históricos y epistemológicos en tanto herramienta para analizar las propias prácticas docentes en su complejidad, discutir las metas que orientan y estructuran la enseñanza y reflexionar sobre las posibilidades para su transformación (Guyot, 2000).

Ahora bien, esta es una síntesis que no hace sino abrir la discusión en torno a *nuevos desafíos para la formación inicial y continua* del profesorado (Rivarosa, 2009; Astudillo et al., 2011; Astudillo et al., 2012b) En este sentido, estamos convencidos de que la posibilidad de profundizar una educación científica para el siglo XXI, atravesada por la reflexión crítica y profunda sobre la ciencia, requiere volver la mirada sobre los modelos vigentes de formación del profesorado.

Al respecto, asumimos la necesidad de profundizar y fortalecer experiencias de formación capaces de posibilitar:

- Una *inmersión en la cultura científica* como tarea abierta y creativa para el profesorado.
- Anclada en sus propios saberes disciplinares y didácticos.
- Contextualizada en los problemas específicos que plantea la enseñanza de las ciencias.
- Problematizada desde una perspectiva de alfabetización científica.

- Atravesada por los principales dilemas sociocientíficos de nuestro tiempo (Furió, 1994; Sullenguer y Turner, en McComas, 1998; Quintanilla et al., 2005; Vilches y Gil, 2007).

Finalmente, creemos que esta formación y estas prácticas pueden significar un aporte a la gran meta de la democratización del conocimiento. De todos modos, sabemos que ello es sólo un paso, aunque necesario, hacia una meta aún mayor: lo que Boaventura de Sousa Santos (2009) define como la construcción de una verdadera *ecología de saberes*. El autor refiere a una nueva epistemología basada en el reconocimiento de esa pluralidad de saberes heterogéneos que ha resultado sumergida por el occidentalismo, pero basada también en las interconexiones continuas y dinámicas entre ellos. Nos referimos, en síntesis, al desafío de aprender a situar a la ciencia moderna como un conocimiento más enriquecedora interacción con otros, como los saberes orientales, rurales y aborígenes. Este es un gran desafío, cuya complejidad de ninguna manera podemos abordar aquí. Al menos, la reflexión sobre ello queda planteada como invitación.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Díaz, J. A. (2008) “El estado actual de la naturaleza de la Ciencia en la Didáctica de las Ciencias”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, pp. 133-169.
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Martín, M., Oliva, J. M., Acevedo, P., Paixao, M. F., Manassero, M. A., Adúriz Bravo, A. (2005) “Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), pp. 121-140.
- Adúriz-Bravo, A. (2009) “La naturaleza de la ciencia ‘ambientada’ en la historia de la ciencia”, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, pp. 1178-1181.
- Adúriz-Bravo, A. (2011) “Desde la enseñanza de los productos de la ciencia hacia la enseñanza de los procesos de la ciencia en la Universidad”, *Colección de Cuadernillos para pensar la enseñanza universitaria*. Año 6, n.º 3. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto, pp. 5-15.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002) “Acerca de la Didáctica de las Ciencias como disciplina autónoma”, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Universidad de Vigo, Vigo, 1(3), pp. 130-140.
- Adúriz-Bravo, A., Perafán, G., Badillo, E. Comps. (2002). *Actualización en Didáctica de las Ciencias Naturales y las Matemáticas*. Bogotá: Editorial Magisterio.
- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Tesis de Doctorado, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Adúriz-Bravo, A. (2008). “¿Existirá el ‘método científico’?”, en Galagovsky, L. coord., *¿Qué tienen de ‘naturales’ las ciencias naturales?* Buenos Aires: Editorial Biblos. pp. 47-59.

- Armúa, A., Guirardo, M. A. y Brataszczuk, E. (2005, diciembre). "Aplicación de meta-conceptos en la enseñanza de las Ciencias Naturales". Trabajo presentado en el Tercer Encuentro de Investigadores en Didáctica de la Biología, Buenos Aires, Argentina.
- Astudillo, C., Rivarosa, A. y Ortiz, F. (2011) "Naturaleza de la ciencia y enseñanza. Un aporte para la formación del profesorado", *Revista de Educación en Biología*, 14 (2), pp. 13-23.
- Astudillo, C., Rivarosa A. y Ortiz, F. (2012) "La reflexión metacientífica a través del cine: un estudio sobre los saberes docentes", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (3), pp. 361-391.
- Astudillo, C., Rivarosa, A. y Ortiz, F. (2012b, octubre). "Conceptos estructurantes de Biología: hacia una progresión de los saberes docentes de futuros profesores". Ponencia presentada en la 2.^a Conferencia Latinoamericana del Internacional History, Philosophy, and Science Teaching Group, Mendoza, Argentina.
- Bentley, M. y Fleury, S. (1998). "Of starting points and destinations: teacher education and the nature of science", en MCCOMAS"; W. ed. *The Nature of Science in Science Education*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, pp. 277-291.
- Bermúdez, G. y De Longhi, A. L. (2006) "Propuesta curricular de hipótesis de progresión para conceptos estructurantes de ecología", *Campo Abierto*, 25 (2), pp. 13-38. Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Boido, G. (1999, abril) "Aportes de la Historia y Filosofía de la Ciencia a la Educación Científica". Ponencia presentada en las Jornadas sobre enseñanza de la Física, General Sarmiento, Argentina.
- Cachapuz, A., Paixao, F. (2002, julio). "Placing the History and the Philosophy of Science on teacher education", comunicación presentada en el 10.th IOSTE Symposium, Foz do Iguaçu, Brasil.
- Camacho González, H., Padrón Hernández, M. (2005) "Necesidades formativas para afrontar la profesión docente. Percepciones del alumnado", *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 8 (2), pp. 1-7. Asociación Universitaria de Formación del Profesorado, Zaragoza.
- Campanario, J. M. (1999) "La ciencia que no enseñamos", *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), pp. 397-410. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Carrascosa, J., Gil Pérez, D., Vilches, A. y Valdés, P. (2006) "Papel de la actividad experimental en la educación científica", *Cuaderno Brasileiro de Ensino de Física*. Universidad Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 23 (2), pp. 157-181.
- Carrascosa, J., Martínez Torregosa, J., Furió, C. y Guisasola, J. (2008) "¿Qué hacer en la formación inicial del profesorado de Ciencias de Secundaria?", *Rev. Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5 (2) pp. 118-133.
- Cupani, A. (2001). "Formación Científica y reflexión filosófica (Acerca de la utilidad de la Filosofía de la Ciencia en la formación del

- científico”, *Contextos de Educación*, v.4, n.º5, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, 4 (5), pp. 148-153.
- Dawkins, K., Glatthorn, A. (1998). “Using Historical case studies in Biology to explore the nature of science: a professional development program for high school teachers”, en MCCOMAS, W. ed., *The Nature of Science in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 163-176.
- De Sousa Santos, B. (2009). *Una epistemología del sur: la reinención del conocimiento y la emancipación social*. D.F. México: Siglo XXI Editores: CLACSO.
- Didarboure, M. (2009). “Las Ciencias Naturales y el nuevo programa escolar... volver a empezar”, *Quehacer educativo*, n.º93, Federación Uruguaya de Magisterio, Montevideo, pp. 183-188.
- Fernández, J. J., SanJosé, V. (2007). “Permanencia de ideas alternativas sobre evolución de las especies en la población culta no especializada”, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, n.º21, Universidad de Valencia, Valencia, pp. 129-149.
- Feyerabend, P. (1975). *Tratado contra el método: Esquema de una teoría anarquista del conocimiento*. Barcelona: Ariel.
- Furió, C. (1994). “Tendencias actuales en la Formación del profesorado de ciencias”, *Enseñanza de las Ciencias*, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 12 (2), pp. 188-199.
- Furió, C.; Carnicer, J. (2002) “El desarrollo profesional del profesor de Ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos”, *Enseñanza de las Ciencias*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 20 (1), pp. 47-73.
- Gagliardi, R. (1986) “Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación”, *Enseñanza de las Ciencias*. Universidad Autónoma de Barcelona, 4 (1), pp. 30-35.
- Gagliardi, R., Giordan, A. (1986) “La Historia de las Ciencias: Una herramienta para la enseñanza”, *Enseñanza de las Ciencias*, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 4 (2), pp. 253-258.
- Galagovsky, L. coord. (2010). *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Galagovsky, L., y Adúriz Bravo, A. (2001) “Modelos y analogías en la enseñanza de las Ciencias Naturales. El concepto de modelo didáctico analógico”, *Enseñanza de las Ciencias*. 19 (2), pp. 231-242.
- Galotti, L. (2009). “Evolución y clasificación biológica. Una propuesta de enseñanza”, *Revista de Educación en Biología*, v.12, n.º2, Asociación de Docentes de Biología de Argentina, Córdoba. 12 (2), pp. 49-52.
- Gandará, M., Gil, M. J. y Sanmartí, N. (2002). “Del modelo científico de ‘adaptación biológica’ al modelo de ‘adaptación biológica’ en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria”, *Enseñanza de las Ciencias*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 20 (2), pp. 303-314.

- García Rovira, M. P. (2005). "Los modelos como organizadores del currículo en Biología". Enseñanza de las Ciencias, Número extra. VII Congreso, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, pp. 1-6.
- Geymonat, L. (1985). *Historia de la filosofía de la ciencia: El pensamiento contemporáneo*. Barcelona: Crítica.
- Gil Pérez, D, Belendez, A., Martín, A. y Martínez, J. (1991). "La formación del profesorado universitario de materias científicas: contra algunas ideas y comportamientos de sentido común", Revista Interuniversitaria de Formación del profesorado, n.º.12, Asociación Universitaria de Formación del Profesorado, pp. 43-48.
- Giordan, A., De Vecchi, G. (1998). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Díada Editora.
- González Galli, L. (2009). "Aprender evolución, una carrera de obstáculos", Revista de Educación en Biología, Asociación de Docentes de Biología de Argentina, Córdoba, 12 (2), pp. 60-62.
- González Galli, L, Revel Chion, A. y Meinardi, E. (2008) "Actividades centradas en obstáculos para enseñar el modelo de evolución por selección natural". Revista de Educación en Biología, Asociación de Docentes de Biología de Argentina, Córdoba, 11 (1), pp. 60-62.
- González, L., Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, E. (2005). "El modelo cognitivo de ciencia y los obstáculos en el aprendizaje de la evolución biológica", Enseñanza de las Ciencias, Número Extra, VII Congreso, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, pp. 1-6.
- Goñal, D. y Rivarosa, A. (en prensa) *Aventuras de un Biólogo. Desandando los caminos de la investigación científica*. Buenos Aires: Editorial Biblos.
- Gould, S. (1999). *La vida maravillosa*. Barcelona: Crítica.
- Gould, S. (2010). *Érase una vez el zorro y el erizo. Las humanidades y la ciencia en el tercer milenio*. Barcelona: Crítica.
- Guerra Retamosa, C. (2004). "Laboratorios y batas blancas en el cine", Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, v.1, n.º.1, Universidad de Cádiz, Cádiz, 1 (1), pp. 52-63.
- Guyot, V. (2000) "La enseñanza de las ciencias", Revista Alternativas, n.º.17, Universidad Nacional de San Luis, San Luis, p. 15-32.
- Hernández Rodríguez, C. (1996) "La Historia de la Ciencia y la formación de los científicos", Perfiles educativos, v.18, n.º.73, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. México, 18 (73), pp. 1-11.
- Hernández, M. C., Álvarez, E. y Gutiérrez, R. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma, Revista Teorema, v.28, n.º.2, Universidad de Oviedo, Oviedo, 28 (2), pp. 107-121.
- Hernández, M., Prieto, J. (2000). "Un currículo para el estudio de la Historia de la Ciencia en secundaria (La experiencia del Seminario Orotava de Historia de la Ciencia)", Enseñanza de las Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 18 (1), pp. 105-112.

- Hodson, D. (2008). "Exploring Nature of Science Issues: Students' Views and Curriculum Images", en HODSON, D. ed., *Towards Scientific Literacy. A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*, Sense publishers, Rotterdam / Taipei. p. 23-40.
- Hugo, D., Adúriz-Bravo, A. (2002). "Algunos elementos teóricos para la investigación del conocimiento profesional del profesorado de ciencias naturales acerca de la naturaleza de la ciencia", en, ADÚRIZ BRAVO, A. PERAFÁN, G. y BADILLO, E. comps., *Actualizaciones en didáctica de las Ciencias Naturales y las Matemáticas*, Editorial Magisterio, Bogotá, pp. 23-31.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2005). "Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de Química", Enseñanza de las Ciencias, Número extra, VII Congreso, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, pp. 1-4.
- Lazcano-Araujo, A. (2007). *El origen de la vida. Evolución química y biológica*. D. F. México: Editorial Trillas.
- Lemke, J. (2006). "Investigar para el futuro de la Educación Científica: Nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir". Enseñanza de las Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, 24 (1), pp. 1-5.
- Maiztegui, A., González, E., Tricárico, H., Salinas, J.; Pessoa de Carvalho, A., Gil, D. (2000). "La formación de profesores de ciencia en Iberoamérica", *Revista Iberoamericana de Educación*, n.º.24, Organización de Estados Iberoamericanos, pp. 163-187.
- Maroto O. J. (2004). "La evolución... a escena. De cómo el grupo Prometeo enseña aspectos sobre la evolución y de los recursos que pueden emplearse para ello", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Universidad de Cádiz, Cádiz, 1(2), pp. 122-135.
- McComas, W., Clough, M., Almazroa, H. (1998). "The role and character of the nature of science in science education", en MCCOMAS; W. ed., *The Nature of Science in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. p. 3-39.
- Polop, J. (2009). "Dilemas que nos plantea la teoría de la evolución", *Revista de Educación en Biología*. Asociación de Docentes de Biología de Argentina, Córdoba, 12 (2), pp. 1-4.
- Porlán, R. (2003). "Principios para la formación del Profesorado de Secundaria", *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, v.17, n.º.1, Asociación Universitaria de Formación del Profesorado, Zaragoza, p. 23-35.
- Porlán, R., Rivero García, A., Martín del Pozo, R. (1997). "Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, Métodos e Instrumentos", *Enseñanza de las Ciencias*. 15 (2), pp. 115-179.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M., Adúriz-Bravo, A. (2005). "Avances en la construcción de marcos teóricos para incorporar la Historia de la Ciencia en la formación inicial del profesorado de Ciencias Naturales", *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, p. 1-4.

- Rivarosa, A. (2009). *Aprendiendo a enseñar: La reflexión histórica y epistemológica en la formación de formadores*. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Rivarosa, A. y De Longhi, A. (2006). “La noción de alimentación y su representación en alumnos escolarizados”, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Vigo, Vigo, 5 (3), pp. 534-552.
- Rivarosa, A., Gorla, D. y Astudillo, C. (2012, octubre). “Las aventuras de un investigador como forma de reflexión metacientífica en la formación de formadores”. Ponencia presentada en la 2.º Conferencia Latinoamericana del Internacional History, Philosophy, and Science Teaching Group, Mendoza, Argentina.
- Rodríguez, E. y Meneses, J. (2005). “Las concepciones y creencias de profesores de ciencias naturales sobre ciencia, su enseñanza y aprendizaje, mediadas por la formación inicial, la educación continuada y la experiencia profesional”, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, São Paulo, 5 (2), pp. 29-44.
- Santibáñez, J., Gil, A. (2003). “Estrategias didácticas en medios en la formación inicial del profesorado”, *Comunicar*, Revista científica de Comunicación y Educación, n.º.21, Grupo Comunicar, Huelva, p. 156-158.
- Schwartz, R., Crawford, B. (2006). “Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science. Identifying Critical Elements for Success”, en FLICK, L.; LEDERMAN, N. eds., *Scientific Inquiry and Nature of Science*, Springer, Netherlands. p. 331-355.
- Sierra Cuartas, C. (2007). “Fortalezas epistemológicas y axiológicas de la ciencia ficción: un Potosí pedagógico mal aprovechado en la enseñanza y divulgación de las Ciencias”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Universidad de Cádiz, Cádiz, 4 (1), pp. 87-105.
- Sullenger, K., Turner, S. (1998). “Nature of science: implications for education and undergraduate course for prospective teachers”, en McComas; W. ed., *The Nature of Science in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 243-253.
- Tignanelli, H., Bahamonde, N., Adúriz-Bravo, A. (2009). “Pequeñas historias de humor y de horror: usando narrativas y casos en la formación del profesorado de ciencias”, *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, p. 2762-2766.
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2007). “La contribución a la Década de la Educación por un futuro Sostenible. Un compromiso ineludible para educadores e investigadores”, *Revista de Educación en Biología*, v.10, n.º.2, Asociación de Profesores de Biología de Argentina, Córdoba, 10 (2), pp. 3-7.