

Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur *versus* Liebig sobre la fermentación

Uso da História da Ciência para Compreender Aspectos da Natureza da Ciência. Fundamentação de uma Proposta Baseada na Controvérsia Pasteur x Liebig sobre a Fermentação

Using The History Of Science To Understand Nature Of Science Issues. Foundation Of A Proposal Based On The Pasteur-Liebig Controversy About Fermentation

José Antonio Acevedo-Díaz y Antonio García-Carmona  *

203

En este artículo se presenta la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación como un relato de la historia de la ciencia (HDC) interesante para abordar algunas cuestiones sobre la naturaleza de la ciencia (NDC) en la educación científica. En consonancia con los posicionamientos actuales sobre cómo enseñar NDC, y particularmente desde el contexto de la HDC, la propuesta didáctica se plantea con un enfoque didáctico explícito y reflexivo. Esta se dirige a la formación de estudiantes de profesorado de ciencias de educación secundaria en la NDC y su didáctica. Se presta atención tanto a los aspectos epistémicos como a los no-epistémicos en el texto de la controversia y en las cuestiones que se plantean. Asimismo, se proponen algunas recomendaciones metodológicas para su implementación y evaluación en el aula.

Palabras clave: historia de la ciencia, naturaleza de la ciencia, educación científica, controversia Pasteur-Liebig

* José Antonio Acevedo-Díaz: máster en química, inspector de educación jubilado, Huelva, España. Correo electrónico: ja_acevedo@vodafone.es. Antonio García-Carmona: doctor en didáctica de las ciencias experimentales, profesor e investigador del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universidad de Sevilla, España. Correo electrónico: garcia-carmona@us.es.

Neste artigo é apresentada a controvérsia entre Pasteur e Liebig sobre a fermentação como um relato da história da ciência (HDC) interessante para tratar de algumas questões sobre a natureza da ciência (NDC) na educação científica. Em consonância com os posicionamentos atuais sobre como ensinar NDC e, particularmente, a partir do contexto da HDC, a proposta didática é formulada com uma abordagem didática explícita e reflexiva. Esta visa à formação de estudantes do curso de professores de ciências para o ensino médio da NDC e sua didática. São especialmente focados os aspectos epistêmicos e não-epistêmicos no texto da controvérsia e nos itens levantados. Além disso, propõem-se algumas recomendações metodológicas para sua implementação e avaliação em sala de aula.

Palavras-chave: história da ciência, natureza da ciência, educação científica, controvérsia Pasteur-Liebig

In this paper, the Pasteur-Liebig controversy about fermentation is presented as an interesting story of the history of science (HOS) to address some nature of science (NOS) issues in science education. The didactic proposal is founded on the current positions about how to teach NOS, and especially in the context of HOS. The proposal promotes understanding of the NOS aspects from an explicit and reflective approach, and it is focused on the prospective secondary education science teachers' training. Attention is given to both epistemic and non-epistemic aspects in the text of the controversy and the NOS questions asked. Also, some methodological recommendations for implementing and assessing the didactic proposal in science classroom are offered.

Key words: history of science, nature of science, science education, Pasteur-Liebig controversy

Introducción: naturaleza de la ciencia e historia de la ciencia

Los currículos escolares de ciencia suelen centrarse sobre todo en los contenidos conceptuales y se rigen por la lógica interna de la ciencia, pero se olvidan de dar formación sobre la ciencia misma; es decir, sobre qué es la ciencia, cómo funciona y se desarrolla; cuáles son sus fundamentos epistemológicos y ontológicos; los rasgos del trabajo de los científicos, sus valores como grupo social, así como las influencias mutuas entre ciencia, tecnología y sociedad (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007). Todos estos asuntos constituyen lo que se conoce como naturaleza de la ciencia (NDC). Aunque se han esgrimido diversas razones para justificar la presencia explícita de la NDC en la educación científica -tales como conceptuales, utilitarias, democráticas, culturales y axiológicas, entre otras (Driver, Leach, Millar y Scott, 1996)-, la decisión de darle más relevancia es sobre todo una elección basada en los valores que se consideran deseables para la alfabetización científica de la ciudadanía (Acevedo, Vázquez, Acevedo y Manassero, 2005). De otro modo, enseñar algo sobre NDC tiene valor *per se* y da calidad a la educación en ciencias. Si bien algunos de los aspectos de NDC son incuestionables y tienen claras implicaciones para la educación científica, en mayor o menor grado otros son contextuales y sólo tienen sentido a la luz de la práctica de la ciencia (Clough, 2011).

Entendemos la NDC como un meta-conocimiento sobre la ciencia, que surge de las reflexiones interdisciplinarias hechas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia por expertos en estas disciplinas, así como por algunos científicos y educadores de ciencias. No obstante, la ciencia es poliédrica y dinámica, con lo cual es difícil definir con precisión el concepto de NDC; aunque, de manera general, puede decirse que trata de todo aquello que caracteriza a la ciencia como una forma especial de construcción de conocimiento (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007; Acevedo y García-Carmona, 2016). Asimismo, la NDC se refiere tanto a los valores propios y contextuales de la ciencia (Acevedo, 1998; Echeverría, 2002; Longino, 1983 y 1990) como a los supuestos subyacentes al conocimiento científico, que son consecuencia del carácter humano de la propia actividad científica, incluyendo sus limitaciones e influencias de todo tipo (Acevedo, 2006a; Ziman, 2003a y 2003b).

Para Shamos (1995), la comprensión de la NDC es el componente más importante de la alfabetización científica porque este conocimiento, sea adecuado o no, es lo que la gente usa para valorar los asuntos públicos que involucran a la ciencia y la tecnología. Bybee (1997) incorporó elementos históricos y sociales, así como la comprensión de la NDC y de la naturaleza de la tecnología en la alfabetización científica multidimensional, que es el nivel más alto del modelo continuo que propone para la alfabetización científica. En suma, si se entiende en un sentido amplio, puede decirse que la alfabetización científica incluye el conocimiento de nociones básicas de ciencia, la comprensión de los aspectos metodológicos que ésta emplea, el reconocimiento y comprensión de la NDC, y las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Hodson, 2014).

Dos décadas atrás, los *National Science Education Standards* de los Estados Unidos (NRC, 1996) recomendaron la incorporación de la historia de la ciencia (HDC)

en la educación científica para la mejora de la comprensión de algunos asuntos de NDC, tales como la naturaleza de las investigaciones científicas, las características del conocimiento científico y los diversos aspectos contextuales relacionados con la sociología de la ciencia (internos y externos a la comunidad científica). Poco después, Abd-El-Khalick (1998) mostró que los cursos de HDC tienen un efecto muy pequeño en la mejora de la comprensión de elementos de NDC, a menos que estos se impartan con un enfoque explícito y reflexivo (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000). Si los estudiantes no tienen la oportunidad explícita de relacionar reflexivamente un relato de HDC con aspectos de NDC, es posible que lo consideren interesante, pero probablemente no mejorarán sus concepciones de NDC (Abd-El-Khalick, 2013; McComas, 2008; Rudge y Howe, 2009).

En la actualidad, la incorporación de la HDC al currículo escolar de ciencia es sugerida en los programas educativos oficiales de muchos países (Eurydice, 2011; NGSS, 2013). Sin embargo, de los dos documentos citados, la utilización de la HDC como contexto idóneo para aprender NDC sólo se recomienda explícitamente en los estándares norteamericanos. Asimismo, la integración de la HDC en las clases de ciencia aún está bastante lejos de ser la deseada (COSCE [Confederación de Sociedades Científicas de España], 2011; McComas y Kampourakis, 2015).

1. Las controversias de HDC y su uso en la enseñanza de NDC

206

Un enfoque basado en la HDC permite contextualizar de forma explícita la enseñanza de aspectos de NDC (Abd-El-Khalick, 1999; Clough, 2011; Irwin, 2000; Niaz, 2009); por ejemplo, la contextualización de cuestiones relacionadas con la manera en que los científicos encaran los retos de sus investigaciones, o la labor de la comunidad científica en la construcción de las ideas científicas y su ajuste con la evidencia empírica. Se ilustran así cuestiones epistemológicas, ontológicas y sociológicas vinculadas a la comprensión de la NDC (McComas, 2008), situando el contenido de la ciencia en un contexto humano, social y cultural más amplio (Matthews, 1994 y 2015; Kolstø, 2008). Este aspecto humanista de la ciencia favorece el conocimiento de la influencia de tales factores contextuales sobre el pensamiento y las investigaciones de los científicos (Forato, Martins y Pietrocola, 2011; Kruse, 2010). Del mismo modo que las grandes obras literarias o artísticas, el conocimiento científico es un producto cultural y, como en ellas, la importancia de sus logros y la comprensión de su naturaleza se ven reforzados por cierto conocimiento de su contexto histórico (Monk y Osborne, 1997). En definitiva, la comprensión de los estudiantes sobre NDC puede mejorar mediante el uso apropiado de narraciones de HDC en clase (Lonsbury y Ellis, 2002; Matthews, 2015; McComas, 2008; Smith, 2010).

La utilización de la HDC se suele justificar también por el efecto beneficioso que puede tener en la participación de los estudiantes para aprender NDC, si se plantea con un enfoque explícito y reflexivo (Acevedo, 2009). Las narraciones de HDC necesitan descripciones detalladas para evitar una visión demasiado lineal sobre cómo la ciencia produce sus nuevos conocimientos, y para permitir una interpretación mejor de la HDC en su contexto. Pero su uso instrumental en el aula requiere también

de una adaptación, en la que se seleccionan fragmentos de HDC y se simplifican los hechos históricos. En este proceso, se debe tener especial cuidado en que tales omisiones no conduzcan a una pseudo-historia (Allchin, 2004) y se dé una imagen deformada de la ciencia (Forato, Martins y Pietrocola, 2011).

Stinner, McMillan, Metz, Jilek y Klassen (2003) señalan las confrontaciones y los diálogos como dos de las seis formas posibles de utilizar la HDC en la educación científica. Las otras cuatro restantes son las viñetas, los estudios de caso, las dramatizaciones y las narraciones temáticas. Según Tolvanen, Jansson, Vesterinen y Aksela (2014), las confrontaciones son conflictos entre dos o más teorías, mientras que los diálogos lo son entre personas. Las controversias científicas incluyen ambos tipos de conflictos, y su discusión sirve para mostrar la evolución de la ciencia mediante los debates producidos.

Una controversia científica es una disputa pública persistente sin una resolución fácil, que implica la intervención de la comunidad científica, con argumentos epistémicos (cognoscitivos o propios de la ciencia) y no-epistémicos, como emociones, rasgos de personalidad, presiones institucionales, influencias políticas, rivalidades nacionales, eventos fortuitos e incluso fraude a veces. McMullin (1987: 51 y 53) define una controversia científica como:

“[...] una disputa [científica] pública que se mantiene persistentemente sobre un asunto considerado significativo por un número de científicos en ejercicio [...] que existe solo en el caso de que grupos sustanciales de la comunidad científica atribuya el mérito a cada parte en un desacuerdo público [...] El énfasis puesto en el papel de la comunidad [científica] en la determinación de la controversia puede servir para añadir otro aspecto respecto a la naturaleza de la controversia científica. Una controversia es un suceso histórico; tiene un lugar y una fecha. No se trata de una mera relación abstracta entre evidencia e hipótesis”.

207

McMullin (1987) establece cuatro tipos de controversias científicas: i) controversias en torno a hechos, que se originan a raíz de los resultados obtenidos y su interpretación; ii) controversias relativas a teorías, que surgen de desacuerdos sobre aspectos teóricos; iii) controversias referidas a principios, que son debidas a la confrontación de los aspectos metodológicos y ontológicos subyacentes en toda actividad investigadora; y iv) controversias mixtas, en las que confluyen diversos ámbitos sociales, tales como ciencia, aplicaciones tecnológicas, economía, política, moral y ética, entre otros.

Según Vallverdú (2005), la clasificación anterior falla en que no tiene en cuenta que las controversias científicas no suelen darse por separado, como propone McMullin; además, el número y tipo de agentes participantes suele ser mucho mayor de lo que se pudiera pensar en un principio.

El análisis de las controversias científicas ofrece un marco de estudio de los complejos procesos del cambio científico, y muestran el conflicto como algo inherente

a la propia ciencia. Su inclusión como categoría histórica y filosófica ha servido para reducir la brecha que existía entre el estudio de la fase de descubrimiento y la fase de justificación de los conocimientos producidos (Braga, Guerra y Reis, 2012). Las controversias científicas son, además, fundamentales en la construcción del conocimiento científico, pues impulsan el avance de la ciencia.

Las comunidades científicas intentan resolver las controversias científicas apelando a factores epistémicos (por ejemplo, evidencias e inferencias) que, en la medida de lo posible, no estén distorsionados por las creencias personales, ideológicas, políticas o religiosas de los participantes (factores no-epistémicos). Sin embargo, historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia muestran la presencia de tales aspectos no-epistémicos en la formación del juicio de una comunidad científica. Así pues, en toda controversia científica influyen factores epistémicos y no-epistémicos (Acevedo, 2006b). La ciencia es una actividad cultural que responde a necesidades, intereses, problemas sociales, políticos, económicos e ideológicos. Por tanto, la educación científica debería tener en cuenta también estos aspectos.

Tolvanen *et al.* (2014) recomiendan centrarse en algunos aspectos de NDC, en vez de plantear un debate general. La lectura de controversias científicas históricas, individualmente o en grupo pequeño, seguida de respuestas reflexionadas y razonadas a cuestiones de algunos aspectos de NDC, es un recurso útil para introducir la NDC en la educación científica, mediante un enfoque explícito y reflexivo (Acevedo, 2008). Asimismo, Clough (2011) sugiere que los relatos de HDC incorporen palabras de los científicos para resaltar el lado humano de la ciencia y añadir autenticidad a las ideas de NDC que ilustran.

208

Por último, Allchin (2003) ha enumerado los siguientes elementos narrativos de los relatos de HDC, como las controversias científicas, que interfieren a la hora de mostrar con más precisión la NDC:

1. *Monumentalidad*. Los científicos son idolatrados en los relatos hagiográficos; se les muestra valientes, virtuosos, genios solitarios y casi sobrehumanos. Se ignoran sus defectos de carácter, sus malas interpretaciones y errores, las contribuciones de otros científicos, y la gran cantidad de tiempo que es necesario para que el conocimiento se desarrolle y establezca por la comunidad científica.
2. *Idealización*. El diseño de investigación se muestra impecable, y el significado de los datos como una forma simple de empirismo ingenuo, reforzándose el mito del método científico algorítmico universal. Para simplificar el relato, se enfatizan ciertos aspectos, se minimizan otros y se omiten algunas partes, sobre todo los errores y fracasos. Aunque la intención pueda ser facilitar su comprensión, da lugar a un relato engañoso, siguiendo la máxima de “que la realidad no te estropee una ‘buena’ historia”. En consecuencia, se distorsiona la NDC haciendo que el proceso de investigación y el avance de la ciencia parezcan lineales y sin dificultades.
3. *Dramatismo afectivo*. Los científicos y la ciencia aparecen triunfantes, a menudo después de una dura lucha. Se apela al uso de recursos retóricos del tipo “eureka” o “ajá”; se resalta la exoneración de una persona o una idea; a veces se atribuyen

resultados sorprendentes a la casualidad. En suma, se da una visión melodramática del caso.

4. *Narración explicativa y justificativa.* El conocimiento científico se muestra exacto, una consecuencia lógica de metodologías científicas adecuadas. Los hechos históricos se informan de tal manera que impliquen que los métodos correctos conducen al conocimiento correcto, mientras que los métodos incorrectos llevan a un conocimiento incorrecto. Ello es consecuencia, en cierto modo, de una interpretación anacrónica del pasado en función de ideas y valores del presente, exagerando la importancia de lo que ha contribuido a la ciencia actual en lugar de tratar de entender el contexto social del momento y los factores contingentes de su desarrollo. Esta visión whig de la HDC transmite una idea acumulativa y lineal de la ciencia en su progreso constante hasta su estado actual (Monk y Osborne, 1997).

2. Un ejemplo de controversia de HDC para la formación del profesorado de ciencias sobre NDC

La realidad actual es que la enseñanza de aspectos de NDC tiene escasa presencia en la educación científica de los diferentes niveles educativos españoles (Acevedo y García-Carmona, 2016). Los profesores necesitan materiales curriculares adecuados para poder usar un enfoque histórico con el fin de que sus estudiantes consigan un aprendizaje eficaz de aspectos de NDC (Monk y Osborne, 1997; Tolvanen *et al.*, 2014). De acuerdo con ello, se muestra un ejemplo de controversia científica de HDC, la que tuvo lugar entre Pasteur y Liebig respecto al estudio de la fermentación, y se dan orientaciones para su implementación didáctica en la formación de estudiantes de profesorado de ciencias de Educación Secundaria (EPES). El motivo de elegir este colectivo es que si la experiencia como estudiantes de profesorado les resultara satisfactoria, aumentarán las posibilidades de que luego la implementen en sus clases de ciencia con las adaptaciones oportunas, aunque manteniendo fidelidad con la que aquí se propone. Asimismo, en los planes actuales de formación EPES, en España, se establece de manera explícita que los futuros docentes deben adquirir un conocimiento básico sobre la NDC y su didáctica (Benarroch, Cepero y Perales, 2013).

209

Las fuentes principales consultadas para la elaboración del texto de esta controversia sobre la fermentación, para su uso didáctico, han sido Dubos (1984), Geison (1995), Latour (1991), Rodrigues (2014) y Thuillier (1990).

2.1. La controversia sobre la fermentación entre Pasteur y Liebig

La asociación de la fermentación de la levadura con la alimentación ha acompañado a la humanidad a lo largo de la historia. Alrededor del año 6000 a.C., los babilonios consiguieron fabricar cerveza. Hacia el año 4000 a.C., los egipcios aprendieron a utilizar la levadura para fabricar pan. La obtención del vino por fermentación de la uva se menciona en el Antiguo Testamento de la Biblia. Otros procedimientos artesanales conocidos desde antiguo son la preparación del vinagre, el yogur y el queso.

La fermentación fue también uno de los problemas favoritos entre los alquimistas. Ya durante los siglos XVIII y XIX, los químicos intentaron formular la fermentación alcohólica mediante reacciones químicas, siguiendo los métodos que les habían proporcionado tanto éxito en otros fenómenos naturales. Químicos franceses ilustres como Lavoisier (1743-1794), Gay-Lussac (1778-1850), Thénard (1777-1857) y Dumas (1800-1884) estudiaron la transformación de la caña de azúcar en alcohol por métodos cuantitativos. Lavoisier obtuvo una formulación sencilla del proceso que daba la impresión de que se había descubierto la naturaleza del fenómeno, en el que no había lugar para la levadura. Todos los químicos de la época daban por hecho que ésta acompañaba, y probablemente iniciaba, la fermentación. Sin embargo, aunque fuera el iniciador de la reacción, la levadura no parecía tomar parte en ella. Berzelius (1779-1848) denominó catálisis a este extraño fenómeno y definió el término fermento como un ejemplo de actividad catalítica. Poco después, Schwann (1810-1882) descubrió que la pepsina era la sustancia responsable de la digestión albuminosa en el estómago. Creía que esto era lo que Berzelius definía como catalizadores, o la fuerza de las reacciones químicas de los minerales, las sustancias orgánicas y la materia viva. Liebig (1803-1873) se opuso al uso de los términos catalizador y pepsina, ya que sólo eran una idea vaga.

Cagniard de La Tour (1777-1859), Schwann y Kützing (1807-1893) identificaron de forma independiente, en 1837, la levadura como un organismo vivo que se nutre cuando el azúcar fermenta. En 1839, a petición de la Academia de Ciencias de Francia, Turpin (1772-1853) confirmó en París las observaciones microscópicas de Cagniard de La Tour. Berzelius, Liebig y Wöhler (1880-1882) rechazaron esta idea de naturaleza vitalista. Ese mismo año, Liebig y Wöhler publicaron un artículo sobre el papel de las levaduras en la fermentación alcohólica ridiculizando grotescamente la naturaleza orgánica de la levadura. En 1858, Traube (1826-1894) afirmó que todas las fermentaciones producidas por organismos vivos se deben a reacciones químicas en vez de a una fuerza vital.

Había una razón profunda para que los científicos de la época se mostrasen recelosos con la interpretación vitalista de la fermentación alcohólica. Puesto que esta podía ser descrita mediante una reacción química simple, no tenía sentido explicarla en función de un organismo vivo, en vez de referirse a interacciones químicas y físicas. Pero lo cierto es que, a mediados del siglo XIX, no estaba claro lo que era una fermentación. Había tres teorías principales: química, vitalista y química modificada.

La teoría química era la del químico alemán Liebig. Siguiendo las ideas de Lavoisier, consideraba que la fermentación era una descomposición química causada por la putrefacción de una sustancia animal o vegetal, pero que no requería de la intervención de microorganismos; esto es, no era un proceso biológico. La interpretación que Liebig daba del proceso era que las vibraciones procedentes de la descomposición de la materia orgánica se extendían al azúcar. En el caso de la fermentación alcohólica, Liebig creía que la levadura utilizada era una materia vegetal putrefacta, de tipo albuminoso, que descomponía el azúcar al desencadenar una especie de putrefacción. En esta descomposición se producía alcohol, dióxido de carbono y otros subproductos. En el proceso, se depositaba un producto que Liebig

definía como un fermento insoluble. Este fermento, rico en nitrógeno, podía provocar la fermentación en otra disolución de azúcar.

El cambio lo facilitaba el fermento o levadura con las características de un compuesto nitrogenado en estado de putrefacción. El fermento es susceptible al cambio, se somete a descomposición por la acción del aire (que proporciona el oxígeno), agua (que da la humedad) y una temperatura favorable. Antes de ponerse en contacto con el oxígeno, los componentes están juntos sin interactuar. Mediante el oxígeno, el estado de reposo, o equilibrio, de las fuerzas atractivas que mantienen juntos los elementos del fermento es perturbado. Como consecuencia, se forma una separación o una nueva disposición de sus elementos. La fermentación se produce por transferencia de inestabilidad molecular del fermento (átomos en movimiento) a las moléculas de azúcar, y continúa mientras siga su descomposición. De este modo, la teoría de la fermentación de Liebig se corresponde con la visión mecanicista del mundo, en el sentido filosófico que se le daba al término en el siglo XVII a partir de las contribuciones de Newton.

Liebig sostenía también que las sustancias orgánicas en putrefacción (orina, sangre y demás) tenían propiedades fermentativas análogas. De este modo, diferentes fenómenos se explicaban de la misma forma, tanto las fermentaciones clásicas (vino, cerveza y demás) como las putrefacciones y transformaciones que experimentaban los alimentos en la digestión.

Las primeras notas sobre la fermentación del químico francés Pasteur (1822-1895) se encuentran en sus cuadernos de laboratorio en septiembre de 1855. Pero es en 1857 cuando hizo público el desarrollo de su teoría acerca de la fermentación en su *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* (*Mémoire* en adelante), así como en otros trabajos posteriores. En esta publicación recogía las ideas de Cagniard de La Tour y Schwann, hacía consideraciones sobre la disimetría molecular de las sustancias orgánicas, refiriéndose a las formas levógira (sinistra) y dextrógira (diestra) del ácido tartárico, y enfatizaba el carácter especulativo de su teoría. *Mémoire* es considerado por los historiadores de la ciencia como uno de los escritos más importantes de Pasteur, aunque el libro no ofrecía evidencias empíricas rigurosas sobre la participación de organismos vivos en la fermentación, algo que proporcionó después en *Nouvelles recherches sur la fermentation alcoolique* (1858) y, sobre todo, en su *Mémoire sur la fermentation alcoolique*, publicada en 1860. Respecto a la relevancia de *Mémoire*, Geison (1974) ha escrito:

211

“Con dos excepciones notables esta memoria contiene los rasgos centrales teóricos y metodológicos de toda la obra de Pasteur sobre la fermentación: la concepción biológica de la fermentación como el resultado de la actividad de los microorganismos vivos; la visión de que las sustancias presentes en el medio de la fermentación sirven de alimento al microorganismo y, por tanto, deben ser adecuadas a sus necesidades nutricionales; la noción de especificidad, según la cual cada fermentación se corresponde con un microorganismo específico; el reconocimiento de que determinadas características químicas del medio pueden promover o impedir el desarrollo de

cualquier microorganismo en el mismo; la noción de competencia entre los diversos microorganismos para conseguir el alimento el medio; la suposición de que el aire puede ser la fuente de los microorganismos que aparecen en la fermentación; y la técnica para cultivar, directa y activamente, con el fin de aislar y purificar el microorganismo supuestamente responsable de una fermentación. Las dos características que faltan, que pronto completaron la concepción básica de Pasteur, fueron las técnicas de cultivo de microorganismos (que producen la fermentación) en un medio libre de nitrógeno orgánico, y su noción de fermentación como ‘la vida sin aire’” (Geison, 1974, citado por Latour, 1991: 131-132).

En esta misma memoria, Pasteur escribió lo siguiente sobre la interpretación de la fermentación según Liebig:

“A los ojos de [Liebig] un fermento es una sustancia excesivamente alterable que se descompone por sí misma y de ese modo estimula la fermentación como consecuencia de su alteración, perturbando mediante la comunicación y desmontando el grupo molecular de la materia fermentable. Según Liebig, esta es la causa principal de todas las fermentaciones y el origen de la mayoría de las enfermedades contagiosas. Berzelius cree que el acto químico de la fermentación debe hacer referencia a la acción de contacto” (Latour, 1991: 133).

212

La elección de la fermentación láctica, responsable de la acidez de la leche, en vez de la fermentación alcohólica en la que había trabajado intensamente durante 1855 y 1856, obedeció a motivos estratégicos. Esta fermentación, que era químicamente la más simple posible, consiste en el desdoblamiento del azúcar en dos mitades que son las moléculas de ácido láctico. Si conseguía demostrar que el proceso necesitaba de un organismo vivo (la levadura), podía servir de modelo general para otras fermentaciones.

En experimentos posteriores sobre la fermentación alcohólica, Pasteur usó dos matraces, uno de ellos con cuello de cisne. Vertió caldo en ambos matraces y los calentó por la parte inferior. Después de que el líquido hirviera, lo dejó enfriar. Entonces observó que el caldo del matraz con cuello de cisne quedaba claro, salvo si se lo sacudía. Interpretó este hecho diciendo que el cuello del matraz podía detener el paso de la mayoría de las partículas y, por eso, el líquido se mantenía inalterado. Por el contrario, el líquido del otro matraz se degeneraba. Concluyó que esta fermentación necesitaba de la levadura, que estaba viva, pero no requería oxígeno; es decir, se trataba de una fermentación anaeróbica, que Pasteur describió como la “vida sin aire”, característica de algunos microorganismos (tales como ciertas bacterias y levaduras). Cuando se permite que la levadura crezca, la sustancia se pudre con el tiempo. La interpretación de Pasteur de estas observaciones fue que los organismos vivos son los responsables del proceso de fermentación. Por tanto, es un proceso biológico, no un proceso químico de oxidación-reducción. Así pues, puede decirse que su teoría de la fermentación cae bajo el vitalismo.

En suma, para Pasteur la causa de la fermentación era la actividad biológica de determinadas levaduras (microorganismos). Al contrario que Liebig, formuló la hipótesis de que la levadura era un organismo vivo (posición vitalista), y que su acción sobre el azúcar no tenía que ver con procesos de desorganización o putrefacción. Lo deja bien claro al final de su *Mémoire* de 1857:

“[...] cualquiera que juzgue imparcialmente los resultados de este trabajo, y lo que publicaré en breve, reconocerá conmigo que la fermentación parece ser correlativa a la vida y a la organización de glóbulos, y no a su muerte y putrefacción; en lugar de un fenómeno debido al contacto, en el que la transformación del azúcar se llevaría a cabo en presencia del fermento [...] sin tomar cualquier cosa de él” (Latour, 1991: 133).

¿Era válido este concepto de fermentación para todos los fenómenos que Liebig intentó explicar con su teoría? Pasteur lo resolvió a su modo, considerando que las fermentaciones verdaderas, según su teoría, se debían a la acción de microorganismos.

La tercera teoría era la del químico francés Berthelot (1827-1907). Al igual que Pasteur, admitía que podía haber una relación entre la fermentación y la actividad de una levadura, pero a diferencia de éste no creía que con ello se justificara una interpretación vitalista. Según Berthelot, la levadura segregaba una sustancia química que actuaba sobre el azúcar y la transformaba. Esta sustancia sería comparable a lo que hoy llamamos enzimas. Como Berthelot recordaba, la existencia de estos fermentos solubles se había mostrado experimentalmente, e incluso podían actuar sin la presencia del organismo del que procedía. En su obra *Química orgánica basada en la síntesis* (1860), afirmó que “el fermento no es el organismo vivo, sino la sustancia que este produce”. Cabe destacar que esta interpretación, junto con la noción de enzima como biocatalizador, es la que se considera correcta hoy. La transformación del azúcar está provocada por enzimas en las fermentaciones alcohólica y láctica.

213

La principal dificultad en la época era debida al significado tan impreciso que tenía el término “fermentación”, tanto en el lenguaje común como en el de los científicos. El propio Berthelot mencionaba el ácido sulfúrico como un fermento. Sin embargo, se había conseguido establecer cierto orden que diferenciaba entre fermentos insolubles (microorganismos) y fermentos solubles, que incluían muchas sustancias que hoy se clasifican como enzimas.

Los argumentos de Pasteur para legitimar su teoría no fueron siempre precisos. Para ello, utilizó una estrategia semántica, que consistía en convertir en definición su teoría. Así, estableció que las fermentaciones verdaderas eran las de carácter biológico, excluyendo a las fermentaciones químicas, que para él no eran auténticas. En efecto, Pasteur usó muchas veces la expresión “fermentaciones propiamente dichas”, como escribiera en 1860:

“[...] en consecuencia, la oposición que el Sr. Berthelot cree encontrar entre mis enunciados y los hechos reales, responde solamente a la extensión que le da a la palabra fermento, mientras que yo la he aplicado únicamente a las sustancias que producen las fermentaciones propiamente dichas” (Thuillier, 1990: 425).

Pasteur se aseguraba siempre tener la razón con este tipo de razonamiento circular. En efecto, era muy hábil en el uso de la retórica y las estrategias semánticas con el fin de persuadir a los demás, unas habilidades que desplegó con éxito en esta controversia y en la de la generación espontánea frente a Pouchet (Farley y Geison, 1994; Geison, 1995).

Aunque es cierto que es necesaria la presencia de células vivas para que se produzca la fermentación alcohólica o la fermentación láctica, la teoría de Pasteur estaba muy lejos de la explicación que se admite hoy. Sin embargo, su interpretación del fenómeno abrió el camino para hacer otras investigaciones muy fructíferas y, sobre todo, tuvo éxito en numerosos aspectos prácticos relativos a la mejora de las técnicas de fermentación; de ahí el éxito que tuvo en su época. Por el contrario, Liebig tenía razón en insistir en el carácter químico de las fermentaciones; pero su concepción de los fermentos como sustancias en estado de descomposición daba una idea muy inexacta del fenómeno, que además resultó poco fecunda.

214 En un sentido estricto, Pasteur no definía la fermentación. Para ello, habría tenido que disponer de una teoría estructural que diera cuenta del mecanismo de la fermentación con precisión. Esto era algo que nadie conocía entonces. Se limitaba a señalar, de forma muy general, las causas de la fermentación y a dar una lista de reacciones para ilustrar este proceso. Del mismo modo que Liebig, Pasteur seleccionó algunos casos. Aunque su lista de ejemplos era incierta, discutible y hasta arbitraria, cumplía un doble objetivo. Por un lado, intentaba ordenar un conjunto de fenómenos mal conocidos y heterogéneos, y, por otro, establecer algunos esquemas generales que permitieran a la vez comprobar experimentalmente y justificar tal clasificación. Esta forma de proceder era un buen punto de partida para generar investigaciones útiles, por lo que el programa de investigación de Pasteur resultaba razonable, aunque pudiera parecer poco racional. Su lista de casos estaba más próxima a las fermentaciones clásicas que la de los partidarios de la teoría química de Liebig:

“Llamo fermentaciones propiamente dichas [...] a las fermentaciones que he estudiado y que comprenden todas las fermentaciones mejor caracterizadas, aquellas que son tan viejas como el mundo, las que intervienen en la formación del pan, el vino, la cerveza, la leche agria, la transformación de la orina en amoniaco, etc., aquellas cuyos fermentos son, según mis investigaciones, seres vivos que nacen y se multiplican durante el acto de la fermentación” (Thuillier, 1990: 431).

Hablando de sus trabajos sobre la fermentación, en su *Mémoire* Pasteur reconoce que partió de ideas preconcebidas, que fue más allá de los hechos y que, en rigor, sus ideas no podían demostrarse de manera irrefutable; pero que, a pesar de todo ello, procedía de manera lógica.

Por muy temerarias que fueran las generalizaciones de Pasteur, le permitían avanzar. Es lo que, en términos del filósofo Lakatos, se conoce como un programa de investigación progresivo, que se mostró fecundo durante un tiempo. Y todo ello, a pesar de que en sus textos más científicos recurriera con frecuencia a hechos discutibles, manifestaciones dogmáticas, astucias retóricas, alusiones frecuentes a las necesidades industriales y hasta patriotismo nacionalista, como en el siguiente escrito:

“En el momento en el que yo emprendo aquí, contra el Sr. Liebig, la defensa de una opinión que, después de todo, pertenece a la ciencia francesa, ¿por qué el Sr. Fremy se proclama, de forma al menos inoportuna, campeón de la ciencia alemana, con la que estoy anheloso de volver a emprender un combate del que me he apartado a pesar mío?” (Thuillier, 1990: 432).

Estos aspectos han dado pie a que, desde el último cuarto del siglo XX, se haya privilegiado la perspectiva sociológica en muchas publicaciones sobre Pasteur. En ellas se enfatizan los aspectos sociales, económicos, políticos, ideológicos y religiosos, pasando a segundo plano los análisis epistemológicos. Por ejemplo, se resalta la influencia que tuvo el hecho de que Pasteur fuera un fiel seguidor del emperador Luis Napoleón (Napoleón III) y que éste apoyara sus investigaciones más prácticas, ayudándole a conseguir recursos económicos para continuarlas. Asimismo, respecto a lo económico, se destaca que Pasteur utilizara un nuevo método para eliminar los microorganismos que pueden degradar el vino, el cual consistía en encerrar el líquido en cubas bien selladas y elevar su temperatura hasta 45oC-50oC durante un tiempo breve, protegiéndolo del oxígeno. A pesar del rechazo inicial de la industria vinatera a calentar el vino, experimentos controlados con lotes de vino calentado y sin calentar demostraron la efectividad del procedimiento. De este modo nació la pasteurización. Pasteur y su colega Claude Bernard (1813-1878) realizaron la primera pasteurización el 20 de abril de 1864. La fermentación puede producir nutrientes o eliminar anti-nutrientes. Los alimentos pueden preservarse por fermentación, ya que ésta usa energía de los alimentos y puede crear condiciones inadecuadas para los organismos indeseables; por ejemplo, avinagrando el ácido producido por la bacteria dominante se inhibe el crecimiento de los demás microorganismos.

Aunque los aspectos anteriores permiten conocer mejor algunas realidades históricas contextuales muy interesantes, hay que intentar mantener el equilibrio necesario. No hay que rechazar el punto de vista sociológico en los estudios sobre las investigaciones de Pasteur, pero tampoco el epistemológico, pues ambos son las dos caras de la misma moneda.

La controversia entre Pasteur y Liebig sobre la naturaleza de la fermentación alcohólica fue aclarada años después por el químico alemán Eduard Büchner (1860-1917). Influido por su hermano, el bacteriólogo Hans Büchner (1850-1902), se interesó por el proceso de la fermentación alcohólica, en el que la levadura descompone el azúcar en alcohol y dióxido de carbono. Publicó su primer artículo en 1885, mostrando que la fermentación puede ocurrir en presencia de oxígeno (fermentación aeróbica), una conclusión contraria a la teoría de Pasteur.

Hacia 1893, Eduard Büchner estaba dedicado por completo a la búsqueda del agente activo de la fermentación. Obtuvo muestras puras del fluido interior de las células de levadura mediante su pulverización dentro de una mezcla de arena y tierra de diatomeas, para pasar luego la mezcla a través de un filtro de tela. Este procedimiento evitaba el uso de disolventes y altas temperaturas, un método drástico y destructivo que había frustrado investigaciones anteriores. Suponía que el líquido recogido sería incapaz de producir la fermentación porque las células de levadura estaban muertas. Sin embargo, cuando intentaba mantener el líquido en el azúcar concentrado, observó la liberación de dióxido de carbono; una señal de que se estaba produciendo la fermentación. Büchner estableció entonces la hipótesis de que la fermentación era causada por una enzima a la que llamó "zimasa". En 1897 publicó que la fermentación era el resultado de procesos químicos, tanto en el interior como en el exterior de las células.

La disputa entre Liebig y Pasteur ralentizó, en cierto modo, el avance de la ciencia en el área de la fermentación y las enzimas, pues ninguno de los dos tenía razón del todo. No obstante, las ideas en conflicto también aceleraron la investigación en el mismo campo por las contribuciones de otros científicos. Gracias al trabajo de Büchner sobre la fermentación, se allanó el camino a los estudios de enzimas y la fermentación, lo que fue un momento clave de la historia de la química moderna.

216

2.2. Cuestiones de NDC relativas a la controversia entre Pasteur y Liebig

Como orientación para el formador de profesores, se hacen algunos comentarios sobre las cuestiones de NDC relacionadas con la controversia científica que se proponen en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. Cuestiones propuestas para reflexionar a partir de la lectura

- C.1. ¿Por qué crees que pueden darse diferencias importantes en la interpretación científica de un fenómeno natural, como en el caso de Pasteur y Liebig respecto a la fermentación?
- C.2. De acuerdo con lo que has leído en el texto, ¿cómo explicarías qué es una teoría científica?
- C.3. Según lo expuesto en el texto, ¿en qué medida estás de acuerdo con que las investigaciones científicas se desarrollan básicamente mediante procesos sucesivos de experimentación y comprobación?
- C.4. A partir de lo leído sobre la controversia científica de la fermentación, ¿qué importancia crees que tienen los errores que comenten los científicos en el desarrollo de la ciencia?
- C.5. Según lo que has leído en el texto, ¿qué papel crees que tienen la creatividad e imaginación de los científicos en sus investigaciones?
- C.6. ¿Por qué motivos crees que las ideas de Pasteur sobre la fermentación tuvieron más éxito que las de Liebig en su época?
- C.7. ¿De qué manera crees que los contextos sociocultural, político y económico, entre otros, de cada época pueden influir en el desarrollo de la ciencia? Explícalo para este caso de la fermentación.
- C.8. ¿Qué interés crees que puede tener para el avance de la ciencia que existan disputas o desacuerdos entre científicos sobre un problema de investigación?

217

2.2.1. ¿Por qué crees que pueden darse diferencias importantes en la interpretación científica de un fenómeno natural, como en el caso de Pasteur y Liebig respecto a la fermentación?

Las observaciones científicas que hacen científicos competentes serán distintas si éstos creen en teorías diferentes. En tal caso, los científicos harán experimentos distintos y no “verán” lo mismo en sus observaciones. Creer, como Pasteur, que la fermentación es un proceso biológico en el que participan activamente los microorganismos, o considerarla tan sólo un proceso químico siguiendo un punto de vista mecanicista, como hacía Liebig, estableció grandes diferencias a la hora de interpretar las fermentaciones. Otro aspecto que influye en las distintas interpretaciones de los científicos se relaciona con la forma de clasificar los fenómenos que investigan. La naturaleza es muy compleja y los científicos pueden usar esquemas de clasificación diferentes porque clasifican de acuerdo con sus percepciones y teorías. Así ocurrió de hecho en el caso que nos ocupa, cuando Pasteur se refería a las “fermentaciones propiamente dichas”, más allá del uso de una estrategia exclusivamente semántica o razonamiento circular.

2.2.2. De acuerdo con lo que has leído en el texto, ¿cómo explicarías qué es una teoría científica?

Las teorías científicas son explicaciones de los fenómenos naturales, siendo uno de sus rasgos la provisionalidad. En cualquier observación, subyace una carga teórica

que le sirve de guía. La descripción que hace Geison (1974) de la *Mémoire* de 1857 de Pasteur sintetiza bastante bien los principales rasgos de la teoría de Pasteur sobre la fermentación.

2.2.3. Según lo expuesto en el texto, ¿en qué medida estás de acuerdo con que las investigaciones científicas se desarrollan básicamente mediante procesos sucesivos de experimentación y comprobación?

La naturaleza no ofrece datos y evidencias tan simples como para que puedan ser interpretados sin ambigüedades a partir de evidencias empíricas. Las decisiones que toman los científicos en sus investigaciones se basan en algo más que datos empíricos. Es cierto que estas decisiones dependen de que la teoría haya sido comprobada con éxito el mayor número de veces posible, así como de la comparación de su estructura lógica con las de otras teorías alternativas, y de la sencillez con que la teoría pueda explicar todos los resultados experimentales. Pero el contenido de la teoría también se ve influido por las creencias personales y la propia actitud del científico. Estos rasgos de subjetividad pueden verse difuminados en la ciencia pública, donde hay más presión que en la ciencia privada para que el científico aparezca con mentalidad abierta, lógico, imparcial y objetivo. En el caso que nos ocupa, el propio Pasteur reconoció, en su *Mémoire* de 1857, que partió de ideas preconcebidas para desarrollar su teoría; que ésta tenía un carácter especulativo en parte y que había ido más allá de los hechos. Asimismo, la teoría de Liebig estaba influida por la visión mecanicista del mundo promulgada por Newton, que Lavoisier y otros eminentes científicos de la época habían extendido a la química.

218

2.2.4. A partir de lo leído sobre la controversia científica de la fermentación, ¿qué importancia crees que tienen los errores que comenten los científicos en el desarrollo de la ciencia?

El desarrollo del conocimiento científico es una búsqueda sin fin, que no lleva a verdades inmutables sino a resultados provisionales o tentativos sobre cómo funciona la naturaleza. Muchos errores son inevitables en la investigación científica, y el error suele ser la regla más que la excepción (Allchin, 2004); pero, a pesar de ello, la ciencia avanza así. Algunos errores pueden retrasar el progreso de la ciencia, pero otros pueden conducir a nuevos descubrimientos. Si los científicos aprenden de sus errores y los van corrigiendo, la ciencia progresa. Asimismo, cuando se desarrollan nuevas teorías, los científicos necesitan hacer algunas suposiciones sobre cómo es el comportamiento de la naturaleza. Estos supuestos no tienen que ser necesariamente verdaderos para que la ciencia pueda avanzar, tal y como se ha podido comprobar en el caso de la teoría sobre la fermentación de Pasteur. La ciencia necesita de suposiciones verdaderas para progresar, pero en muchas ocasiones la HDC muestra que se han hecho grandes descubrimientos refutando una teoría y aprendiendo de sus supuestos falsos (García-Carmona, 2002).

2.2.5. Según lo que has leído en el texto, ¿qué papel crees que tienen la creatividad e imaginación de los científicos en sus investigaciones?

Para progresar en sus investigaciones, los científicos son imaginativos cuando formulan preguntas de investigación, establecen hipótesis, diseñan experimentos rigurosos e interpretan los hechos empíricos. Los científicos no inventan lo que la

naturaleza hace; pero, al interpretar los hechos experimentales que descubren, inventan descripciones sobre lo que la naturaleza hace. A lo largo del texto proporcionado, pueden encontrarse algunos ejemplos de la creatividad e imaginación de Pasteur y Eduard Büchner en sus investigaciones sobre la fermentación.

2.2.6. ¿Por qué motivos crees que las ideas de Pasteur sobre la fermentación tuvieron más éxito que las de Liebig en su época?

Por un lado, la interpretación de Pasteur sobre la fermentación, aunque errónea cuando se contempla desde el presente, fue muy fecunda porque abrió el camino para hacer investigaciones nuevas en diversas áreas. En cambio, la teoría de Liebig resultó muy poco fructífera en este sentido. Por otro lado, las ideas de Pasteur tuvieron gran éxito en distintos aspectos prácticos relativos a la mejora de las técnicas de fermentación en las industrias del vino, la cerveza y el vinagre, y la invención de la pasteurización para conservar y transportar alimentos como la leche, entre otros.

2.2.7. ¿De qué manera crees que los contextos sociocultural, político y económico, entre otros, de cada época pueden influir en el desarrollo de la ciencia? Explícalo para este caso de la fermentación.

La comprensión de la ciencia revela la influencia de diversos factores extra-científicos en un determinado contexto cultural de relaciones humanas, dilemas profesionales, ambiciones de reconocimiento público y asuntos económicos, entre otros. Cuando la ciencia está en construcción, los valores contextuales (no-epistémicos) pueden tener su peso, además del que los valores cognoscitivos o propios de la ciencia (epistémicos) aportan. La controversia sobre la fermentación entre Pasteur y Liebig está impregnada de ambos tipos de valores. Por ejemplo, en el transcurso de la misma, Pasteur reivindicó la importancia de sus investigaciones para la resolución de ciertas necesidades industriales relacionadas con ellas, siendo apoyado en ese aspecto por el mismísimo emperador de Francia Napoleón III. También apeló al patriotismo nacionalista cuando opuso su “ciencia francesa” a la “ciencia alemana”, en una época en la que Prusia (Alemania) y Francia eran enemigas.

219

2.2.8. ¿Qué interés crees que puede tener para el avance de la ciencia que existan disputas o desacuerdos entre científicos sobre un problema de investigación?

La existencia de teorías diferentes sobre un mismo asunto científico es un gran estímulo para el avance de la ciencia. Cuando los científicos discuten las ideas y teorías de otros, probablemente las revisarán o actualizarán y, a veces, surgirán nuevas teorías o se abrirá el camino a otros estudios que amplíen el campo de investigación sobre la cuestión analizada u otras relacionadas. Asimismo, se suelen desarrollar técnicas experimentales novedosas en el transcurso de tales procesos. Así sucedió, por ejemplo, con el trabajo realizado sobre la fermentación por Eduard Büchner. Por último, como señala Moreno (2006: 416), conviene no olvidar que: “Las controversias [científicas] son testimonios de lo que salió bien y de lo que salió mal, que es una buena lección de humildad para quienes han defendido la ciencia como hecho prepotente frente a otros más cuestionables [...]”.

2.3. Recomendaciones metodológicas para el empleo de la controversia en la formación de profesorado de ciencias

Por último, se sugieren algunas indicaciones metodológicas para la implementación de la controversia en la formación de EPES, siguiendo un proceso en tres fases.

2.3.1. Fase 1: lectura del texto de la controversia histórica y respuestas a las cuestiones

Puesto que el propósito es valorar las aportaciones de la controversia al aprendizaje de algunos aspectos de NDC, se planteará a los EPES, organizados en equipos, su lectura sin mediar enseñanza previa. En el caso de que se opte por entregar el texto para una lectura individual previa fuera del aula, se puede pedir a los EPES un testigo de lectura en el que, por ejemplo, destaquen las ideas que les parezcan centrales en el texto, o cuáles son los aprendizajes que creen que se pueden conseguir en el aula con este material. Se dispondría así de una información inicial individual, distinta de las repuestas a las cuestiones de NDC del **Cuadro 1**, que podría ser de interés. Esta pregunta se repetiría al final de la tercera fase, incorporándose las respuestas en el informe final. Realizada la lectura, los equipos responderán a las ocho cuestiones que se formulan en el **Cuadro 1**. Las respuestas deben emanar de una discusión reflexiva y consensuada entre los miembros del equipo, y se registrarán en un informe. Si hubiera puntos de vista divergentes, que imposibilitarían consensuar una respuesta común, se pueden expresar las distintas posiciones razonadas ante una misma pregunta. Esta primera fase sirve para hacer explícitas las ideas sobre los aspectos de NDC planteados en las preguntas. Para su desarrollo en el aula se estima necesario un tiempo aproximado de dos horas.

220

2.3.2. Fase 2: puesta en común de las respuestas de los equipos a las cuestiones planteadas

Tras responder a las cuestiones relativas al texto, los equipos compartirán y discutirán sus respuestas en clase durante una sesión de alrededor de una hora y media. El papel del formador en esta fase es moderar el debate entre los equipos e introducir aquellas aclaraciones y preguntas que lo enriquezcan todo lo posible. La intención es que lleguen a conclusiones comunes sobre los aspectos de NDC tratados, pero sin adoctrinamiento; es decir, sin imponer las visiones que pudieran ser más adecuadas. En este sentido, y ante posibles ideas de NDC que estén alejadas de las aceptadas actualmente, se procurará generar nuevos conflictos cognitivos para que los EPES se replanteen libremente sus puntos de vista. Cabe la posibilidad de que la moderación del debate se comparta entre el formador y un estudiante de profesorado. La razón es doble. Por una parte, la moderación de debates es una tarea que se supone que los EPES desempeñarán como docentes. Por otra, permite que el formador se distancie algo de la gestión del debate y pueda centrarse mejor en tomar notas de las intervenciones, tanto para reconducir la discusión en caso necesario como para la evaluación posterior.

2.3.3. Fase 3: conclusiones tras la puesta en común

Una vez que las respuestas a las cuestiones planteadas se hayan discutido en clase, cada equipo revisará sus respuestas iniciales para completar, matizar o reafirmar sus ideas y argumentos sobre los aspectos de NDC abordados. Todo ello se registrará en

un informe final que se entregará con las conclusiones de equipo, a continuación de las respuestas iniciales que elaboraron.

Conclusiones

La demanda de la HDC en la educación científica se remonta a la segunda mitad del siglo XIX. Jenkins (1990) menciona que George J. D. Campbell, octavo duque de Argyll, en su discurso presidencial de la *British Association for the Advancement of Science* de la reunión de 1855, celebrada en Glasgow, reclamó lo siguiente: “Lo que queremos en la enseñanza de los jóvenes no es tanto meros resultados como métodos y, sobre todo, la historia de la ciencia”. Desde entonces, han sido numerosos los intentos por introducir la HDC en la educación científica apelando a los motivos más variados (véase, por ejemplo: McComas, 2013). Como la ciencia misma, el desarrollo de estos intentos está plagado de aciertos y errores, de los cuales se puede y debe aprender.

En este artículo nos hemos centrado en uno de esos motivos: la HDC como contexto para el aprendizaje de la NDC. Consideramos que los episodios de HDC, y los de controversia en particular, son un recurso de gran potencial didáctico en este sentido. Pero, para ello, tal y como hemos indicado más arriba, las controversias deben adaptarse para su uso educativo, sintetizándolas del modo más fiel posible a hechos históricos auténticos, que permitan ilustrar ciertos aspectos relevantes de la NDC, formulados explícitamente como cuestiones para reflexionar sobre la ciencia. Esto es justamente lo que hemos pretendido con la presentación de este trabajo sobre la controversia entre Pasteur y Liebig acerca de la fermentación. La actividad se ha implementado recientemente, tal y como se ha descrito aquí, en una universidad española con un grupo clase de EPES, de la especialidad de física y química, a fin de evaluar su eficacia didáctica.

221

Bibliografía

ABD-EL-KHALICK, F. (1998): *The influence of history of science course on students' conceptions of the nature of science*, Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, Oregon.

ABD-EL-KHALICK, F. (1999): "Teaching Science with History", *The Science Teacher*, vol. 66, n° 9, pp. 18-22.

ABD-EL-KHALICK, F. (2013): "Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains", *Science & Education*, vol. 22, n° 9, pp. 2087-2107.

ABD-EL-KHALICK, F. y LEDERMAN, N. G. (2000): "The influence of history of science course on students' views of nature of science", *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 37, n° 10, pp. 1057-1095.

ACEVEDO, J. A. (1998): "Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 16, n° 3, pp. 409-420.

ACEVEDO, J. A. (2006a): "Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 3, n° 2, pp. 198-219.

222 ACEVEDO, J. A. (2006b): "Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 3, n° 3, pp. 369-390.

ACEVEDO, 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*, vol. 5, n° 2, pp. 178-198.

ACEVEDO, J. A. (2009): "Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 6, n° 3, pp. 355-386.

ACEVEDO, J. A. y GARCÍA-CARMONA, A. (2016): "«Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 13, n° 1, 3-19.

ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., ACEVEDO, P. y MANASSERO, M. A. (2005): *Evaluación de creencias sobre ciencia, tecnología y sus relaciones mutuas*. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 2, n° 6, pp. 73-99.

ACEVEDO, J. A., VÁZQUEZ, A., MANASSERO, M. A. y ACEVEDO, P. (2007): "Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 4, n° 1, pp. 42-66.

ALLCHIN, D. (2003): "Scientific myth-conceptions", *Science Education*, vol. 87, nº 3, pp. 329-351.

ALLCHIN, D. (2004): "Pseudohistory and Pseudoscience", *Science & Education*, vol. 13, 3, pp. 179-195.

ALLCHIN, D. (2012): "Teaching the nature of science through scientific errors", *Science Education*, vol. 96, nº 5, 904-926.

BENARROCH, A., CEPERO, S. y PERALES, F. J. (2013): "Implementación del Máster de Profesorado de Secundaria: aspectos metodológicos y resultados de su evaluación", *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 10, nº extra, pp. 594-615.

BRAGA, M., GUERRA, A. y REIS, J. C. (2012): "The role of Historical-Philosophical controversies in Teaching Sciences: The debate between Biot and Ampère", *Science & Education*, vol. 21, nº 6, pp. 921-934.

BYBEE, R. W. (1997): *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*, Portsmouth, NH, Heinemann.

CLOUGH, M. P. (2011): "The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education", *Science & Education*, vol. 20, nº 7-8, pp. 701-717.

223

COSCE [Confederación de Sociedades Científicas de España] (2011): *Informe Enciende: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica escolar para edades tempranas en España*, Madrid, COSCE.

DRIVER, R., LEACH, J., MILLAR, R. y SCOTT, P. (1996): *Young People's Images of Science*, Buckingham, UK, Open University Press.

DUBOS, R. J. (1984): *Pasteur*, Barcelona, Salvat.

ECHEVERRÍA, J. (2002): *Ciencia y valores*, Barcelona, Destino.

EURYDICE (2011): *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*, Brussels: EACEA P9 Eurydice, Recuperado de <http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice>

FARLEY, J. y GEISON, G. L. (1994): "Ciencia, política y generación espontánea en la Francia del siglo diecinueve: el debate Pasteur-Pouchet", en C. Solís (Ed.): *Razones e intereses. La historia de la ciencia después de Kuhn*, Barcelona, Paidós, pp. 219-263.

FORATO, T. C. M., MARTINS, R. A., PIETROCOLA, M. A. (2011): "Historiografía e natureza da ciência na sala de aula", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 28, nº 1, pp. 27-59.

GARCÍA-CARMONA, A. (2002): "Casualidad, inspiración y descubrimientos científicos", *Red Científica: Ciencia, Tecnología y Pensamiento*, n° 47, Recuperado de <http://www.redcientifica.com/doc/doc200209150001.html>

GEISON, G. (1974): "Louis Pasteur", en C. C. Gillispie (Ed.): *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 10, New York, Charles Scribner's Sons.

GEISON, G. (1995): *The Private Science of Louis Pasteur*, Princeton, NJ, Princeton University Press.

HODSON, D. (2014): "Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods", *International Journal of Science Education*, vol. 36, n° 1, pp. 2534-2553.

IRWIN, A. R. (2000): "Historical case studies: teaching the nature of science in context", *Science Education*, vol. 84, n° 1, pp. 5-26.

JENKINS, E. W. (1990): "The history of science in British schools: retrospect and prospect", *International Journal of Science Education*, vol. 12, n° 3, pp. 274-281.

KOLSTØ, S. D. (2008): "Science education for democratic citizenship through the use of the history of science", *Science & Education*, vol. 17, n° 8-9, pp. 977-997.

224 KRUSE, W. J. (2010): *Historical Short Stories in the Post-Secondary Biology Classroom: Investigation of Instructor and Student Use and Views*, Unpublished doctoral dissertation, Iowa State University, Ames, Iowa.

LATOUR, B. (1991): "Pasteur on Lactic Acid Yeast: A Partial Semiotic Analysis", *Configurations*, vol. 1, n° 1, pp. 129-146.

LONGINO, H. E. (1983): "Beyond "bad science": Sceptical reflections on the value-freedom of scientific inquiry", *Science, Technology, and Human Values*, vol. 8, n° 1, pp. 7-17.

LONGINO, H. E. (1990): *Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry*, Princeton, NJ, Princeton University Press.

LONSBURY, J. G. y ELLIS, J. D. (2002): "Science History as a Means to Teach Nature of Science Concepts: Using the Development of Understanding Related to Mechanisms of Inheritance", *Electronic Journal of Science Education*, vol. 7, n° 2, sin paginar.

MATTHEWS, M. R. (1994): *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*, New York, Routledge.

MATTHEWS, M. R. (2015): *Science Teaching: The Contribution of History and Philosophy of Science (20th Anniversary Revised and Expanded Edition)*, New York, Routledge.

MCCOMAS, W. F. (2008): "Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science", *Science & Education*, vol. 17, nº 2-3, pp. 249-263.

MCCOMAS, W. F. (2013): "Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da História da Ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento", en C. C. Silva e M. E. B. Prestes (Orgs.): *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*, São Carlos, Brasil, Tipographia Editora Expressa, pp. 419-441.

MCCOMAS, W. F. y KAMPOURAKIS, K. (2015): "Using the History of Biology, Chemistry, Geology, and Physics to illustrate general aspects of Nature of Science", *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, vol. 9, nº 1, pp. 47-76.

MCMULLIN, E. (1987): "Scientific controversy and its termination", en H. T. Engelhardt Jr, & A. L. Caplan (Eds.): *Scientific Controversies. Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*, New York, Cambridge University Press, pp. 49-91.

MONK, M. y OSBORNE, J. (1997): "Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy", *Science Education*, vol. 81, nº 4, pp. 405-424.

MORENO, A. (2006): "Atomismo versus energetismo: Controversia científica a finales del siglo XIX", *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 24, nº 3, pp. 411-428.

225

NIAZ, M. (2009): "Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies", *Science & Education*, vol. 18, nº 1, pp. 43-65.

NGSS (2013): *The Next Generation Science Standards: For States, by States*, Washington, National Academy of Sciences.

NRC, National Research Council (1996): *The National Science Education Standards*, Washington, DC, Academic Press.

RODRIGUES, S. P. (2014): *O microrganismo no trabalho de Pasteur: fermentação e putrefação, Tese de doutorado em História da Ciência*, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, Brasil.

RUDGE, D. W. y HOWE, E. M. (2009): "An explicit and reflective approach to the use of History to promote understanding of the nature of Science", *Science & Education*, vol. 18, nº 5, pp. 561-580.

SHAMOS, M. H. (1995): *The myth of scientific literacy*, New Brunswick, NJ, Rutgers University Press.

SMITH, J. A. R. (2010): *Historical Short Stories and the Nature of Science in a High School Biology Class*, Master Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.

STINNER, A., MCMILLAN, B. A., METZ, D., JILEK, J. M. y KLASSEN, S. (2003): "The renewal of case studies in science education", *Science & Education*, vol. 12, nº 7, pp. 617-643.

THUILLIER, P. (1990): *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, Madrid, Alianza.

TOLVANEN, S., JANSSON, J., VESTERINEN, V.-M. y AKSELA, M. (2014): "How to use Historical Approach to teach Nature of Science in Chemistry Education?", *Science & Education*, vol. 23, nº 8, pp. 1605-1636.

VALLVERDÚ, J. (2005): "¿Cómo finalizan las controversias? Un nuevo modelo de análisis: la controvertida historia de la sacarina", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 2, nº 5, pp. 19-50.

ZIMAN, J. (2003a): "Ciencia y sociedad civil", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 1, nº 1, pp. 177-188.

ZIMAN, J. (2003b): *¿Qué es la ciencia?*, Madrid, Cambridge University Press.