

ERROR Y CONOCIMIENTO: UN MODELO FILOSÓFICO PARA LA DIDÁCTICA DE LA CIENCIA

VALLVERDÚ, JORDI¹ e IZQUIERDO, MERCÈ²

¹ Departamento de Filosofía. Universitat Autònoma de Barcelona

² Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universitat Autònoma de Barcelona

jordi.vallverdu@uab.cat.

merce.izquierdo@uab.cat.

Resumen. El presente artículo explora la utilidad de un nuevo modelo de análisis de los procesos de dinámica científica (MADiC) para reflexionar sobre la naturaleza de las ciencias (NOS) en los cursos de formación de profesores de ciencias y, en general, en aquellos en los cuales se reflexiona sobre la naturaleza de las ciencias. El modelo se refiere a aspectos de la actividad experimental que se tiende a ocultar (el error, los conflictos de intereses o la participación ciudadana en los procesos científicos) y nos muestra cómo el estudio de todos estos factores permite una mejor comprensión de la práctica investigadora y del cambio o progreso en la dinámica científica.

El artículo evalúa el modelo en su aplicación en distintos grupos de estudiantes bajo entornos docentes diversos. También explora su capacidad de contribuir al diseño de la clase de ciencias según un enfoque CTS que requiere la convergencia de las diferentes asignaturas del currículo. Al comprender la influencia de todos estos factores en la emergencia de conocimiento, el docente de ciencias tiene más recursos para colaborar con profesores de otras materias con la finalidad de formar personas con criterio y capacidad de decidir.

Palabras clave. Modelo de ciencia, controversia, error, formación de profesores.

Error and Knowledge: A Philosophical Model for the Didactics of Science

Summary. This paper analyzes the usefulness of embedding a new science analysis model (MADiC) into the conceptual analysis about the nature of science made by science teachers and, more broadly, to those courses that involve critical thinking about the nature of science. This model is related to usually hidden aspects of the experimental activity (error, interest conflicts or citizenship participation into scientific processes) and it shows us how the analysis of all these factors makes possible a better understanding of the research and about the change or progress within the scientific dynamics.

This paper evaluates the model in its application in different groups of students in diverse educational frames. It also explores its capacity to contribute to the design of the science classroom according to a CTS approach, which requires the convergence of the different subjects from the curriculum. When including the influence of all these factors in the emergence of knowledge, the science teacher has more resources to collaborate with professors of other subjects in order to train people with criterion and a capacity to decide.

Keywords. Science model, controversy, error, teacher education.

1. INTRODUCCIÓN

Rosalind Williams (2003) reflexiona sobre el valor de los conflictos en el proceso de conocimiento: «*Disasters are revelations. ...We never understand a technological system better than when it collapses*» (p. 216) y nos proporciona una amplia bibliografía sobre el análisis

de controversias científicas. Pero debemos remitirnos a una cita clásica de Francis Bacon en *Novum Organum, Liber Secundus, XX*, para dar el sentido pleno a nuestro artículo: «*Aparece antes la verdad del error que la de la confusión*». Lo que nos quiere indicar Bacon es que

la confusión metodológica nunca conduce a la verdad de los hechos, mientras que el error, reconocido y analizado desde el método, nos aproxima a la verdad. Este hecho ha sido estudiado desde hace tiempo no sólo desde una perspectiva meramente epistemológica (Berkson y Wettersen, 1984; Rosenman, 1988; Mayo, 1996), sino también dentro del contexto de la enseñanza de las ciencias (Myerly, 1980; Senoff, 1990); pero, sin embargo, sus consecuencias para la enseñanza de las ciencias se han desarrollado poco, con notables excepciones (Astolfi, 1997).

1.1. La ciencia como «actividad de los científicos»

Contemplar el error de manera positiva, como parte misma de la actividad científica, permite al investigador encarar correctamente su práctica diaria y asumir la fragilidad de la epistemología aplicada. Del mismo modo, los alumnos pueden aprender mejor si reconocen el error y son capaces de subsanarlo (Izquierdo, 2000). Por ello, resulta interesante advertir tanto de la existencia de errores en la práctica científica como de los mecanismos para evitarlos o corregirlos.

La forma habitual de enseñar la ciencia consiste en explicar los éxitos de los científicos: los conceptos que se impusieron, las experimentos que pudieron justificarse. Esto simplifica la tarea docente, pero hace muy difícil que la ciencia que se enseña en las aulas pueda identificarse con la ciencia que los alumnos van aprendiendo con dificultad. Los alumnos se sienten defraudados si fracasan en un experimento o en la resolución de un problema tras haber seguido todos los pasos que le debían ofrecer una solución y, al no tener un marco de referencia respecto a la actividad científica real, pueden concluir de forma errónea que la actividad científica es algo demasiado complejo para ellos. En cambio, si entienden cómo funciona realmente la ciencia, la ven más cercana a las personas y pueden juzgar con mayor precisión los fracasos, los éxitos y las esperanzas que forman parte de su actividad como alumnos de ciencias; la comprensión profunda de la práctica científica real requiere comprender que intervienen en ella diversos factores: valores morales, criterios económicos, creencias religiosas, tradiciones históricas nacionales, éxitos y errores.

Contrariamente a lo que pudiera parecer, son precisamente estos últimos, los errores, los que nos pueden ayudar a comprender mejor la actividad científica: el conocimiento no se obtiene sólo de forma positiva (a través de una serie de reglas que conducen a una conclusión), sino también de forma negativa, a través de la fractura, voluntaria o no, de las reglas y modelos establecidos y encontrando vías de conocimiento inesperadas. El error (al igual que el azar) irrumpe con gran frecuencia en la actividad científica y provoca estados de anormalidad que impulsan a los investigadores a recapacitar sobre su metodología o concepciones teóricas (Kohn, 1986). Un error descubierto o encubierto pone de manifiesto la estructura de la disciplina al ser analizado con perspectiva histórica.

1.2. La ciencia de los científicos y la «ciencia de enseñar ciencias»

La didáctica de las ciencias o «ciencia de enseñar ciencias»¹ se encuentra en estos momentos en una interesante etapa de estructuración de sus fundamentos teóricos. Estudia los procesos que subyacen a los actos que tienen como finalidad enseñar un determinado conocimiento científico para intervenir en ello con eficacia educativa y evaluar mejor los resultados (Estany e Izquierdo, 2001). Para desarrollar este conocimiento es necesario enriquecer las posibilidades de análisis de la clase de ciencias intentando abarcar, a la vez, las necesidades de los alumnos, los condicionantes del acto docente en sus instituciones propias y las características de las ciencias que se enseñan. Este último aspecto es el que se considera en este artículo.

Todo acto educativo requiere de la implicación del alumno, ya que no se aprende sin actividad personal consciente y deseada (Izquierdo et al., 1999). Lo mismo puede decirse de la actividad de los científicos, que es social y vocacional además de cognitiva. Creemos que comprender bien en qué consiste la actividad de los científicos es un prerrequisito para generar actividad científica en la escuela (ACE). Ahora bien, las disciplinas científicas se presentan a menudo en los manuales según una retórica magistral o apodíctica, de afirmaciones sobre cómo es el mundo sin tener en cuenta los cambios de enfoque y las polémicas que se han generado (y se continúan produciendo) en la práctica real de la ciencia.

En el momento actual se están revisando los currículos de ciencia en muchos países con tradición en este campo y se está llegando a un amplio consenso respecto a dos puntos. El primero de ellos es que, en la sociedad de la información, la educación científica ha de permitir adquirir competencias de pensamiento científico; con ello se sube el listón de exigencia, puesto que los conocimientos se han de saber aplicar, justificar y utilizar diferentes «modos comunicativos» con buen criterio para seleccionar y estructurar la información que es relevante. El segundo se refiere a los contenidos específicos que se han de enseñar y se priorizan aquellos que permiten comprender los problemas específicos de las sociedades actuales. Por esto se valoran cada vez más los llamados currículos CTS (ciencia-tecnología-sociedad) (ver, por ejemplo, Membiela, 2001) que requieren la convergencia entre las diferentes asignaturas del currículo; las ciencias adquieren significado al ser necesarias para comprender el origen de los problemas ambientales y la manera de abordarlos, para el control de la salud y para poder valorar las aportaciones actuales de nuevas disciplinas como la biotecnología o la nanotecnología.

Es necesario, pues, que el marco teórico de la didáctica se amplíe con aportaciones de la filosofía de las ciencias (epistemología, axiología, praxeología o cognición, como vemos parcialmente en Giere, 1992 o Seifert, 1994) y de la historia de las ciencias (Izquierdo y Adúriz, 2003, Izquierdo, 2000).

2. UN MODELO DE ANÁLISIS DE LA DINÁMICA CIENTÍFICA (MADiC)

Los filósofos de la ciencia han dedicado gran parte de sus esfuerzos a la elaboración de modelos de comprensión del funcionamiento de la ciencia. Según Kuhn (1962), la ciencia pasa por períodos de estabilidad que, ante la presencia reiterada de anomalías, entra en crisis que conducen a una revolución científica. El modelo de Kuhn, así como los de sus continuadores Lakatos (1970) y Laudan (1978) (ver Estany, 1990), es de gran utilidad desde un punto de vista de la macrociencia, es decir, en el nivel de los cambios generales de todo el pensamiento científico. Sin embargo, la ciencia normal, la ciencia del día a día que leemos en las noticias o enseñamos a nuestros alumnos muestra una aparente estabilidad, estando sin embargo sujeta a pequeñas transformaciones o cambios de los que no se habla pero que conducen finalmente a cambios radicales.

En nuestro intento por ofrecer un modelo coherente de comprensión de la dinámica científica, tomamos el modelo teórico filosófico desarrollado por Vallverdú (2005a, 2005b) y aplicado en sus versiones iniciales por Izquierdo y otros (2007). Éste versa sobre la comprensión del desarrollo de las controversias científicas (Nelkin, 1979; Mazur, 1981; Engelhardt et al., 1987; Brante et al., 1993), que es el ámbito propio de la microdinámica científica (la ciencia del día a día), y aporta un nuevo concepto, la idea de *campos de controversias*, que ofrece una visión coherente de su naturaleza y, al mismo tiempo, de los procesos de dinámica científica (Kipnis, 2001; Kleiman et al. (eds.), 2008). Con ello se trabaja, tal como pretendemos, dentro del marco teórico de los estudios de ciencia-tecnología-sociedad (Jasanoff, 2004). En esta línea CTS, encontramos estudios ya existentes que, desde la filosofía de la ciencia, intentan también aproximar la ciencia y la tecnología a la sociedad con una vocación didáctica (Martín, 2005; Martín, y Osorio 2003), con tal de mejorar las dinámicas de toma de decisiones al educar a la ciudadanía. Martín (2003) incluso ha desarrollado simulaciones para aproximar al alumnado a estas realidades y capacitarlos para la evaluación crítica de las metáforas científicas. Tal y como remarca el propio autor (*op. cit.*, p. 2): «convendría, por tanto, repensar el lugar y el papel de la enseñanza de las ciencias en el conjunto de la educación». Acevedo y otros (2003) han desarrollado un rico e interesante planteamiento en esta misma línea.

Por todo ello, el modelo MADiC supera enfoques previos en los que se suponía que «el mundo de la ciencia y sus modelos interpretativos» y el «mundo de los valores y de las decisiones políticas»² eran dos grandes ámbitos bien diferenciados, no debían mezclarse, y que para desarrollar una actividad correcta la información debía fluir desde la ciencia hasta el mundo de los valores, nunca a la inversa.³ Fue necesario reconocer la existencia de más agentes en la actividad científica, su carácter interactivo y la retroalimentación mutua entre ellos mediante diversos canales de comunicación; y proponer un Modelo de Análisis de la Dinámica Científica (MADiC) en el que los diversos grupos sociales (científicos, comunicadores y ciudadanía) compartan espacios relativos a los valores,

tanto epistémicos (aquellos relacionados con la obtención de hechos) como los no epistémicos (los relacionados con lo que normalmente denominamos «valores»)⁴ (Vallverdú, 2003). Una versión adaptada de este modelo va a servirnos como instrumento didáctico para promover la lectura significativa de textos en los cuales se presenten controversias científicas.

3. NUESTRA INVESTIGACIÓN: DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN INSTRUMENTO DIDÁCTICO PARA LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORES DE CIENCIAS MEDIANTE UN ESTUDIO DE CASO: ¿POUCHET CONTRA PASTEUR?

Desarrollaremos a continuación los elementos necesarios para la adaptación del MADiC al contexto educativo. Tenemos dos grandes objetivos. El primero es ayudar a los alumnos a hacer una lectura profunda de los textos en los que se refieren controversias científicas, de manera que comprendan mejor la compleja interacción que se produce entre múltiples grupos sociales durante el proceso de desarrollo de un artefacto o de un concepto tecnocientífico, la cual permite la existencia de fondos para la investigación, le aporta interés social y proporciona los objetivos colectivos, elementos, todos ellos, que influyen en el desarrollo tecnocientífico. El segundo objetivo es desarrollar su espíritu crítico respecto a la imagen simplista de la actividad científica a la que se tiende, por razones diversas, al dar clases de ciencias (Bonil y Pujol, 2008).

La formación de profesores de secundaria es aún un tema pendiente en nuestro país.⁵ A pesar de las graves limitaciones de esta formación inicial actual, en la UAB se hacen esfuerzos para que el poco tiempo que se le asigna se aproveche al máximo presentando, siempre que sea posible, problemas reales de actividad científica en los cuales se formularon preguntas importantes y que, al ser analizados, permitan discutir sobre la metodología científica. Todo ello contribuirá a que los futuros profesores de ciencias se convenzan de que los conocimientos «ciertos» que ellos creen presentar con claridad en clase no van a ser comprendidos por sus estudiantes y de que las *evidencias experimentales* han de ser construidas laboriosamente no sólo con instrumentos y medidas, sino mediante argumentaciones elaboradas a partir de las dudas y de los debates en los que los alumnos se impliquen realmente. Al comprender mejor la complejidad del aula de ciencias y la gran cantidad de factores que concurren en el proceso de generar evidencias experimentales convincentes, serán más capaces de diseñar una buena secuencia de enseñanza y aprendizaje (Méheut y Psillos, 2004) y de colaborar con profesores de otras disciplinas, como la filosofía y las ciencias sociales.

3.1. Justificación y objetivos de la investigación

Los licenciados en ciencia que asisten a los cursos de CAP han aprendido ciencias, pero no han reflexionado sobre el proceso social en el cual se encuentra inmersa la investigación científica que se lleva a cabo en los labo-

ratorios. Les cuesta comprender que en las aulas actuales, en las cuales se pretende *enseñar ciencias a toda la población*, los intereses y motivaciones de los alumnos son muy diferentes de los que se dieron en otros tiempos no muy lejanos, en los cuales estudiaban ciencias muy pocas personas. Y, además, les cuesta convencerse de que la enseñanza obligatoria ha de ser abordada por todos los profesores del centro escolar, los cuales, a pesar de ser especialistas de disciplinas diferentes, deben coordinarse para ayudar a los estudiantes a interpretar situaciones reales.

La necesidad de implicar a los alumnos en sus propios aprendizajes se ha ido estableciendo como consecuencia del compromiso de hacerlos capaces de aplicar lo que aprenden puesto que, en la era de la información, no tiene sentido una enseñanza enciclopédica de conceptos sino que éstos han de relacionarse con el problema (que siempre es complejo) que los hizo surgir y con los criterios que lo hacen valioso en determinadas circunstancias. Por ello, es necesario plantear situaciones especialmente relevantes para plantear preguntas interesantes que no tienen una respuesta única sino que requieren finalmente tomar una decisión sostenida por argumentos bien fundamentados.

En este contexto y con el objetivo de trabajar la complejidad de los procesos que constituyen la actividad científica, se propuso un estudio de caso: el debate entre Pasteur y Pouchet acerca de la generación espontánea de los seres vivos, que los alumnos desconocen. La actividad se aplicó a las clases de didáctica de las ciencias (CAP) y también a la de filosofía de la ciencia (licenciatura de Filosofía y de Humanidades). Nos interesaba explorar cuáles eran los resultados de esta actividad y valorar su aportación a la formación inicial de los profesores de ciencias, para utilizarla de nuevo con mayor conocimiento de causa.

3.2. Diseño y metodología de la investigación

Siguiendo las propuestas de Vallverdú (2003), se ha diseñado un esquema en el cual los alumnos han de representar los elementos que han sido considerados esenciales para el análisis de una polémica científica: la identificación de los agentes que intervienen, de los diferentes tipos de relación entre ellos y de los principales argumentos presentes. Como nos interesa promover la discusión, este esquema ha de ser utilizado de forma dinámica, de manera que las diferentes interpretaciones que sin duda aparecerán en los diferentes grupos de alumnos permitan la discusión sin que sea necesario llegar a una sola versión de los hechos sobre los cuales aparecieron discrepancias.

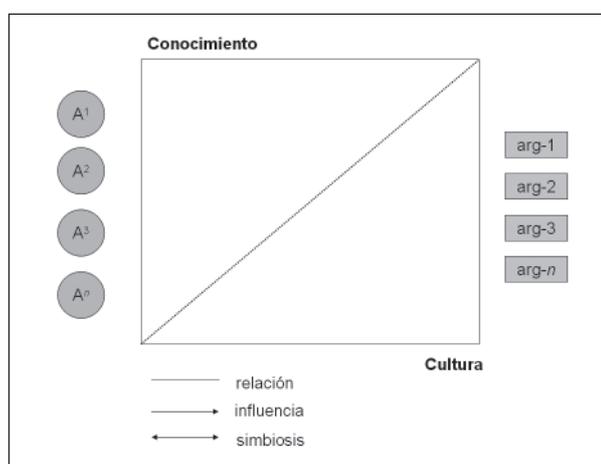
En este esquema (ver figura 1) se utilizan los símbolos siguientes:

- a) Los agentes se representan en forma de círculos.
- b) Los principales argumentos presentes se representan en forma de cuadrados.
- c) Los diversos tipos de contactos entre los diversos elementos pueden ser:

- (i) relación o contacto causal entre los elementos, que se representan por una línea recta que los une;
- (ii) influencia, si se establece una relación unívoca entre los dos elementos y se representa por una flecha;
- (iii) simbiosis, cuando ambos agentes se influyen mutuamente y se representa por un flecha doble.

Todos estos elementos se colocan en una matriz principal que tiene dos polos opuestos, conocimiento académico frente a conocimiento social, separados por una línea de puntos que permite la flexibilidad en la situación de los agentes y los argumentos dentro de esta matriz, tal como se muestra en la figura.

Figura 1
Esquema básico del Modelo de Análisis de la Dinámica Científica (MADiC).



Mediante este esquema los estudiantes se sienten invitados a identificar a los agentes y sus argumentos, junto con el tipo de relación entre todos ellos y su situación dentro de un mapa general de práctica científica. Todo esto les ayuda a incorporar de manera significativa la información sobre un suceso relativo a la práctica científica real y, con esto, pueden participar en un debate mediante el cual comprenden la complejidad y riqueza de la actividad científica.

Una vez explicado el modelo a los alumnos, la finalidad de la actividad consistía en que los alumnos identificaran las informaciones de un texto en el cual la figura de Louis Pasteur se presenta desde una perspectiva algo diferente de la que es habitual en los libros de texto que ellos habían estudiado en el bachillerato y les ofrecemos el MADiC para ayudarles en la lectura, pues creemos que el esfuerzo por identificar agentes, relaciones y argumentos puede contribuir a que la lectura sea significativa.

Se elaboraron tres tipos de materiales pedagógicos para el alumnado: en primer lugar, un breve estudio de caso histórico que contiene las claves del debate sobre la generación espontánea entre Louis Pasteur y Felix Pouchet,

(ver el texto en el apéndice); en segundo lugar, el modelo de análisis que se presentó en el apartado 2 del presente artículo y que se utilizó como pauta de lectura; y, en tercer lugar, se les pidió que respondieran el siguiente cuestionario (6 preguntas):

1. ¿Cuál es la idea más importante del texto, a tu juicio, y por qué?
2. ¿Cuántos agentes o grupos sociales aparecen en el texto?
3. ¿Cuáles son los diferentes factores que intervienen en esta polémica?
4. ¿Cuáles son los impactos absolutos y relativos para cada grupo?
5. ¿Crees que el caso expuesto es un buen ejemplo de lo que es la práctica científica? Justifícalo.
6. ¿Qué podrías afirmar en referencia a la generación espontánea de la vida, a partir de esta polémica?

Los datos que obtenemos mediante la aplicación de este instrumento se analizan desde un punto de vista cualitativo. No pretendemos llegar a identificar la manera de pensar de los estudiantes sino la ayuda que les proporciona el instrumento para consolidar sus respuestas a las seis preguntas que se les había ofrecido anteriormente para guiar su propia reflexión, al tiempo que se promovía su pensamiento crítico sobre el caso. Los profesores elaboramos también nuestro propio esquema para poder contrastarlo con el de los estudiantes.

Los tres grupos fueron los siguientes

CÓDIGO	ASIGNATURA	ÁREA	N.º ALUMNOS	ENTORNO DOCENTE
G1	CAP	Didáctica de Física y Química	5	Presencial
G2	Historia del pensamiento filosófico y científico	Humanidades	25	Bimodal
G3	Pensamiento y computación	Filosofía de la Ciencia - Inter-campus	20	Virtual

G1. Alumnos de ciencias que cursan la asignatura «Didáctica de las Ciencias» del CAP en el cuarto curso de su licenciatura o que ya son licenciados. Estos alumnos realizaron la actividad de modo presencial.

G2. Alumnos de primer ciclo (segundo curso) de Humanidades, en un entorno bimodal (que alterna a partes iguales docencia tanto presencial como virtual).

G3. Alumnos de segundo ciclo (tercer y cuarto curso) de diversas áreas, especialmente técnicas (ingenierías e informática), que cursaban una asignatura «Pensamiento y computación», de libre elección en un entorno virtual.

Nuestras preguntas de investigación fueron las siguientes.

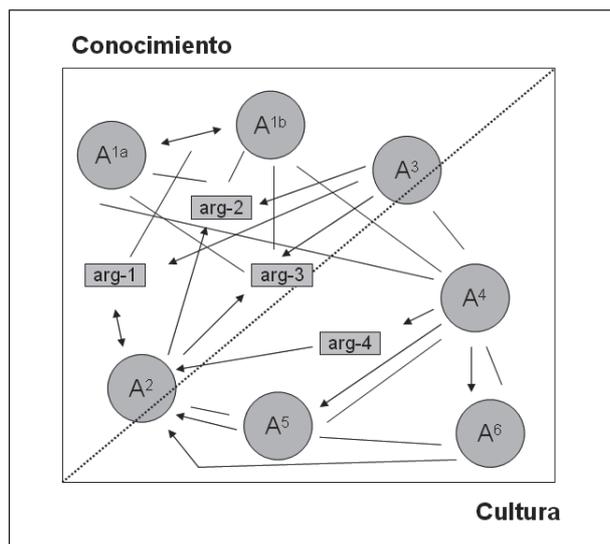
1. ¿Les resulta útil el uso del modelo teórico filosófico MADiC para comprender el contenido del texto?
2. ¿Existen similitudes o diferencias en las respuestas de los 3 grupos que puedan atribuirse a sus conocimientos previos?
3. ¿Existen divergencias en función del modo de implementación de la actividad (*Presencial-Bimodal-Virtual*)?
4. ¿Se consigue generar pensamiento crítico en los estudiantes y ampliar así sus conocimientos? (Valoración global de la actividad)

Se facilitó a los estudiantes el texto en el cual se narraba este caso histórico. Se empieza por recordar la explicación que muchos darían de la aparición de larvas de mosca en la carne descompuesta. Tras citar el uso pionero que Leeuwenhoek (1632-1723) hizo del microscopio, a través del cual observó por primera vez «animáculos» en el marco de las dudas sobre la emergencia de la vida, se planteó a continuación uno de los momentos clave del siglo XIX, en el que se discutió con vehemencia si era posible que se generara de manera espontánea. Se contextualiza el caso a estudiar en la Francia de la segunda mitad del siglo XIX. En este período encontramos una polémica entre dos grandes científicos, Felix Pouchet, naturalista, defendiendo que la vida surge de forma espontánea en cualquier lugar donde se den las condiciones necesarias, y el joven químico Louis Pasteur, quien defiende el caso contrario, es decir, que la vida no puede surgir de forma espontánea. Para ello, ambos diseñan sus propios experimentos para defender sus posiciones divergentes. Pero estos experimentos están plagados de errores metodológicos; por ejemplo, ambos científicos trabajaban con infusiones nutritivas diferentes, que no intercambiaron y que les funcionaban de acuerdo con sus conclusiones. La polémica se mantuvo durante años, cosa que muestra que la respuesta a una pregunta científica puede ser realizada desde múltiples perspectivas sujetas a limitaciones metodológicas y a sesgos diversos. Finalmente, dos comisiones de la Académie des Sciences de París decidieron que Pasteur tenía razón y que no era posible la generación espontánea de vida. Con ello creyeron desmontar también las ideas evolucionistas que el darwinista Pouchet defendía con sus tesis espontaneístas. Pouchet se retiró del debate, puesto que comprendió que las comisiones eran partidarias de Pasteur y no consideraban seriamente sus pruebas, que no corroboraban las de Pasteur: en la infusión de Pouchet realmente aparecía vida después de haber sido esterilizada, porque los organismos que contenía no morían en las condiciones que ambos científicos creían suficientes para ello (Collins y Pinch, 1996). A pesar de que los argumentos contrarios a Pasteur eran importantes y procedían de campos científicos emergentes (la química, el darwinismo...), la historia posterior, en los libros de texto, no ha tenido en cuenta esta polémica y se ha limitado a presentar el experimento de Pasteur como un experimento crucial que demostró de una vez por todas que la vida no se genera espontáneamente.

Se pidió a los estudiantes que leyeran el texto y respondieran y entregaran sus respuestas escritas. Debían ayudarse con el MADiC como pauta de lectura. Posteriormente les pedimos que representaran la polémica mediante este esquema. Mostramos en la figura 2 el esquema que realizaron, que hemos utilizado como una referencia más al valorar la utilidad docente del ejercicio. El esquema fue elaborado de manera conjunta entre todos los alumnos, modificando e incorporando las innovaciones que, como grupo, acordaban de forma oral bajo la coordinación del tutor.

Figura 2

Esquema realizado por los alumnos siguiendo el modelo MADiC.



Como agentes podemos localizar a:

A^{1a, 1b}: los dos químicos directamente implicados: Pasteur (1a) y Pouchet (1b).

A²: la Académie des Sciences.

A³: químicos y biólogos coetáneos.

A⁴: grupos religiosos.

A⁵: sociedad civil (atenta a los avances y el debate).

A⁶: políticos.

b) Estos agentes han defendido o debatido en torno a diversos argumentos:

arg-1: la generación de la vida puede ser espontánea.

arg-2: los experimentos están/no están bien realizados.

arg-3: la respuesta al arg-1 da alas/frena la perspectiva evolucionista.

arg-4: el evolucionismo es inmoral.

Las respuestas de los alumnos, así como el promedio conceptual de sus esquemas MADiC, fueron los datos de nuestra investigación, y su análisis nos proporcionó los criterios cualitativos de valoración de la actividad que queríamos obtener. El modo operativo con respecto a la selección de un esquema-promedio de la actividad conjunta pasó por identificar los argumentos más repetidos por la mayor parte de los alumnos, al tiempo que se seleccionaban los mejor argumentados, con independencia en este último caso del criterio de distribución amplia de los mismos.

4. RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD Y SU INTERPRETACIÓN

Los resultados ofrecen un panorama interesante sobre la recepción, uso y comprensión del modelo MADiC por parte de estudiantes de diversas especialidades y nivel de formación. Desde nuestro punto de vista, estos resultados fueron satisfactorios, puesto que permitieron que los alumnos asumieran conscientemente la diversa cantidad de agentes y relaciones entre los mismos que intervienen en la actividad científica. No era nuestra intención llegar a identificar una única manera de analizar la polémica, sino más bien ofrecer a los alumnos un instrumento que les permitiera concretar críticamente sus ideas y discutir las frente a otros posibles esquemas realizados por otros alumnos. Presentamos en la tabla 2 los aspectos más relevantes de las discusiones, agrupadas en las respuestas a las seis preguntas que se les propusieron.

En efecto, la dinámica de las clases se reflejó de manera (dispar) en los esquemas de los alumnos, permitiendo constatar diferencias significativas entre los distintos grupos. Esto no resta valor al modelo sino que, al contrario, pone en evidencia la influencia de la formación previa en el desarrollo personal de un modelo conceptual de ciencia.

* Los alumnos de CAP, por ejemplo, manifestaron un gran rechazo hacia el texto filosófico (el MADiC) y fue necesario dedicar una sesión de clase a leerlo con detenimiento, discutirlo y llegar a valorar sus aportaciones; sólo uno de los estudiantes, que había realizado estudios de filosofía de las ciencias, pareció comprenderlo de manera autónoma. Pudimos constatar que, sin la ayuda del MADiC, los estudiantes de ciencias interpretaron la polémica de manera muy pobre, poniéndose a favor de Pasteur sin detenerse en los detalles que podían desconcertarles, como por ejemplo la negativa a experimentar con la misma infusión que utilizaba Pouchet. Su fe en el progreso de una ciencia que, para ellos, quedaba representada por el vencedor Pasteur (que defendía lo que hoy día es una verdad científica), les impedía ver nada más. Sin embargo, una vez discutido el modelo en clase el interés aumentó y se suscitó un debate que enriqueció el modelo de ciencia que los estudiantes habían elaborado en sus estudios científicos previos; es más, los estudiantes fueron conscientes de que estaban utilizando unas determinadas ideas sobre ciencia que no habían contrastado y que no tenían en cuenta los factores que la caracterizan como actividad humana que se realiza en un determinado contexto que se rige por un conjunto de valores sociales de gran importancia para que los resultados sean considerados convincentes. A partir de este momento, una segunda lectura del texto les sugirió muchas más ideas, por más que nadie se refirió a las ideas de Pasteur sobre Darwin ni tuvo en cuenta factores que, como la edad de Pouchet y su origen provinciano, podían haber jugado en su contra.

En las clases posteriores de Didáctica de las Ciencias, los estudiantes se refirieron a menudo a esta polémica, especialmente cuando se consideraban los factores que contribuían a que los estudiantes de ESO y de bachillerato de los centros escolares donde los alumnos del CAP realizaban prácticas interpretaran de manera precipitada sus resultados experimentales sin aprovechar suficientemente sus errores ni argumentar sobre lo que para ellos eran evidencias experimentales.

Tabla 2
Las respuestas de los estudiantes a las seis preguntas.

PREG.	G1	G2	G3
1	<ul style="list-style-type: none"> - Debate generación espontánea. - Evolucionismo. - Diseño experimental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Más riguroso, aunque es fuente de conflictos. - Voluntad hombre para prevalecer su individualidad. - La razón busca camino a través de la ciencia. - Participación social en la ciencia. - Vida de la nada. - Cambio conocimiento = reajuste social. - Imparcialidad frena avance c. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretaciones divergentes ante mismos hechos → no verdad absoluta. - Relación ciencia-sociedad x2. - Modelo funcionamiento de ciencia. - Teorías y conocimiento no son inamovibles. - Inquietud en ciencia por preguntas religiosas. - Progreso científico y debate moral. - Generación de la vida
2	<ul style="list-style-type: none"> - 10c (por disciplinas, especialidades y personajes). 	<ul style="list-style-type: none"> - 5 (2c + 3 social: pol, rel, sc). x2 - Cient + extracientíficos. - Científicos y emperador x2. - Presentes (c) y ausentes (sc). - 3: c, sc, comunicadores. 	<ul style="list-style-type: none"> - 5 (4 c: ev/c/ + 1 social: sc) x4. - 5 (2 c + 3 sociales: pol, sc, rel) x3. - 5 (4c + 1 pol). - 10: c, cs, pol, rel, ev, prensa, empresas.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Debates técnicos. - Debates morales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Divergencias entre científicos x3. - Tradición modernidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Generación espontánea. - Escisión conocimiento-cultura x2. - Marcos de pensamiento: políticos, científicos y religiosos.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Debate ciencia-sociedad 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo, espacio, valores, ideología, educación, posición social, emociones.... 	<ul style="list-style-type: none"> - A1-A5. - Ciclo ciencia-sociedad. - Influencia debates éticos.
5	<ul style="list-style-type: none"> - Sí 	<ul style="list-style-type: none"> - Sí, bueno y malo, depende. - No, porque es más enemistad y orgullo que ciencia x3. - Sí, aunque es más enemistad y orgullo que ciencia. - Sí x3. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contraviene visión estándar (verdad) x2. - Ciencia nunca aislada x2. - Sí (pero filosofía no debe influir la ciencia) x 5 → sí, asumiendo relaciones ciencia-sociedad. - No: no fueron rigurosos x4.
6	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad debate científico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nada es absoluto. - Cambios en concepciones. - Unificación necesaria del conocimiento. - Generación espontánea, en el contexto histórico, era debatible. - Sí válido desde el Big Bang. x2. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados nunca concluyentes (históricamente válidas). - Agentes determinan valor resultados x2. - Vida es química.

Abreviaturas: sc (sociedad civil), pol (políticos), rel (religión), ev (evaluadores científicos), c (científicos), x seguido de un número indica la cantidad de alumnos que emitieron la misma opinión.

* Los alumnos de ciencias humanas (humanidades) respondieron de forma más positiva al valor de un modelo teórico de dinámica científica, puesto que están acostumbrados a recibir tal tipo de datos y a utilizarlos en sus prácticas diarias. Si bien aceptaron el valor del modelo de dinámica científica propuesto, mostraron una mayor dificultad tanto para su comprensión como para su aplicación al caso histórico; es posible que esto fuera debido a que son los alumnos más jóvenes de la muestra.

* Las respuestas de los alumnos de filosofía fueron las menos discrepantes, puesto que habían estado trabajando modelos de dinámica científica durante el semestre en el que se les planteó la actividad; sin embargo, esta unanimidad podía deberse a un conocimiento superficial de las ciencias, a cuyos contenidos daban poco valor. De

hecho, se pudo advertir el cambio contrario al experimentado por los alumnos de ciencias: si en un primer momento fueron reacios a un caso histórico sobre un aspecto científico (muchas veces excluyen de su campo de reflexión todo lo que no sea «de letras puras»), al ser reforzado por el modelo filosófico que entendían bien, terminaron por disfrutar de la lectura del caso histórico, provocando incluso de forma autónoma un debate posterior a la realización de la actividad escrita centrado ya en los aspectos científicos.

* Es fácil comprobar que en la representación que realizó previamente el grupo de profesores (Figura 2), la atribución de agentes, relaciones y argumentos es más abstracta y elaborada por lo que respecta a la profundidad y fidelidad de las relaciones establecidas. Sin em-

bargo, tal nivel de desarrollo es posible debido a: (i) un mayor conocimiento del caso, (ii) una familiaridad superior con el modelo teórico, sin que esto conlleve una divergencia significativa en las líneas básicas de aplicación del mismo.

* En resumen: todos los grupos coinciden en que una de las lecciones a extraer del caso es la divergencia racional entre grupos de científicos. En todos los casos el instrumento/esquema MADiC resultó útil para orientar la discusión y concretarla. Se dieron cuenta de que muchas veces la discrepancia es debida a valores no epistémicos procedentes del mundo social (Delgado y Vallverdú, 2007). Sin embargo, tal influencia social es percibida como positiva para el grupo G2, mientras que el G3 le atribuye un matiz negativo; así, los alumnos G2, por ejemplo, analizan el caso focalizando su interés en las relaciones entre ciencia y sociedad, algo que también contemplan los del G3, si bien como algo más bien anecdótico y nocivo para el buen funcionamiento de la ciencia. Los alumnos del G1, por otro lado, que tuvieron una formación científica más extensa, fueron capaces de responder de manera sintética a los interrogantes del caso, dedicando su mayor interés y atención hacia los detalles científicos del caso sin olvidar, sin embargo, los elementos sociales, culturales y religiosos del mismo pero considerándolos de forma global e imprecisa.

Por lo que respecta al análisis de los agentes participantes, si bien todos los grupos recurren a un número similar de agentes (en torno a 5), los alumnos del G2 tienden a incluir proporcionalmente un mayor número de agentes sociales que científicos, cosa que los alumnos del G3 realizan de manera inversa. En el caso de los del G1, los alumnos implicaron un mayor número de agentes en lo científico (unos 10 de media).

A modo de ejemplo, mostramos los resultados de un alumno CAP (G1), según lo muestra el esquema que construyó:

a) Este alumno identificó 10 agentes:

- A1: Lavoisier
- A2: Pouchet y Pasteur
- A3: Leeuwenhoek
- A4: Médicos
- A5: Biólogos
- A6: École Normal de Paris
- A7: Darwin
- A8: Académie des Sciences
- A9: Comisiones de París
- A10: Fieles y dirigentes religiosos.

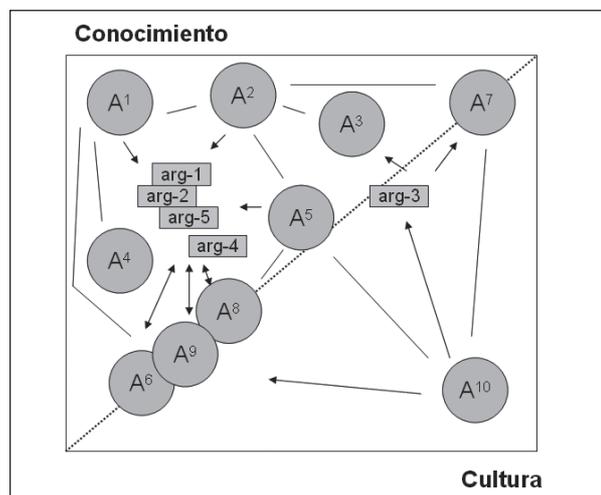
b) Consideró 5 argumentos:

- Arg-1: fermentación y levaduras: ¿la fermentación produce levaduras o las levaduras producen fermentación?
- Arg-2: levadura y microscopios: ¿Son seres vivos lo que vemos con el microscopio?
- Arg-3: vitalismo frente a evolucionismo: ¿La vida es química y por lo tanto «emergente»?
- Arg-4: imparcialidad: ¿Con qué criterios se juzga una evidencia experimental?
- Arg-5: esterilización: ¿Se pone en duda su eficacia?

La representación que elaboró fue la siguiente (Figura 3)

Figura 3

Esquema final del alumno del CAP tras la utilización del modelo MADiC.



Podemos ver que, como miembro del G1, realizó un mayor énfasis en los elementos tecnocientíficos del caso, si bien consideró la existencia de múltiples debates paralelos (microscopía, biología, medicina, química...) y cómo estos determinaron el fin del debate.

Según el esquema mostrado, coexisten al mismo tiempo diversos argumentos que se interrelacionan entre sí de modos distintos y atravesando las difusas fronteras entre ciencia, o conocimiento, y cultura, o sociedad. El debate científico sobre unos hechos muy precisos (la generación o no de vida espontánea en condiciones experimentales controladas) implica un debate de fondo científico no demasiado claro por aquellas fechas (el evolucionismo y el origen de la vida). Lo que sucede es que todos estos agentes y todos estos argumentos modifican la forma de desarrollar el conocimiento científico, lo que nos permite explicar con posterioridad los motivos de la victoria de un científico, Pasteur, que vence con pruebas no tan absolutas como parece y que se erige como el adalid en el laboratorio de la moral existente en la época, lo cual le otorga una ventaja que su contrincante, Pouchet, no llegará nunca a gozar. Estamos ante un complejo ciclo que permite que, en niveles distintos, la actividad científica sea compartida.

5. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Empezamos por presentar las conclusiones en relación con las cuatro preguntas que nos formulamos. A continuación discutiremos las ideas que esta investigación nos ha sugerido para futuras actuaciones de formación del profesorado de ciencias:

I. ¿Les resulta útil el uso del modelo teórico filosófico MADiC para comprender el contenido del texto?

Respecto a la primera pregunta, hemos constatado el rechazo inicial de los alumnos del grupo G1 respecto al Modelo de Análisis de la Dinámica Científica, debido a que les resultó difícil comprenderlo y, además, lo consideraron inútil: para ellos, en la creación científica no intervenían tantos agentes. Sin embargo, las posibilidades de representación de la controversia acabó por convencerles de su utilidad. Así, podemos considerar que el MADiC les permitió, a todos, relacionar aspectos múltiples de la actividad científica, lo que no sólo mejoró su comprensión del método científico sino que también les facilitó la comprensión de las dinámicas reales que intervienen en la generación de conocimiento, sin dramatismos epistémicos ni fugas conceptuales de la responsabilidad para con el propio conocimiento. Podríamos afirmar que este modelo y las posibilidades de representar la controversia permitió a los alumnos considerar de forma más real el funcionamiento de la ciencia. Para el grupo G2, en cambio, el modelo les pareció útil puesto que les permitía desde una perspectiva filosófica típica del ámbito de las humanidades aproximarse al siempre complejo, para ellos, mundo de la ciencia o la historia de la misma. El G3, al proceder en su mayor parte de carreras de ciencias técnicas o aplicadas, consideraron favorablemente el modelo (una herramienta práctica y clara para el análisis conceptual de un conjunto de hechos), si bien comentaron en su mayor parte la necesidad de profundizar en el uso de este tipo de herramientas filosóficas, a las cuales no están acostumbrados.

II. ¿Existen similitudes o diferencias en las respuestas de los tres grupos que puedan atribuirse a sus conocimientos previos?

Respecto a la segunda pregunta, debemos reconocer que existen más similitudes que diferencias en las respuestas entre los tres grupos G1, G2 y G3, si bien la amplitud y precisión en las respuestas (con mayor énfasis en el tema científico o en el entorno social) dependen de su especialización. Las mayores diferencias se produjeron entre los grupos G1 y G2, afincados en los extremos de la formación científica o humanística, respectivamente. En el caso del G3, su formación práctica, junto con el contexto filosófico de la asignatura que estaban cursando, condujo a que este grupo hiciera de bisagra conceptual entre los dos primeros, al mantener actitudes próximas a ambos.

Por ello, consideramos que la formación académica de los alumnos influye de forma determinante no tan sólo en la comprensión de los fenómenos analizados sino también en la capacidad del uso de los recursos conceptuales facilitados por los docentes.

III. ¿Existen divergencias en función del modo de implementación de la actividad (Presencial-Bimodal-Virtual)?

Respecto a la tercera pregunta, no hemos encontrado diferencias en los resultados que remitan a los entornos (presencial, bimodal, virtual) en los cuales se desarrollaron las prácticas, a no ser las presentaciones de los resultados, más claras, ordenadas y precisas en los alumnos que tenían que entregar sus resultados en formato

electrónico. Esto nos sugiere que la necesidad de introducir los datos en un formato electrónico los obliga a considerar sus ideas de manera más detenida y precisa, algo que no sucede de manera tan generalizada cuando las respuestas son realizadas a mano o incluso debatidas de forma oral. Estas ideas refuerzan investigaciones anteriores centradas en la enseñanza a través de sistemas computacionales (Vallverdú, 2007), las cuales requieren de una elaboración más detallada, a la par que abierta, de los resultados de los procesos formativos.

IV. Valoración global de la actividad. ¿Se consigue generar pensamiento crítico en los estudiantes y ampliar así sus conocimientos?

La introducción de este instrumento MADiC en las aulas universitarias permite a los alumnos identificar nuevos elementos de la actividad científica que se han de tener en cuenta, porque son mucho más adecuados para sostener una actividad docente que responda a las demandas actuales (la adquisición de competencias de pensamiento científico, la capacidad de aplicar los conocimientos científicos, la comprensión de los principales problemas ambientales y de salud) y a las condiciones que actualmente se consideran necesarias para que tenga lugar un proceso correcto de enseñanza y de aprendizaje (la implicación personal manifestada en la participación en clase, en el discurso de aula, en un ambiente de actividad científica cooperativa).

Consideramos que la actividad es muy instructiva y, si bien parece representar en un primer momento un alto en las clases «normales», tras la realización de la actividad los alumnos demuestran una mayor comprensión de los procesos de adquisición de conocimiento, integrando informaciones procedentes de diversos ámbitos del conocimiento (ciencia, historia, moral) y desarrollando una actitud positiva aunque crítica con la ciencia.

Ideas a considerar

En este artículo hemos argumentado la validez del Modelo de Análisis de Dinámica Científica (MADiC) para analizar controversias y ponderar, así, el papel de los compromisos o estereotipos sociales, del azar y del error en la práctica científica al mismo tiempo que las razones de su aparición y los modos de evitarlos o subsanarlos. Con ello, mostramos que la práctica científica humana debería estar basada en la humildad, ya que admitir la posibilidad de error hace necesario escuchar las opiniones de otros y mantener un control constante del propio trabajo y de la coherencia de las propias ideas. Esta concepción de ciencia es muy diferente de otra que destaca en primer lugar la prepotencia de un método exclusivo que se hace, a la vez, excluyente.

Esta exclusión es precisamente lo que queríamos evitar. La polémica que se ha presentado aparentemente no favorece a Pasteur, pero es debido a que presentamos una ciencia en la cual el error no es posible... y esta ciencia es inexistente. Quizá por ello los estudiantes no se identifican con ella. Los estudiantes de ciencias se enfrentarán continuamente a sus errores, algo que puede desanimarles o desorientarles

si han recibido un modelo teórico histórico sobre la práctica científica en la que tan sólo aparecen aciertos, éxitos rampantes y conclusiones claras. Hemos comprobado que, al disponer de un modelo epistemológico dinámico de las ciencias, nuestros alumnos pueden comprender mejor por qué el laboratorio es un lugar donde los científicos aprenden mediante el error y que la producción de los datos pasa por diversos filtros antes de ser considerada válida. Con ello, pueden llegar a aceptar mejor sus propias dificultades e incluso fracasos en sus estudios de ciencias.

Se ha podido constatar que los estudiantes de ciencias se guían por el «modelo de ciencia» que reciben durante su formación en las facultades universitarias, que es muy diferente del que se deriva de este análisis y que les hace ignorar los aspectos de la actividad científica que no están de acuerdo con él. Nos parece muy interesante haber elaborado una versión de un Modelo de Análisis de Controversias Científicas que es útil para ser una actividad docente destinada a proporcionar este nuevo modelo de ciencia que es adecuado a los requisitos de la educación científica que ahora se necesita.

La experiencia realizada ha mostrado también puntos débiles que deberíamos corregir en el futuro. Los estudiantes del CAP de Física y Química se encuentran muy alejados de la reflexión filosófica, que consideran irrelevante para su formación como científicos y como profesores. Lo mismo ocurre con los estudiantes de Humanidades, que tienen dificultades para implicarse en el análisis pormenorizado de una situación real y, por lo tanto, compleja. Por ello, consideramos que se ha de dedicar más tiempo de clase a la preparación de la actividad y a la discusión de los resultados; también sería conveniente organizar una sesión de discusión conjunta con los estudiantes de humanidades y de ciencias para ponderar las opiniones de unos y otros respecto a la posible convergencia de estas asignaturas alrededor de temas CTS en la enseñanza secundaria. Con ello haríamos una aportación muy necesaria a la formación de profesores en activo.

Por todo ello, valoramos positivamente los resultados de este primer intento de aplicación de un instrumento que

favorece la reflexión en paralelo, en las clases de filosofía y en las clases de didáctica de las ciencias del CAP, sobre un caso de «actividad científica» histórico y relevante desde la perspectiva del MADiC. El trabajo conjunto (entre un profesor de Filosofía de la Ciencia y una profesora de Didáctica de las Ciencias) nos ha abierto nuevas perspectivas de trabajo que intentaremos consolidar en el futuro, haciéndolas extensivas a los profesores de ciencias y de letras de secundaria.

NOTAS

1. La didactología, como proponen llamarla Estany e Izquierdo (2001).
2. A su vez, esta división remite a la idea de las *dos culturas* pronunciada por C.P. Snow: la científica y la tradicional (fundamentalmente, literaria), o también denominada 'humanística'. Snow, C.P. (1956) «The Two Cultures», *New Statesman & Nation*, vol. LII (6 de octubre), Inglaterra.
3. R. Carson y su poética aunque demoledora obra, *Silent Spring* (1962), constituyen el punto de inflexión hacia la participación social *directa* en la ciencia.
4. Entre los últimos tipos de valores considerados tradicionalmente como no epistémicos pero que actualmente desarrollan un papel fundamental en los procesos cognitivos de los científicos en acción, encontramos los emocionales. Remitimos a la crucial aportación al respecto de Thagard, P. (2006) *Hot Thought: Mechanisms and Applications of Emotional Reason*, Cambridge (MA): MIT Press. Para un desarrollo epistémico computacional de este innovador modelo conceptual, remitimos a la reciente publicación de Vallverdú, J. y Casacuberta, D. (2008). «The Panic Room. On Synthetic Emotions» in *Current Issues in Computing and Philosophy*, pp. 15-43, The Netherlands: IOS Press.
5. El CAP (Certificado de Aptitud Pedagógica) es el único título universitario que se mantiene desde antes de la Ley General de Educación (en su última versión, la *Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*).

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos subvencionados por el Ministerio de Educación MCI [FFI2008-01559/FISO] i SEJ 2006-15589-C02-02

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A., VÁZQUEZ, A.A., MANASSERO, M.A. y ACEVEDO, P. (2003). Creencias sobre la tecnología y sus relaciones con la ciencia, *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(4), pp. 1-24.
- ASTOLFI, J.P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*, París: ESF.
- BACON, F. (1620). *Novum Organum*.
- BERKSON, W. y WETTERSEN (1984). *Learning from Error: Kart Popper's Psychology of Learning*, La Salle, IL: Open Court Publishing Company.
- BONIL, J. y PUJOL, R.M. (2008). El paradigma de la complejidad, un marco de referencia para el diseño de un instrumento de evaluación de programas de formación inicial de profesorado, *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(1), pp. 5-22.
- BRANTE, T. y FULLER, S. (eds.) (1993). *Controversial Science (From Content to Contention)*, USA: State University of NY.
- COLLINS, H. y PINCH, T. (1996). *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*, Barcelona: Crítica.

- DELGADO, M. y VALLVERDÚ, J. (2007). «Valores en controversias: la investigación con células madre», *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 9(3), pp. 9-31.
- ENGELHARDT, H.T. Jr. y CAPLAN, A.L. (eds.) (1987). *Scientific Controversies (Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology)*, USA: Cambridge University Press.
- ESTANY, A. (1990). *Modelos de cambio científico*, Barcelona: Crítica.
- ESTANY, A. e IZQUIERDO, M. (2001). La didactología: una ciencia de diseño, *Endoxa*, 14, pp. 13-34.
- GIERE, R. (ed.) (1992). *Cognitive models of science (Minnesota Studies in the Philosophy of Science)*, 15, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- IZQUIERDO, M., SANMARTÍ, N., ESPINET, M., GARCÍA, M.P. y PUJOL, R.M. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, pp. 79-92.
- IZQUIERDO, M. (2000). Reflexions a l'entorn de la nova cultura docent, *Educar*, 27, pp. 181-204.
- IZQUIERDO, M. y ADÚRIZ, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science, *Science & Education*, 12, pp. 23- 47.
- IZQUIERDO, M., QUINTANILLA, M., VALLVERDÚ, J. y MERINO, C. (2007). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias, en M. Quintanilla (ed.). *Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado*, 1, pp. 13-36. Arrayán: Santiago de Chile.
- JASANOFF, S. (ed.) (2004). *States of Knowledge: The Co-Production of Science and Social Order*, 31(3), pp. 461-467.
- KIPNIS, N. (2001). Scientific Controversies in Teaching Science: The Case of Volta, *Science and Education* (10: 1-2): pp. 33-49.
- KLEINMANN, D.L., K. A. CLOUD-HANSEN, C. MATTA y J. HANDELSMAN (eds.) (2008). 2 vol. *Controversies in Science and Technology* (recientemente ha aparecido en el 2008 el «Volume 2: From Climate to Chromosomes»), INC, Publishers.
- KOHN, A. (1988). *Falsos profetas. Fraudes y errores en la ciencia*, Madrid: Pirámide.
- KUHN, TH.S. (1962). *The Structure of Scientific revolutions*, Chicago, IL: Chicago University Press.
- LAKATOS, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programs, en *Criticism and the Growth of Knowledge*, Lakatos, I. y Musgrave, A. (eds.) Cambridge: Cambridge University Press.
- LAUDAN, L. (1978). *Progress and Its Problems. Towards a Theory of Scientific Growth*. California: University of California Press.
- MARTÍN, M. (2003). Metáforas y simulaciones: alternativas para la didáctica y la enseñanza de las ciencias, *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), pp. 1-21.
- MARTÍN, M. (2005). Cultura científica y participación ciudadana: materiales para la educación CTS, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 2(6), pp. 123-135.
- MARTÍN, M. y OSORIO, M. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología: un proyecto para la difusión de la cultura científica, *Revista Iberoamericana de Educación*, 32, pp. 165-210.
- MAYO, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago: The University of Chicago Press.
- MAZUR, A. (1981). *The Dynamics of Technical Controversy*, Washington, DC: Communications Press.
- MÉHEUT, M. y PSILLOS, D. (2004). Teaching - learning sequences: aims and tools for science education research, *Int.J.Sci.Educ*, 26(5), pp. 515-535.
- MEMBIELA, P. (ed.) (2001). *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*, Madrid: Narcea.
- MYERLY, R.C. (1980). Real world of industrial chemistry: serendipity and discovery, *Journal of Chemical Education*, 57(6), pp. 437-438.
- NELKIN, D. (1979). *Controversy: Politics of Technical Decisions*, London: Sage.
- ROSENMAN, M.F. (1988). Serendipity and scientific discovery, *Journal of Creative Behaviour*, 22, pp. 132-138.
- SEIFERT, C., MEYER, D., DAVIDSON, N., PATALANO, A. y YANIV, I. (1994). Demystification of cognitive insight, en Sternberh, R.J. y Davidson, J.E. (eds.). *The Nature of Insight*, Cambridge, MA.: The MIT Press.
- SENOFF, C.V. (1990). The Discovery of [Ru(NH₃)₅N₂]²⁺⁺. A case of serendipity and the scientific method, *Journal of Chemical Education*, 48(5), pp. 382-394.
- VALLVERDÚ, J. (2003). La participación social en el conocimiento, *Intersticios*, 8 (19/2003), pp. 71-88.
- VALLVERDÚ, J. (2005a). ¿Como finalizan las controversias? Un nuevo modelo de análisis: la controvertida historia de la sacarina», *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 5(2), pp. 19-50.
- VALLVERDÚ, J. (2005b). Causalidad y evidencia en controversias científicas: el caso de la sacarina», *Redes*. 11(21), pp. 77-118.
- VALLVERDÚ, J. (2007). Introducing Alife in the classrooms: an Integrative Learning, en Nadia Nedjah (ed.). *Intelligent Educational Machines: Methodologies & Experiences*, 51-76, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA.
- WILLIAMS, R. (2003). *Retooling*, USA:MIT.

[Artículo recibido en agosto de 2008 y aceptado en abril de 2009]

APÉNDICE

Texto : ¿Se genera espontáneamente la vida?

Si se deja un pedazo de carne a la intemperie, pronto aparecen en ella «gusanos» que son, en realidad, larvas de mosca; de la misma manera, alrededor de la fruta dejada al aire libre aparecen pequeños insectos que, como en el caso anterior, se alimentan de ella. Aparentemente, estos organismos se han producido espontáneamente a partir de los alimentos mismos y así se interpretó este fenómeno durante mucho tiempo. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XIX se empezó a dudar de ello y se propusieron nuevos enfoques. La pregunta sobre cómo se generaba la vida originó un debate que tuvo consecuencias muy importantes y que puede considerarse muy representativo de la participación social en el desarrollo del conocimiento.

Debido a la importancia del tema, os sugerimos que participéis en la polémica que se vivió en París hacia 1860 y que intentéis comprender bien los diferentes agentes que intervinieron en él: químicos, médicos, naturalistas, instituciones, la opinión pública...

Los químicos se habían interesado desde siempre por la fermentación provocada por las levaduras y que se manifestaba por una efervescencia violenta. Sin embargo, a finales del siglo XVIII, cuando la química se estructuró como ciencia moderna, Lavoisier demostró que la levadura no se consume en la reacción; por lo tanto, que no interviene en el balance de masas que es esencial para la nueva interpretación del cambio química basada en el cálculo de las masas reaccionantes (las iniciales, las de las sustancias que desaparecen, y las finales, las de las sustancias nuevas). A partir de entonces, las levaduras se estudiaron desde otros ámbitos científicos, hasta que, entre 1858 y 1864, volvieron a suscitar un nuevo interés, al relacionarse con las observaciones de vida microscópica que hacían los médicos y los biólogos.

La vida microscópica había sido observada por primera vez por Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) en Holanda. Utilizó el microscopio que había sido construido recientemente para observar una infusión de heno y observó en ella la aparición de pequeños «animáculos», organismos vivos que eran invisibles a simple vista. ¿Procedían de otros organismos que preexistían en el aire o en el agua o se generaban en la propia infusión? Un siglo más tarde, a medida que la química se ocupaba de los organismos y se desarrollaba la «química orgánica», se fueron definiendo dos maneras diferentes de considerar esta pregunta: la tradicional, que consideraba que la vida y la materia son cosas diferentes; y la moderna, que consideraba que la vida no es más que un cambio químico. Según la primera de ellas (llamada «vitalismo»), no era posible la aparición de vida de manera espontánea, es decir, si no había antes un organismo vivo que se reproducía; según la segunda, podía aparecer vida como resultado de la actividad química de determinados materiales, puesto que, se decía, los organismos están compuestos de los mismos elementos que constituyen la infusión en la que se generan.

En la época que ahora nos interesa, cuando Pasteur, químico, entró de lleno en el estudio de la vida microbiana, las fermentaciones y las levaduras se empezaron a relacionar con las observaciones de vida microscópica que realizaban los médicos y los biólogos. Los médicos buscaban las causas de las enfermedades infecciosas, los biólogos se interesaban por establecer las características de la vida y los químicos relacionaban las enfermedades con las fermentaciones y las levaduras y, a éstas, con la acción de los catalizadores, que intervienen en la reacción sin consumirse. Cuando, a partir de la segunda mitad del siglo XIX, empiezan a observarse organismos microscópicos en la sangre de enfermos infecciosos, el debate sobre su procedencia alcanzó unas proporciones muy notables.

La historia ha retenido los experimentos que realizaron dos científicos, Louis Pasteur y Felix Pouchet, para demostrar dos «verdades» contrapuestas: la no generación espontánea de la vida, según Pasteur, y lo contrario, según Pouchet.

Louis Pasteur tenía 35 años, era químico de formación, acababa de ser nombrado administrador de la prestigiosa «École Normal» de París y era un investigador de fama creciente, amigo del emperador y de ideas conservadoras. Estudiaba las levaduras y las fermentaciones, pero no admitía que se pudieran generar de manera espontánea; tampoco estaba de acuerdo con las ideas de Darwin sobre la aparición de nuevas especies debido a la evolución de los seres vivos. Felix Pouchet era un naturalista y médico de Rouen, de más de sesenta años, de ideas progresistas, darwinista, muy interesado por el origen de la vida; había investigado de manera rigurosa sobre el tema durante más de quince años y, como consecuencia de sus experimentos, consideraba que la vida podía generarse espontáneamente.

El debate empezó cuando, en 1858, Pouchet envió una comunicación a la Academia de Ciencias sobre los «...protoorganismos que nacen de manera espontánea en el aire artificial y en el oxígeno» y Pasteur le respondió diciendo que los experimentos no estaban bien hechos. El debate duró hasta 1864. Vale la pena dedicarle algo de atención, como haremos a continuación.

Ambos investigadores realizaban experimentos que demostraban sus afirmaciones y fueron invitados a llevarlos a cabo frente a una comisión que debía decidir cuál de ellos se ajustaba a una metodología científica y era, por ello, convincente. Pouchet preparaba una infusión de heno con las máximas precauciones para evitar que se contaminara, la hacía hervir hasta 300 °C bajo presión para esterilizarla y la guardaba bien tapada. La infusión se mantenía sin cambios, pero al abrir el recipiente e introducirle aire u oxígeno procedente del clorato de potasio, desprovisto de gérmenes, la infusión se volvía turbia debido a la aparición de organismos. Pasteur preparaba una disolución con sustancias nutritivas tomadas del laboratorio y, por lo demás, trabajaba como Pouchet. Diseñó unos matraces especiales, de cuello largo y curvado, para asegurar que, al introducir aire, no entraba polvo ni organismos que podían estar en suspensión y que podían aportar seres vivos microscópicos.

Uno y otro abrieron sus matraces para que entrara aire en diferentes lugares e incluso en lo alto de una montaña, con resultados divergentes: en la mayoría de los casos, las disoluciones de Pouchet se contaminaron, las de Pasteur, no.

Los dos científicos tuvieron fracasos en sus experimentos, pero los interpretaban de manera diferente, de acuerdo con sus hipótesis de partida. Si aparecía vida en las disoluciones estériles al introducir aire, Pasteur consideraba que no se había trabajado bien, puesto que o bien la disolución o bien el aire que entraba en ella se había contaminado y contenía organismos. Pouchet, en cambio, consideraba que era debido a que el aire permitía la generación de organismos en la disolución estéril. Si, al contrario, no aparecían organismos, Pasteur consideraba que era debido a que se habían eliminado los organismos capaces de reproducirse y Pouchet, en cambio, consideraba que las manipulaciones realizadas para esterilizar el aire lo habían alterado, haciéndolo inútil para desarrollar organismos vivos. Los argumentos de ambos científicos se muestran en la tabla:

Aparece vida en el aire estéril	Hay generación espontánea (Pouchet)	No la hay (Pasteur)
Sí	Queda comprobado	El aire se ha contaminado de nuevo, accidentalmente
No	El aire ha quedado inútil debido a las manipulaciones	Queda comprobado (Pasteur)

Se organizaron dos comisiones, en París, para analizar estos resultados. Sin embargo, sus componentes eran ya favorables a Pasteur, que además pudo exponer sus ideas en debates en la Academia en los que se realizaban sus experimentos científicos de manera abierta a un público amplio. Pouchet solicitó más tiempo para llegar a resultados concluyentes y refinar las argumentaciones, pero Pasteur quería que quedara claro que no podía aparecer vida en un ambiente estéril y se negó a aceptar la prórroga. Finalmente, considerando que los juicios de las comisiones no eran imparciales, Pouchet se retiró del debate.

Si Pouchet hubiera aguantado un poco más, quizá habría ganado el debate: en efecto, su infusión de heno no se esterilizaba en aquellas condiciones experimentales y se habría descubierto que hay formas resistentes de los microorganismos, que es la clave para comprender bien el origen de las infecciones microbianas.

Error and Knowledge: A Philosophical Model for the Didactics of Science

VALLVERDÚ, JORDI¹ e IZQUIERDO, MERCÈ²

¹ Departamento de Filosofía. Universitat Autònoma de Barcelona

² Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universitat Autònoma de Barcelona

jordi.vallverdu@uab.cat.

merce.izquierdo@uab.cat.

Summary

This paper analyses the usefulness of embedding a new science analysis model (MADiC) into the conceptual analysis of the nature of science made by science teachers and, more broadly, to those courses which embody critical thinking about the nature of science. This model is related to aspects of experimental activity which are usually hidden (error, conflicts of interest or the participation of members of the non-scientific community in scientific processes, failures, dead-ends,...) and it shows us how the analysis of all these factors makes possible a better understanding of research and developments and progress within the scientific dynamic.

This paper evaluates the MADiC Model in its application among different groups of students from diverse educational contexts. It also explores its capacity to contribute to the design of the classroom environment in science teaching according to a CTS approach, which calls for the convergence of the different curricular subjects. When taking into account the influence of all these factors in the emergence of knowledge, the science teacher has more resources to collaborate with professors within other areas in order to train people with the criteria and capacity to make decisions. This model combines several social groups (scientists, disseminators of knowledge, civil society) with values (epistemic or those related to *facts*, and non-epistemic or related to *values*). The model is a visual tool that enables the analysis of scientific activity by a wider public. It uses geometrical elements to define or characterize the various groups of agents involved and the relationships established between them: (i) *relation*, some point of contact or link between elements, (ii) *influence*, a unidirectional relationship linking the elements, and (iii) *symbiosis*, a bi-directional relationship wherein both agents benefit mutually.

In order to start with a specific example, we used a historical case: the debate between Louis Pasteur and Felix-Archimède Pouchet about spontaneous generation. Briefly: in 1858 Pouchet began to publish the results of experiments that he claimed proved spontaneous generation could occur. These results implied a natural explanation for the origins of life, without involving any religious factors. Pasteur was opposed to these results. In the end, both did 'the same' experiment: they put microscopic forms of life in solutions in sealed

containers, heated them to temperatures that would kill all forms of life, and then left them to cool, awaiting the growth or lack thereof of life forms. This case study allows students to analyse a well-known historical case in which several practices, values and errors were present and which, at the same time, is susceptible to replication at a secondary school level.

The MADiC model and the historical case were applied to three different groups in different environments:

- a. CAP science didactics classes (Masters students): physical classroom courses.
- b. Undergraduate humanities students (initial courses): bimodal environment.
- c. Other undergraduate students (final courses): virtual or online environment.

After reading the case study, we asked them six different questions and proposed that they work out answers using the MADiC model. Some groups provided MADiC graphics, as well as written answers. From these, we can infer that although there are significant differences between the three groups, the value of the model in its application is nevertheless reinforced. One of the results reveals that previous educational background has a strong influence on how the MADiC model is accepted. Depending on the kind and level of studies, students have different conceptual models of science. On the humanities side, more social influences on scientific activity are perceived. By contrast, on the more scientific side, few social influences on scientific research are acknowledged.

For all these reasons, we evaluate the results of this first attempt at the application of the MADiC model positively. This model allows for the multi-factorial analysis of scientific activity and the appropriate consideration of the errors present in it. The common work of a science philosopher and a science didactics professor has opened up new working perspectives that we'll try to consolidate in the near future. The model has also proved to be a useful tool for secondary school teachers. In turn, they will pass on a new view of science to new generations of observers. Better scientific literacy will improve the understanding of science as well as the approach to the practice of science itself (on an educational level).