

La historia de la ciencia en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: Maria Skłodowska-Curie y la radiactividad

La història de la ciència en l'ensenyament de la naturalesa de la ciència: Maria Skłodowska-Curie i la radioactivitat

The history of science in nature-of-science teaching: Maria Skłodowska-Curie and radioactivity

Agustín Adúriz-Bravo / Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Investigaciones CeFIEC. Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (Argentina)



resumen

Se presentan tres unidades didácticas para enseñar la naturaleza de la ciencia al profesorado de ciencias. Las unidades utilizan materiales de historia de la ciencia centrados en la figura y en el trabajo de Maria Skłodowska-Curie y organizados a modo de casos para contextualizar la reflexión metacientífica (sobre la naturaleza de la ciencia). Tal reflexión se realiza a través de ideas epistemológicas clave ligadas a tres tópicos: método científico, realismo y contextos y valores de la ciencia.

palabras clave

Historia de la ciencia, casos, naturaleza de la ciencia, formación del profesorado, Maria Skłodowska-Curie.

resum

Es presenten tres unitats didàctiques per ensenyar la naturalesa de la ciència al professorat de ciències. Les unitats utilitzen materials d'història de la ciència centrats en la figura i en el treball de Maria Skłodowska-Curie i organitzats a manera de casos per contextualitzar la reflexió metacientífica (sobre la naturalesa de la ciència). Aquesta reflexió es realitza a través d'idees epistemològiques clau lligades a tres tòpics: mètode científic, realisme i contextos i valors de la ciència.

paraules clau

Història de la ciència, casos, naturalesa de la ciència, formació del professorat, Maria Skłodowska-Curie.

abstract

This paper presents three didactical (i. e. instructional) units to teach the nature of science to science teachers. The units use materials of the history of science centered on Maria Skłodowska-Curie's figure and work, and organized as cases to contextualize meta-scientific reflection (on the nature of science). Such reflection is performed through key epistemological ideas linked to three topics: scientific method, realism, and contexts and values in science.

keywords

History of science, cases, nature of science, teacher education, Maria Skłodowska-Curie.

Introducción

En este trabajo se revisa la inclusión de materiales relacionados con la historia de la ciencia en unidades didácticas originalmente diseñadas para enseñar la «naturaleza de la ciencia» al profesorado de ciencias en formación y en actividad. Los materiales históricos seleccionados giran en torno a la figura de Maria Skłodowska-Curie (1867-1934) y a sus aportaciones como científica. Los contenidos científicos sobre los cuales se trabaja se sitúan en la interfaz entre la química y la física, en torno a los temas de los modelos atómicos, la estructura de la materia y la radiactividad. La naturaleza de la ciencia, por su parte, se organiza en una serie de «ideas epistemológicas clave» vinculadas a tres tópicos de reflexión «metacientífica»: la metodología de la ciencia, la cuestión del realismo y el estudio de los contextos y los valores de la actividad científica.

Primeramente, se esbozan apuntes de carácter teórico sobre las decisiones tomadas para diseñar las unidades didácticas; se expone el uso de «casos» históricos como contextualización para una reflexión de carácter metacientífico. Hay luego tres secciones destinadas a presentar las unidades; se las reseña de manera genérica, de modo que puedan ser llevadas adelante con otras poblaciones, tales como estudiantes de secundaria básica y superior. Para ello, se omiten las actividades dentro de cada unidad dedicadas a la reflexión didáctica. El artículo se cierra con unas breves conclusiones.

Apuntes teóricos

Las llamadas *metaciencias* (filosofía, historia y sociología de la ciencia, entre otras) constituyen actualmente para los didactas de las ciencias (y para una parte no menor del profesorado de ciencias) un elemento fundamental e insoslayable del currículo de

ciencias para la educación obligatoria (Matthews, 1994). Se habla de *naturaleza de la ciencia* para referirse al conjunto de contenidos metacientíficos que se considera que deberían ser parte del bagaje cultural de la ciudadanía (McComas, 1998). Sobre el alcance de esta naturaleza de la ciencia, se produce hoy un debate teórico que incluye la discusión acerca del papel que debería tener la historia de la ciencia en la educación científica y en la formación docente (Abd-el-Khalick y Lederman, 2000; Quintanilla *et al.*, 2007).

Por otra parte y como consecuencia de lo anterior, existe una corriente teórica en crecimiento dentro de la didáctica de las ciencias que promueve el uso de las metaciencias en la formación inicial y continuada del profesorado de ciencias (Wang y Marsh, 2002; Erduran *et al.*, 2007). Dentro de esta corriente, algunos autores (por ejemplo, el australiano Michael Matthews) ponen énfasis en la necesidad de enseñar filosofía e historia de la ciencia en las aulas de ciencias; por tanto, sugieren formar al profesorado en los «contenidos» filosóficos e históricos a enseñar. Un segundo grupo de autores (entre ellos, Mercè Izquierdo-Aymerich, Vicente Mellado y Marilar Jiménez-Aleixandre) se enfoca en las contribuciones que pueden hacer las metaciencias al llamado *conocimiento profesional* del profesorado de ciencias. Esas contribuciones incluyen la mejora del conocimiento de los contenidos, la aportación de un componente cultural al currículo, la identificación de obstáculos de aprendizaje en el estudiantado, herramientas para el diseño de unidades didácticas y una plataforma general de actitudes y valores sobre la ciencia.

También hay un número reducido de autores que son más bien cautelosos a la hora de utilizar las metaciencias, por

cuanto consideran que, en especial en el caso de la historia de la ciencia (Lombardi, 1997; Fried, 2001), se cae en distorsiones graves de los contenidos metacientíficos, cuando se los lleva al currículo de ciencias y a la formación docente.

Este artículo se alinea con la segunda postura: intenta identificar algunos contenidos filosóficos e históricos valiosos para el desempeño profesional del profesorado de ciencias. Para la selección de los contenidos filosóficos, el artículo se adhiere a la idea de que existen unos «campos teóricos estructurantes» de la filosofía de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2007) que permiten identificar aspectos de la naturaleza de la ciencia relevantes para la formación docente. La naturaleza de la ciencia aparece así organizada en «ideas epistemológicas clave».

También se considera la enseñanza de contenidos metacientíficos en estrecha relación con los científicos y didácticos; es decir, se trataría de enseñar filosofía de la ciencia dentro de ejemplos de ciencias en los cuales se discute, además, su posible implementación en el aula.

A la hora de estructurar las unidades didácticas de naturaleza de la ciencia, se acuerda con la idea de que los «casos históricos» (de formato narrativo) son una estrategia poderosa que permite anclar esos contenidos (Grapí, 2000; Irwin, 2000; Metz *et al.*, 2007). Algunos episodios históricos «paradigmáticos» servirían de «ambientación» para las ideas de *naturaleza de la ciencia* que se quiere examinar con el profesorado de ciencias (Adúriz-Bravo, 2011). Tales episodios se pueden reconstruir y narrar con el auxilio de la investigación y la divulgación provistas por la historia de la ciencia como disciplina académica.

Las tres unidades didácticas que forman parte de este trabajo

se mueven simultáneamente en dos «planos»: el «conceptual» y el «didáctico». En todas ellas hay un primer momento más dedicado a revisar algunas cuestiones de naturaleza de la ciencia en relación con el caso histórico; un segundo momento se dedica a profundizar en las contribuciones de las meta-ciencias a la práctica profesional del profesorado. En este artículo solo se presenta el plano conceptual de esas unidades, tanto por razones de concisión como por el hecho de que este plano es adaptable a otras poblaciones, tales como estudiantado de ciencias de los distintos niveles educativos.

La unidad «Los descubrimientos del radio»

En esta primera unidad didáctica (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymenrich, 2009) se utilizan episodios de la vida «científica» de Maria Skłodowska-Curie para examinar distintas concepciones de la naturaleza del conocimiento científico. Por ejemplo, se discute el uso convencional que damos a los verbos *descubrir* e *inventar* cuando hablamos de la actividad científica, uso que trasluce una concepción «realista ingenua» de tal actividad. Cuando se sostiene esa concepción, se considera que los objetos, entidades y fenómenos de los que habla la ciencia existen como tales en el mundo, esperando a ser «descubiertos»: hallados o encontrados. Así, se minimiza la «carga teórica» con que científicos y científicas «representan» el mundo al modelizarlo.

A través de una amplia variedad de materiales (cine, prensa,

biografías, artículos científicos, discurso de aceptación del Premio Nobel), nos acercamos a la figura de Maria Skłodowska-Curie y al episodio del «descubrimiento» del radio. De este modo, reflexionamos sobre la postulación de ideas novedosas en la ciencia y sobre el apoyo que tienen esas ideas en los resultados de las observaciones y experimentos.

La unidad didáctica se inicia revisando tres reconstrucciones formales de la «metodología» científica:

1. Los «métodos» basados en patrones de razonamiento «inductivo», tal como el verificacionismo de la llamada *concepción heredada* de los años cincuenta. La postura verificacionista utiliza lo que se conoce como *inducción amplia*: una vez que se tiene una hipótesis, se han de buscar pruebas a favor de ella, que se van acumulando y aumentando su valor de verdad.

2. Los «métodos» basados en patrones de razonamiento «deductivo», tal como el falsacionismo popperiano. Según el esquema falsacionista, el único razonamiento válido es la deducción y, por tanto, se han de buscar pruebas en conflicto con la hipótesis, que la podrán refutar utilizando el *modus tollens* (una clase de silogismo que niega sus consecuencias deductivas).

3. Los «métodos» basados en patrones de razonamiento «abductivo», que subyacen a propuestas epistemológicas recientes y actuales. En esta nueva mirada sobre la metodología de la ciencia, las pruebas aportadas por las observaciones y experimentos de

alguna manera «sugieren» cuáles son las hipótesis más fructíferas, las que mejor se ajustan a aquellas (y por ello el razonamiento abductivo se conoce también como *inferencia a la mejor explicación*).

Estos tres patrones de razonamiento se pueden mostrar de manera compacta usando la representación propuesta por el semiótico estadounidense Charles S. Peirce. Para Peirce, un argumento deductivo, uno inductivo y uno abductivo se ven como «permutaciones» de las mismas tres proposiciones, alternativamente funcionando como premisas y conclusiones (Samaja, 1994):

A fin de contextualizar la enseñanza de estos patrones de razonamiento, la unidad comienza usando la novela detectivesca de Agatha Christie *Muerte en el Nilo* y la película creada sobre ella (Adúriz-Bravo, 2003). La trama detectivesca funciona como una analogía para la investigación científica (fig. 1), respetando sus elementos más característicos: el «problema» (asesinato, análogo a la pregunta científica), la «solución» (identificación del culpable, análogo al modelo científico) y la «conexión inferencial» entre ellos, que es un argumento que aporta pruebas a favor de la pertinencia de la solución para el problema.

Se hace así una comparación explícita de dos aproximaciones epistemológicas al método. Se asigna un método «hipotético-deductivo» al diseño que la autora hace de la trama: ella deduce, conociendo al asesino de antemano

Cuadro 1

Deducción	Inducción	Abducción
Todas las habas de esta bolsa son blancas. Estas habas son de esta bolsa. (luego) Estas habas son blancas.	Estas habas son de esta bolsa. Estas habas son blancas. (luego) Todas las habas de esta bolsa son blancas.	Todas las habas de esta bolsa son blancas. Estas habas son blancas. (luego) Estas habas son de esta bolsa.



Figura 1. Las series televisivas donde aparecen detectives, médicos o forenses (como *Bones*, en la foto) proporcionarían un contexto potente para aprender (por analogía) sobre la naturaleza del pensamiento científico.

no, las pistas que proporcionará a lo largo del relato. En cambio, a la reconstrucción del crimen que hace el detective Hercule Poirot podría corresponder un método «analógico-abductivo»: él abduce la identidad del asesino a partir de las pistas que recogió y seleccionó.

En esta parte de la unidad, que aún no examina casos específicos de descubrimiento o invención científica, se pone énfasis en el parecido formal entre el razonamiento abductivo y la célebre «falacia de afirmación del consecuente», que se usa en secuencias inductivas. En ambas instancias se tiene la siguiente estructura:

$T \rightarrow O$
O
T

donde T es una proposición de carácter teórico (usualmente, una hipótesis) y O es una predicción deductivamente inferida de T, que se puede poner a prueba mediante observaciones, experimentos u otro tipo de «intervenciones» científicas. Lo que dice este patrón genérico es que la verdad de la predicción O de alguna manera «aporta» a la verdad de la proposición teórica T. En el marco positivista, una serie (grande) de O verdaderas va robusteciendo T. En el marco de la nueva filosofía de la ciencia, una O suficientemente relevante puede «generar» la hipótesis T.

Según la lógica clásica, un método científico apoyado en este patrón de razonamiento es defectuoso, pues pivota en una inferencia formalmente «falaz». Los resultados que confirman la predicción O no añaden a la verdad de T. Sin embargo, un mirada abductiva sobre las relaciones entre pruebas e hipótesis evita esa dificultad y parece proporcionar una reconstrucción más plausible del razonamiento de los científicos.

La unidad didáctica presenta algunos episodios históricos en forma de «viñeta» (por ejemplo, la transición entre el «modelo del pudín» de Thomson y el «modelo planetario» de Rutherford para el átomo) para «interpretar» estas formas abstractas. Tras explorar los conocidos experimentos de Geiger y Marsden de la lámina de oro, el profesorado propone una interpretación abductiva de la hipótesis formulada por lord Rutherford.

Es aquí donde se pasa a trabajar sobre la radiactividad y los «descubrimientos» del polonio y del radio. Se introduce el caso histórico mediante el visionado de algunos fragmentos de la película comercial francesa *Les palmes de Monsieur Schutz* (lanzada en 1997 y conocida en España e Hispanoamérica como *Los méritos de Madame Curie*). La tarea central de la unidad consiste en reconstruir la postulación de la existencia del radio utilizando para ello un argumento abductivo à la Peirce:

Se observa el hecho sorprendente C.
 Pero si la hipótesis A fuera correcta, sería el caso que C.
 (luego).
 Hay buenas razones para pensar que A es correcta.

que para la «invención» del radio queda:

Se observa el hecho sorprendente de que la peblenda resulta más activa que su propio peso en óxido de uranio.

Pero si la hipótesis de que existe un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda fuese correcta, sería el caso que esta resultaría más activa que su propio peso en óxido de uranio. (luego).

Hay buenas razones para pensar que la idea de que existe un nuevo radiometal sumamente activo en forma de trazas en la peblenda es correcta.

Las fuentes primarias, convenientemente «leídas», pueden dar argumentos que apoyen esta interpretación abductiva:

Quedé sorprendida por el hecho de que la actividad de los compuestos de uranio [...] parece ser una propiedad atómica del elemento [...]. Tal actividad no es destruida por cambios de estado físicos ni por transformaciones químicas.

Medí la actividad de un número de minerales; todos los que resultan radiactivos siempre contienen uranio o torio. Pero noté un hecho inesperado: ciertos minerales (peblenda, calcolita, autunita) tenían una actividad mayor de la que se esperaba con base en su contenido de uranio o torio. Así, ciertas peblendas que contenían un 75 % de óxido de uranio eran cuatro veces más activas que ese óxido [...]. Esto entraba en conflicto con ciertas visiones que sostenían que ningún mineral debería ser más radiactivo que el uranio metálico [...].

Entonces pensé que la mayor actividad de los minerales

naturales podía estar determinada por la presencia de una pequeña cantidad de un material altamente radiactivo, diferente del uranio, el torio y los demás elementos conocidos en el presente (M. Curie, 1966; traducción y cursivas del autor de este artículo).

La unidad «Vida y milagros de Maria Curie, descubridora del rádium»

Esta segunda unidad didáctica (Adúriz-Bravo, 2005b) propone trabajar con las diversas (y a veces incompatibles) «imágenes» de Madame Curie construidas en la literatura científica, histórica y popular y en las artes audiovisuales. El profesorado compara la visión «hagiográfica» puesta en circulación en los años treinta por la hija menor de Maria Skłodowska-Curie, Ève, con una amplia selección de aproximaciones más recientes (y, por cierto, más refrescantes) a su figura, incluyendo *Les palmes de Monsieur Schutz*, la muy cuidada biografía de Sánchez Ron (2000) y un episodio de la serie animada *Los Simpson* que presenta a unos Curie gigantescos devastando Tokio con haces radiactivos que emanan de sus ojos.

Con estos materiales, nos internamos en un debate alrededor del rol de las minorías en la ciencia y del papel del científico individual inmerso en una comunidad científica. La unidad se concentra sobre los «contextos» y los «valores» implicados en la actividad científica, específicamente en relación con la figura de Maria Skłodowska-Curie como «paradigma» de la mujer en la ciencia. Ella es uno de los personajes más visitados de la historia de la ciencia, varios estereotipos e iconos han sido contruidos a sus expensas. Esto proporciona un terreno fértil para que el profesorado de ciencias

examine cómo el público en general, e incluso los propios científicos, ven la actividad científica y a quienes la llevan adelante.

Al igual que en la unidad anterior, las primeras actividades no se enfocan en el caso histórico «duro», sino que proponen una discusión más general acerca de lo que, en la literatura didáctica de las ciencias, se conoce como *imagen del científico* (Adúriz-Bravo et al., 2006). Así, se desmenuzan diversas representaciones arquetípicas del «calvo con gafas y bata blanca» (fig. 2).

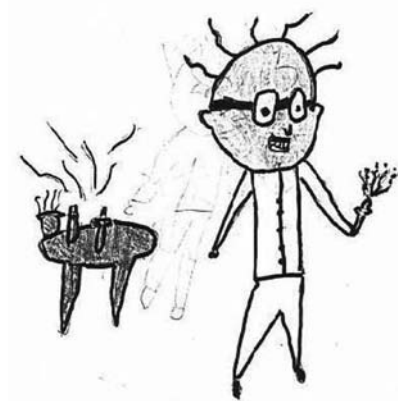


Figura 2. Gastón, un niño uruguayo de 2.º grado de primaria, muestra en su dibujo una imagen del científico que contiene un gran número de rasgos del estereotipo socialmente instalado.

Luego, la actividad central de la unidad requiere identificar, caracterizar y analizar críticamente el tratamiento romantizado del personaje, apoyado en aproximaciones historiográficas defectuosas o pasadas de moda. He aquí un ejemplo del tipo de reconstrucción pseudohistórica que se desea que el profesorado pueda discutir durante las actividades:

Sí, estos cuatro años heroicos no solo fueron los más felices de María Curie, sino los más perfectos, los más cercanos a las cumbres de la misión humana hacia los cuales su mirada se había elevado. Cuando se es

joven y sola y se abisma en el estudio, se puede «no tener de qué vivir», pero vivir intensamente. Un inmenso entusiasmo da a la polaca de veintitrés años el poder de ignorar las pruebas y privaciones que soporta, y de magnificar su sórdida existencia. Más adelante, el amor, las maternidades, las preocupaciones de esposa y madre, las complejidades de una pesada labor devolverán a la iluminada a la vida real. Pero, en el mágico momento en que María es más pobre que nunca, es indiferente como un niño. Planea, ligera, sobre otro mundo, aquel que su pensamiento concebirá siempre como el más puro, el verdadero (È. Curie, 1960: 117).

La unidad «Una reducción honorable»

Esta tercera unidad didáctica (Adúriz-Bravo, 2010) está diseñada para trabajar, con el profesorado de ciencias, una explicación balanceadamente «internalista» (epistémica) y «externalista» (sociocultural) de los estudios sobre el radio, desde la postulación de su existencia (Curie y Curie, 1898) hasta su obtención en estado relativamente puro, más de una década después.

La unidad, nuevamente organizada en torno a un «recorte» de la vida y la obra de Maria Skłodowska-Curie, se llama «Una reducción honorable», haciendo un juego de palabras con el título del conocido libro de Giroud (1981), *Une femme honorable*. En esta unidad, la purificación y la posterior reducción del cloruro de radio es considerada «honorable» en dos sentidos: «honrosa», porque Maria Skłodowska-Curie no patenta ni esconde las técnicas de obtención del radio a partir de la peblenda, legándolas al dominio público, y «honorada»,

porque le vale su segundo Premio Nobel, esta vez en química.

La unidad comienza examinando ejemplos de factores contextuales que «empujan» la innovación en ciencias; se recurre para ello a una viñeta construida sobre la invención de los «marcadores radiactivos» por George de Hevesy (Adúriz-Bravo, 2005a). Luego, la actividad central apunta a la pregunta de por qué «festejamos» el aniversario del descubrimiento del radio contando los años desde 1898, si el cloruro de radio se obtuvo en forma relativamente pura en 1901 y el radio metálico se preparó por primera vez en 1910 (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009). Intentar responder a esta pregunta con el profesorado de ciencias nos permite hacer foco en la reducción del mineral a metal libre, por medio de técnicas electrolíticas especialmente concebidas, en un episodio históricamente significativo, con variadas implicancias sociocientíficas y educativamente valioso.

La unidad pretende modelizar una visión «contextualista» de la ciencia, que tiene en cuenta los factores internos y externos que se juegan en el momento de la elección entre modelos teóricos. En la película *Les palmes de Monsieur Schutz* se destaca el principal factor interno del episodio: el cambio de enfoque del problema de la radiactividad, que pasa a ser vista como un fenómeno físico, ligado a algunos elementos químicos a nivel de su estructura más íntima (fig. 3). Algunos factores externos, o «no epistémicos», contextualizan este cambio de enfoque: la disponibilidad de un nuevo instrumento, el electrómetro Curie (tecnología); la competencia entre dos laboratorios (financiación, distinciones), y la necesidad de explicar a los legos (por ejemplo, a la niñera Georgette) el problema teórico (comunicación).



Figura 3. El electrómetro de cuarzo piezoeléctrico montado por los hermanos Curie ayudó a determinar que «la propiedad de emitir rayos que vuelven conductor el aire y que actúan sobre las placas fotográficas es una propiedad específica del uranio y del torio que aparece en todos los compuestos de esos metales, y que se debilita conforme la proporción del metal activo en el compuesto disminuye» (Curie y Curie, 1898: 176; traducción del autor de este artículo).

A guisa de conclusión

En las tres unidades didácticas reseñadas en este artículo se pone en evidencia el hecho bien conocido de que la expresión «historia de la ciencia» es multívoca; esa multivocidad debería ser examinada con cuidado de cara a una fructífera incorporación de materiales históricos a la educación científica.

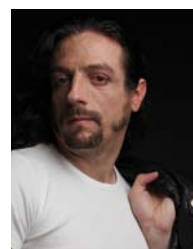
En primer lugar, aparece la historia de la ciencia como lo que efectivamente «pasó» en la empresa científica a lo largo del tiempo; eso que pasó va dejando testimonios y documentación (fuentes primarias) que se pueden usar en el aula. En segundo lugar, diversos actores (los propios científicos, los divulgadores, los novelistas, el profesorado, etc.) cuentan «historias» de la ciencia (por ejemplo, González Duarte, 2011); tales historias tienen distinto valor didáctico y, además, deben ser «vigiladas» en términos de qué tipo de imagen de la ciencia proponen. Por último, se entiende también la *historia de la ciencia* como una disciplina académica

consolidada que proporciona materiales valiosos para la enseñanza de las ciencias: desde la producción historiográfica más «dura» hasta divulgación de buena calidad.

Referencias

- ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. (2000). «The influence of history of science courses on students' views of nature of science». *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10): 1057-1095.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). «La muerte en el Nilo: Una propuesta para aprender sobre la naturaleza de la ciencia en el aula de ciencias naturales de secundaria». En: ADÚRIZ-BRAVO, A.; PERAFÁN, G. A.; BADILLO, E. (coord.). *Actualización en didáctica de las ciencias naturales y las matemáticas*. Bogotá: Magisterio, p. 129-138.
- (2005a). *El guiso fantasmagórico: Relato de la mítica invención de los marcadores radiactivos*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología.
- (2005b). «Los descubrimientos del radio»: Una unidad didáctica para enseñar sobre la naturale-

- za de la ciencia a futuros profesores de ciencias naturales». En: COUSO, D.; BADILLO, E.; PERAFÁN, G. A.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (ed.). *Unidades didácticas en ciencias y matemáticas*. Bogotá: Magisterio, p. 317-336.
- (2007). «A proposal to teach the nature of science (NOS) to science teachers: The “structuring theoretical fields” of NOS». *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 1(2): 41-56.
- (2010). «Aproximaciones histórico-epistemológicas para la enseñanza de conceptos disciplinares». *Revista Electrónica EDUCyT*, 1(1): 107-126.
- (2011). «Use of the history of science in the design of research-informed NOS materials for teacher education». En: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITS, K. S.; RIZAKI, A. A. (ed.). *Adapting historical knowledge production to the classroom*. Rotterdam: Sense, p. 195-204.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; GODOY, E.; IGLESIAS, M.; BONAN, L.; GONZÁLEZ GALLI, L. (2006). «Las imágenes de ciencia y de científico en una propuesta de educación inclusiva para todos y todas». En: AÑANOS BEDRIÑANA, F. T.; GARCÍA MÍNGUEZ, J.; BEDMAR, M.; MONTERO, I. (ed.). *Educación social: Formación, realidad y retos*. Granada: Grupo Editorial Universitario, p. 427-435.
- ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. (2009). «A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers». *Science & Education*, 18(9): 1177-1192.
- CURIE, È. (1960). *La vida heroica de María Curie, descubridora del radio*. 25.º ed. Madrid: Espasa-Calpe. [Ed. original en francés de 1937]
- CURIE, M. (1966). «Radium and the new concepts in chemistry». En: *Nobel lectures: Chemistry, 1901-1921*. Ámsterdam: Elsevier, s. p.
- CURIE, P.; CURIE, M. (1898). «Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende». *Comptes Rendus*, 127(3): 175-178.
- ERDURAN, S.; MAMLOK-NAAMAN, R.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (2007). «Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education». *Science & Education*, 16(9-10): 975-989.
- FRIED, M. (2001). «Can mathematics education and history of mathematics coexist?». *Science & Education*, 10(4): 391-408.
- GIROUD, F. (1981). *Une femme honorable*. París: Fayard.
- GONZÁLEZ DUARTE, P. (2011). «Marie Sklodowska-Curie: Una combinació excepcional de capacitat intel·lectual i qualitat humana». *Educació Química EduQ*, 8: 4-10.
- GRAPÍ, P. (2000). «El potencial educatiu de la història de la ciència: El cas de la revolució química». En: FUENTE CULLELL, P. de la; PUIG AGUILAR, R.; BATLLÓ ORTIZ, J. (coord.). *Actes de les V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, p. 111-114.
- IRWIN, A. (2000). «Historical case studies: Teaching the nature of science in context». *Science Education*, 84(1): 5-26.
- LOMBARDI, O. (1997). «La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: Argumentos y contraargumentos». *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3): 343-349.
- MATTHEWS, M. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Nueva York: Routledge.
- MCCOMAS, W. (ed.) (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer.
- METZ, D.; KLASSEN, S.; McMILLAN, B.; CLOUGH, M.; OLSON, J. (2007). «Building a foundation for the use of historical narratives». *Science & Education*, 16(3-5): 313-334.
- QUINTANILLA, M.; IZQUIERDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (2007). «Discusión en torno a una propuesta para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias». En: IZQUIERDO-AYMERICH, M.; CAAMAÑO, A.; QUINTANILLA, M. (ed.). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: Contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, p. 173-196.
- SAMAJA, J. (1994). *Epistemología y metodología: Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: EUDEBA.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (2000). *Marie Curie y su tiempo*. Barcelona: Crítica.
- WANG, H. A.; MARSH, D. D. (2002). «Science instruction with a humanistic twist: Teachers' perceptions and practice in using the history of science in their classrooms». *Science & Education*, 11(2): 169-189.



Agustín Adúriz-Bravo

Es docente-investigador en el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC), instituto de investigaciones didácticas, epistemológicas e históricas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Su trabajo gira en torno a los desafíos de enseñar la filosofía de la ciencia al profesorado de ciencias en formación y en actividad. E-mail: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar.