

Pensar la enseñanza de la física en términos de “competencias”

Thinking the teaching of physics in terms of ‘competences’

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Agustín Adúriz-Bravo^{1,2}

¹CONICET, Argentina.

²Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC-Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 2° Piso, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Av. Intendente Güiraldes 2160, CP C1428EGA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

E-mail: aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar

(Recibido el 23 de Junio de 2017; aceptado el 16 de Octubre de 2017)

Resumen

La noción de competencia, actualmente muy difundida en la educación científica a nivel internacional, encierra a la vez oportunidades y desafíos. En este artículo trabajo una definición de “competencia científica escolar” anclada en contenidos de física. Examinó la actividad científica desde una perspectiva epistemológica para detectar competencias científicas generales, y físicas en particular, que se puedan considerar “paradigmáticas” (es decir, ejemplares) y que por tanto puedan ser útiles para la formación científica de la ciudadanía en el marco de la educación obligatoria. Entre esas competencias paradigmáticas, me interesan especialmente la modelización científica escolar y la argumentación científica escolar, que defino y ejemplifico en el texto.

Palabras clave: Competencias científicas escolares; Competencias paradigmáticas; Concepción modelo teórica de la ciencia; Modelización científica escolar; Argumentación científica escolar.

Abstract

The notion of competence, broadly diffused in current science education worldwide, holds both opportunities and challenges. In this article I work with a definition of “school scientific competence” anchored in physics content. I examine the scientific activity from an epistemological perspective in order to detect general scientific competences, and competences in physics in particular, that could be considered “paradigmatic” (i.e. exemplary), and that can therefore be useful for citizenship preparation in the context of compulsory education. Among those paradigmatic competences, I am especially interested in school scientific modelling and school scientific argumentation, which I define and exemplify in this article

Keywords: School scientific competences; Paradigmatic competences; Model-based view of science; School scientific modelling; School scientific argumentation.

I. ALGUNAS NOTAS GENERALES EN TORNO A LA NOCIÓN DE COMPETENCIA

En el campo de la investigación en didáctica de las ciencias naturales (y específicamente en didáctica de la física), la noción de competencia encierra a la vez oportunidades y desafíos. Nuestra disciplina la considera una noción a la vez promisoría y problemática, y este posicionamiento teórico refleja lo que también circula en la investigación educativa general. Por ejemplo, el suizo Philippe Perrenoud (1999), uno de los autores más reconocidos en el tema de competencias, pone en evidencia la sinuosa dualidad de esta idea presentando dos interpretaciones encontradas: ¿son las competencias una “fantasía de tecnócrata” en los Ministerios de Educación o representan más bien una bienvenida “extensión de los derechos humanos” dentro de una Unión Europea en rápido crecimiento? En la misma línea, el mexicano Ángel Díaz Barriga (2006) nos invita a sospechar si detrás de la “alternativa” pedagógica que traen las competencias puede que solo haya un “disfraz de cambio”, como se han visto tantos otros en la educación a lo largo del siglo XX. Por su parte, Mulder y otros (2009) se hacen eco del debate en Europa entre quienes ven las competencias como un “error” que trae burocracia, estandarización y orientación de la enseñanza hacia

los exámenes y quienes las consideran un “enriquecimiento” indudable para acometer cambios necesarios en la educación superior. Y ya en nuestra área de conocimiento, la catalana Neus Sanmartí (2010) se pregunta si las competencias vienen a traer “más burocracia” para los profesores de ciencias en activo o constituyen genuinamente un “constructo útil” para la investigación y la innovación educativa y didáctica.

Buena parte del “manto de sospecha” que se cierne sobre las competencias proviene, por un lado, de la filiación “exoeducativa” del concepto, originalmente propuesto desde los campos de la economía, el desarrollo y el trabajo, y, por otro, de la pesada carga político-ideológica que arrastran (cf. Westera, 2001; Catalano y otros, 2004; Mulder y otros, 2009; Adúriz-Bravo, 2012a; Barros, 2012; Ortiz-Revilla y otros, 2017). Su carácter promisorio, y el consecuente entusiasmo que suscita entre diversas comunidades profesionales (investigadores educativos, diseñadores de planes y programas, políticos de la educación, formadores docentes, profesores), parece derivarse de la capacidad que la idea de competencia viene mostrando para llegar a hacer que se reestructuren a fondo los currículos, la enseñanza, la evaluación y la formación del profesorado en ciencias naturales en el siglo XXI (cf. Sanmartí y Sardà, 2007; Sanmartí, 2009, 2010).

Ahora bien, ¿a qué se está haciendo referencia cuando se utiliza el rótulo de “competencia(s) científica(s)” dentro de la enseñanza de las ciencias/de la física? Primeramente, me resulta indispensable señalar que la idea de competencia científica, en mi opinión, se genera casi exclusivamente para el contexto educativo, y solo tiene sentido y significatividad en él. Por tanto, más allá de los diversos rótulos que utilizaré a lo largo de este artículo, siempre estaré hablando de competencias científicas escolares; no parece existir un reflejo de este concepto en la ciencia de los científicos (es decir, el “saber sabio” en términos de Yves Chevallard, 1985), a menos que tal ciencia sea examinada desde la propia didáctica de las ciencias naturales en busca de pistas para construir una educación científica de calidad para la ciudadanía, como intentaré hacer más abajo.

Con el fin de fijar ideas, voy a comenzar revisando una definición amplia de competencia que tiene mucha gravitación en la literatura especializada. Tal definición ya canónica, generada en el ámbito del Espacio Europeo de Educación Superior, identifica la competencia (en singular) con “*la capacidad general basada en los conocimientos, experiencias, valores y disposiciones que una persona ha desarrollado mediante su compromiso con las prácticas educativas*” (Eurydice, 2002, p. 13).

La anterior definición emerge como secuela de extensivos procesos de discusión teórica al interior del proyecto llamado “Definición y Selección de Competencias” (DeSeCo), bajo la órbita de la OCDE y en directa relación con el programa de evaluación transnacional PISA¹. DeSeCo concluyó por recomendar un enfoque “funcional” (operativo) de las competencias como base conceptual para cualquier comparación válida del desempeño escolar. Esta visión funcional de competencia la circunscribe a configuraciones específicas de habilidades necesarias para un buen rendimiento en las demandas cotidianas, escolares y laborales. El abordaje competencial ortodoxo, entonces, reconoce un sistema de conocimientos, habilidades, estrategias y metaconocimientos aprendidos, asimilándolo al conjunto de disposiciones mentales necesarias para alcanzar logros cognitivos, sociales y vocacionales mensurables (Ortiz-Revilla y otros, 2017).

Este acercamiento a la idea de competencia que la relaciona con la formación “para la vida” es fuertemente transversal: las competencias científicas son entendidas como capacidades altamente formales y genéricas de los sujetos que los habilitan para el mundo del trabajo, para el desempeño profesional o, en el mejor de los casos, para la actuación plena en sociedad. Creo que tal acercamiento, si bien tiene el gran valor de “sacar” las ciencias naturales de su lugar de supremacía curricular e identificarlas ahora con una modesta contribución a la educación integral de las personas, corre el peligro de desvincular la educación por competencias de los modos disciplinares específicos de comprender el mundo –en nuestro caso, la física². Si en el abordaje competencial las disciplinas pasan a un segundo plano, cuesta imaginar estrategias de enseñanza concretas para objetivos tan generales –y por lo tanto diluidos– del estilo de “aprender a estudiar” (enunciado en Cortés Alegre, 2014, p. 33).

A partir de lo que he venido diciendo, queda clara la existencia de sofisticadas discusiones teóricas en torno a la definición y aplicación de las competencias. Para poder hablar de una enseñanza competencial de la física, encuentro necesario adherir a una descripción de las competencias lo suficientemente “aterrizada” como para que admita que los profesores reconozcamos rápidamente su utilidad para las clases. Mi definición de trabajo, que llamo el “modelo de las tres ces (3C)” entiende por competencia científica

¹PISA (*Programme for International Student Assessment*, “Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes”) es un “sondeo trienal internacional” realizado por la OCDE que pretende “evaluar sistemas educativos a nivel mundial poniendo a prueba las habilidades y conocimientos de estudiantes de 15 años de edad” (<http://www.oecd.org/pisa/aboutpisa/>). PISA se ha hecho tristemente célebre en América Latina por los pobres resultados que obtienen los países de la región que participan.

²En Argentina hay una muy interesante propuesta para abordar la enseñanza de la física universitaria de manera competencial, elaborada en la Universidad Nacional de Río Cuarto (Vicario y otros, 2007). Si bien las competencias presentadas en el documento marco de esa propuesta son bastante genéricas y transversales, los autores afirman que ellas “descansan en el relativo dominio de un conocimiento disciplinar o interdisciplinar” (p. 6), y ello queda bien reflejado en el desarrollo del programa que sugieren.

escolar cualquier capacidad (cognitiva, discursiva, material, valórica, emocional) de orden superior para hacer algo sobre un contenido científico determinado (de aquellos prescritos curricularmente) dentro de un contexto bien caracterizado (escolar, pero a la vez socialmente significativo y, por tanto, transferible a la vida ciudadana)³.

Si modeláramos una posible competencia científica escolar “efectuada” en una clase de física de acuerdo con la definición que antecede, obtendríamos un ejemplo como el siguiente (cf. Couso y Adúriz-Bravo, 2016): una “competencia física” sería explicar en qué sentido(s) es análogo chocar en un coche que circula a gran velocidad con caer desde un balcón de considerable altura, con el fin de dar significado a una norma de tránsito como el uso obligatorio del cinturón de seguridad (cuadro I).

CUADRO I. Una posible competencia para la física de secundaria básica (fabricada con el “modelo de las tres ces”).

Ejemplo “fabricado” de competencia física		
Capacidad	Contenido	Contexto
Explicación científica	Analogía entre chocar en un auto y caer de una altura	Educación vial
<i>Capacidad compleja de naturaleza cognitiva y discursiva</i>	<i>Contenido de la física clásica: conservación, transformación y transferencia de la energía</i>	<i>Contexto de vinculación de los saberes científicos con el cuidado de uno mismo y de los otros</i>

La definición de competencia de la que parto está de alguna manera incompleta, dado que no señala ningún criterio de selección de las competencias de nuestra área curricular que serían más relevantes para la formación de las personas. Es aquí donde me surge la necesidad de introducir la idea de competencia científica “paradigmática” (Adúriz-Bravo, 2012a), es decir, una competencia que de alguna manera capture lo esencial e “irreducible” de la física como disciplina de referencia con el fin de trasladarlo a su enseñanza.

II. IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS “PARADIGMÁTICAS”

Para los fines de mi argumentación, voy a considerar que las competencias científicas educativamente más valiosas pivotan sobre el uso de lo que, desde una perspectiva epistemológica semanticista, se conoce como “modelos teóricos” (cf. Giere, 1992; Díez y Moulines, 1997; Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009b; Adúriz-Bravo, 2013a). De entre el amplio abanico de competencias que satisfacen este requerimiento inicial, se pueden reconocer –utilizando los criterios de la actual didáctica de las ciencias naturales– algunas que son especialmente relevantes por su valor formativo. Parece plausible afirmar, a juzgar por los nuevos currículos de ciencias naturales disponibles a nivel internacional, que entre estas últimas se cuentan las competencias que “suedan” lo cognitivo con lo discursivo, llamadas “cognitivolingüísticas” (Sanmartí, 2003). En efecto, recomendaciones actualmente vigentes para la enseñanza de la física ponen mucho énfasis en las capacidades de explicar, justificar y argumentar, por ser consustanciales al pensamiento crítico (ver, por ejemplo, Solbes y otros, 2010).

Ahora bien, estas competencias científicas escolares basadas en modelos, con alto valor educativo consensuado y de naturaleza cognitivolingüística pueden ubicarse tanto en el plano de los contenidos científicos estrictos (involucrando modelos para pensar el mundo natural) como en el plano, de segundo orden, de los contenidos “metacientíficos” (involucrando modelos para pensar la actividad científica y sus productos). Cuando las competencias en cualquiera de estos dos planos tienen algún tipo de correspondencia reconocible con lo más medular e “irreducible” de las propias ciencias naturales (en nuestro caso, la física), las llamo competencias “paradigmáticas”. En la presente sección desarrollo estas ideas en dos apartados.

A. Competencias de carácter científico y metacientífico en la enseñanza de la física

Reelaborando propuestas de diversos autores (cf. Martín-Díaz y otros, 2005), podemos afirmar que una “alfabetización científica” de calidad comporta: 1. el conocimiento de un cuerpo establecido de modelos teóricos de las distintas ciencias naturales; 2. la capacidad de comprensión del mundo usando esos modelos científicos siguiendo diversas finalidades; 3. la solvencia en el uso de un conjunto de procedimientos cognitivos, discursivos y materiales (las “metodologías” de la ciencia) para intervenir sobre ese mundo; 4. la compartición de una serie de actitudes y valores social e históricamente asociados a tal comprensión y a

³Para otras definiciones similares, “tripartitas”, ver Adúriz-Bravo y otros (2012).

tal intervención; y 5. un entendimiento crítico de “qué es esa cosa llamada ciencia” –utilizando la afortunada frase de Alan Chalmers (1982)– que permita regular y evaluar todo lo anterior. Por tanto, la actual educación en física implicaría tanto saber de física como saber sobre física (Adúriz-Bravo, 2008a). Si aceptamos este punto de partida, se reconoce en seguida que los currículos de ciencias naturales –y en particular el de física– incluyen, junto con las competencias científicas estrictas, unas competencias meta-científicas (utilizando para estas últimas el prefijo griego *meta*, con el sentido de “más allá de”)⁴.

En el contexto de las ambiciosas finalidades proclamadas actualmente para la educación científica, entre las que se cuenta la de que los estudiantes sean capaces de evaluar la validez de las informaciones disponibles sobre el mundo natural y la autoridad de las fuentes que las emiten, una competencia meta-científica central sería la de discernir qué hace que una explicación científica concreta cuente como tal, es decir, demarcarla de otros tipos de explicaciones tales como las de sentido común, mitopoéticas, religiosas, tecnológicas, artísticas o simplemente fraudulentas. Un ejemplo de esta competencia, que he usado en clases de física de nivel secundario y superior, sería el de entender qué diferenciaría la explicación *folk* o pseudocientífica –de marcado carácter “conspiranoico”– en torno a las “abducciones extraterrestres”, de un intento de dar cuenta de los mismos “hechos del mundo” (en particular, las sensaciones relatadas por los presuntos abducidos) utilizando conocimiento proveniente de las disciplinas biomédicas⁵(cuadroII).

CUADRO II. Análisis componencial de una competencia metacientífica.

Competencia metacientífica que se puede poner en marcha en clases de física o ciencias naturales		
Capacidad	Contenido	Contexto
“Explicar la explicación” (es decir, analizar su estructura y validez)	Dos explicaciones propuestas para ciertas sensaciones que algunas personas experimentan durante el sueño	Ejercer “literacidad crítica” sobre información circulante en los medios masivos de comunicación, en particular la Internet
<i>Capacidad metateórica, de naturaleza epistemológica</i>	<i>Contenidos del acervo folk (la abducción alienígena) versus contenidos del campo biomédico (parasomnias)</i>	<i>Contexto en el que es necesario desplegar “una gran capacidad de discernimiento y análisis [...], unas facultades críticas potentes para no sucumbir ante la avalancha de información, para saber navegar con ‘timón crítico’” (Vargas Franco, 2015, p. 142)</i>

B. Competencias paradigmáticas en la enseñanza de la física

En este apartado retomo la pregunta de cuáles serían las competencias que resulta importante enseñar en el contexto de la educación científica. En los últimos años, se ha generado un amplio abanico de respuestas a esta pregunta, de mayor o menor nivel de cobertura (cf. Delors, s/f; Pessoa de Carvalho, 2002; Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2004; Tobón y otros, 2006; Vicario y otros, 2007; la evaluación PISA en ciencias, 2008; Quintanilla y otros, 2008; Izquierdo–Aymerich y García Pujol, 2009; entre tantos otros documentos). Los acercamientos a la cuestión de la selección de las competencias se sitúan en un continuo con dos extremos muy reconocibles: 1. hablar de unas competencias que son “propias y características” de las ciencias naturales y funcionan a modo de “navaja de Ockham” para separar estas disciplinas del sentido común y del resto de las actividades humanas, o 2. sugerir el tratamiento de unas competencias “genéricas y ciudadanas”, en el cual las ciencias naturales serían nada más que un instrumento o un contexto como cualquier otro.

Como “tercera vía” entre estas dos posiciones, me decanto por definir la noción de competencia paradigmática (sea científica o metacientífica, para el estudiantado o para el profesorado) a través de identificar aquello que, en las ciencias naturales “eruditas” o “de los científicos”, es esencial e irreducible desde el punto de vista epistemológico (Adúriz-Bravo, 2006, 2012a, 2012b). En mi opinión, se trataría de ver cuáles competencias científicas escolares satisfacen, a la vez, dos requerimientos: 1. recuperan lo más central y potente de la actividad científica (sin creer ingenuamente que son patrimonio exclusivo de ellas); y 2. al dominarse, nos permiten vislumbrar la naturaleza profunda de tal actividad.

⁴Para PISA, la competencia científica requiere que el estudiantado posea estos dos niveles de conceptualización: el teórico y el metateórico, que son etiquetados respectivamente como “conocimiento de las ciencias” y “conocimiento sobre las ciencias” (PISA, 2008: 41–42).

⁵En este caso se usaría el concepto técnico de “parasomnia” como buen candidato para reducir las supuestas abducciones a los fenómenos de parálisis del sueño y alucinaciones hipnopómpicas (cf. McNally y Clancy, 2005).

En otros escritos he tratado de sostener que la modelización y la argumentación cumplen estas dos condiciones⁶. La tesis a la que adhiero es que las ciencias naturales no pretenden ser de ninguna manera el único campo en el cual se modeliza y se argumenta, dado que estas constituyen capacidades del Homo sapiens que nos ayudan a movernos con solvencia en el mundo; sin embargo, la modelización y la argumentación asumen rasgos distintivos en la actividad científica que ameritan ser objeto de enseñanza intencionada. Así, modelizar y argumentar de manera similar a la que lo hacen los físicos permitiría introducirse en los “modos de pensar” de la física como disciplina y, al mismo tiempo, hacer un examen crítico explícito de algunos aspectos sustantivos de su funcionamiento (es decir, entender algo de la “naturaleza de la física”).

A modo de ilustración para los lectores, me centraré en la temática de la estructura de la materia, que se enseña en física, química y biología repetidas veces a lo largo de la escolaridad obligatoria y postobligatoria. Con el modelo de las tres ces se podría formular un “sistema de competencias” (cuadro III) del siguiente estilo: entender fenómenos físico-químicos sencillos a través de transformar materiales presentes en la vida cotidiana vinculados a actividades humanas de relevancia histórica (ver competencias similares y su justificación en Izquierdo-Aymerich, 2004; Adúriz-Bravo, Merino e Izquierdo-Aymerich, 2012).

CUADRO III. Aproximación competencial al tema de la estructura de la materia. Las competencias paradigmáticas se definen porque son centrales para el quehacer de la ciencia y al mismo tiempo enseñan algo importante de la naturaleza de la empresa científica.

Competencias en físico-química elegidas por su relevancia educativa		
Capacidad general (desglosada en otras más específicas)	Contenido general (desglosado en otros más específicos)	Contexto general (desglosado en otros más específicos)
Entender fenómenos sencillos: – Describirlos con distintas herramientas semióticas – Interpretarlos con modelos abstractos – Argumentar en torno a la robustez de los modelos por medio de inferencias del tipo “si... entonces...” – Aplicar y transferir las “reglas del juego” impuestas por los modelos a otras situaciones percibidas como análogas a aquellas que se han trabajado	Transformación controlada de materiales “de entrecasa”, guardando registro de lo que se tiene al inicio y al final: – Separación de mezclas – Disolución – Identificación de sustancias – Cambios químicos sencillos	Contextos históricos de importancia social y económica donde se “gestionaron” materiales: – Preparación y conservación de alimentos – Teñido de textiles – Elaboración de medicamentos y cosméticos
<i>Capacidades que devienen centrales en la ciencia escolar por su “continuidad” epistémica con la ciencia erudita</i>	<i>Contenidos estándar de los programas de introducción a las ciencias naturales bajo la “gran idea” de que “todos los materiales del Universo están hechos de partículas pequeñísimas” (Harlen, 2010, p. 21)</i>	<i>Contextos que vinculan ciencia, tecnología y sociedad</i>

III. UNA APROXIMACIÓN COMPETENCIAL A LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN SECUNDARIA

Como adelanté en la sección anterior, entre las competencias paradigmáticas (tanto científicas como metacientíficas), me parece que debemos destacar las que involucran las capacidades de modelizar y de argumentar. Desde un punto de vista epistemológico, estas capacidades estructuran la actividad científica; desde un punto de vista didáctico, resultan indispensables para una ciudadanía científicamente educada (cf. Izquierdo-Aymerich, 2000, 2004; Sanmartí, 2003; Zabala y Arnau, 2007; Bravo y otros, 2009; Márquez, 2009; Jiménez Aleixandre, 2010), porque tienen que ver con demandas sociales actuales como la participación democrática, la toma de decisiones informadas, el juicio crítico, el posicionamiento en las controversias o la lectura no ingenua de los medios de comunicación en torno a temas de carácter científico.

⁶Ver, por ejemplo, Adúriz-Bravo (2005, 2008b, 2011, 2015); Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009a, 2009b); Adúriz-Bravo y otros (2014); Revel Chion y Adúriz-Bravo (2014).

co-tecnológico. Examinaré y ejemplificaré a continuación las llamadas “modelización científica escolar” y “argumentación científica escolar” en clave competencial.

A. La competencia de modelizar en clases de física

La actividad científica escolar, desde el marco teórico de la didáctica de las ciencias naturales al cual adhiero, es una actividad basada en modelos, o modeloteórica (Izquierdo–Aymerich, 2000; Izquierdo–Aymerich y Adúriz–Bravo, 2003; Paz y otros, 2008; Adúriz–Bravo e Izquierdo–Aymerich, 2009b). En este marco teórico, la finalidad principal que persigue la educación científica es habilitar al estudiantado para dar sentido a la realidad natural (racionalidad) mediante colecciones de ideas abstractas, a modo de “mapas” del mundo, que a su vez tienen sentido para ellos (razonabilidad) (Izquierdo–Aymerich, 2004). Las ideas, junto con los lenguajes con que se expresan, las “reglas de juego” que proponen para comprender transformadoramente el mundo, y las finalidades y valores que dan sentido a la actividad, constituyen lo que dentro de la epistemología reciente se conoce como “modelos teóricos”. Adhiero aquí a una conceptualización semántica de los modelos que los entiende como entidades abstractas que poseen dos propiedades importantes: 1. se “parecen” a los fenómenos que intentan modelizar; y 2. se pueden “describir” mediante diferentes recursos expresivos: lenguaje natural, símbolos, tablas, gráficas, imágenes, maquetas, analogías, etc. (Adúriz–Bravo e Izquierdo–Aymerich, 2009b).

La idea de modelo que utilizo proviene de la escuela epistemológica contemporánea conocida como “familia semanticista” (cf. Díez y Moulines, 1997); me interesan en particular, dentro de esta escuela, las aportaciones del epistemólogo estadounidense Ronald Giere (1992). En esta línea de trabajo, la ciencia es reconstruida desde una perspectiva moderadamente realista (los modelos son “similares” al mundo, pero no se reducen a una copia de ese mundo), y moderadamente racionalista (existen formas intersubjetivas de evaluar hasta cierto punto la “calidad” del ajuste entre esos modelos y el mundo).

Con esta fundamentación teórica, llamo competencias científicas basadas en la modelización a aquellas competencias que –reflejando la estructura epistémica profunda de las ciencias naturales– requieren de pensar, decir y hacer de manera coordinada y convergente sobre los fenómenos (cf. Izquierdo–Aymerich, 2004). Para clarificar esta definición, retomo aquí el ejemplo de una competencia física basada en modelos trabajada en una unidad didáctica sobre atomismo (Couló y Adúriz–Bravo, 2010): explicar con el mayor detalle posible por qué resulta tan sencillo reconocer el contenido que tuvieron distintos recipientes vacíos (y sin etiquetas) de productos de limpieza (cuadro IV). Esta competencia invita a pensar en los olores como “trazas” de los materiales que, por tanto, comparten con ellos la estructura “particulada”. Para dar una explicación económica y satisfactoria de cómo se reconocen productos de limpieza por sus “restos”, es necesario imaginarse, representar y nombrar los “átomos” del olor desprendiéndose del material líquido original, permaneciendo en los recipientes aparentemente vacíos y llegando a nuestras narices “empujados” por el aire.

CUADRO IV. Una competencia que aplica el modelo “particulado” de la materia.

Competencia basada en modelos para la física de secundaria básica		
Capacidad	Contenido	Contextos posibles
Dar cuenta de un hecho bien conocido de la vida cotidiana aplicando un modelo discutido en clase	Los olores como “trazas” de los materiales (volatilidad)	La forma “correcta” de oler lo que hay en los recipientes de vidrio durante las prácticas de laboratorio escolares El “Gabinete de Olores” del Museo de la Biblia de Ámsterdam, con vasijas que exhalan perfumes mencionados en los textos sagrados El “olor a pescado” añadido al gas natural de la red doméstica Los gases lacrimógenos La novela <i>El perfume: Historia de un asesino</i> , de Patrick Süskind
<i>El modelo “particulado” de la estructura de la materia se pone en marcha para “subsumir” un hecho, que pasa a ser “caso de la regla” por medio de un razonamiento abductivo (Adúriz–Bravo, 2015)</i>	<i>Contenidos estándar de los programas de introducción a las ciencias naturales. Su abordaje se hace con conceptos científicos cada vez más sofisticados a medida que se avanza en la escolaridad</i>	<i>El contexto inicialmente propuesto (olores de los productos de limpieza) constituye solo una “buena pregunta” (Márquez y Roca, 2006). Luego hay que vincular lo pensado con situaciones más significativas en las que saber qué son los olores resulta importante</i>

B. La competencia de argumentar en clases de física

En esta misma concepción de la actividad científica escolar en la que me ubiqué más arriba, la argumentación es otra de las capacidades centrales; adhiero así a propuestas que asimilan la ciencia, al menos algunos aspectos, a la argumentación razonada en torno a algunos aspectos del mundo natural con el fin de “cubrirlos” con explicaciones parsimoniosas y robustas y convencer a otros de que tales explicaciones son fructíferas (cf. Adúriz-Bravo, 2014). Defino un argumento científico como un texto con estructura compleja (aspecto lógico), organizado en torno a un modelo teórico que se percibe como adecuado para contestarse a una pregunta sobre un determinado fenómeno (aspecto teórico). Este texto argumentativo intenta adecuarse a sus destinatarios (aspecto pragmático) y busca persuadirlos de que la “manera de mirar” ofrecida por él tiene un valor epistémico intrínseco (aspecto retórico) (Adúriz-Bravo, 2014).

Por tanto, voy a entender el proceso de argumentar como producir un texto (escrito, oral o “multise-miótico”, con gesto, imagen, símbolo, etc.) dirigido a dar razones para apoyar el proceso por el cual un fenómeno natural que está siendo estudiado se subsume bajo un determinado modelo teórico. Como esbocé en el apartado anterior, esa subsunción se realiza por medio de un mecanismo de naturaleza analógico-abductiva, en virtud de que se reconoce un parecido de familia (à la Wittgenstein) muy abstracto entre el fenómeno y el modelo que es candidato a explicarlo. Fenómeno y modelo pasan así a ser percibidos como “caso” y “regla”, y al argumentar damos pruebas o evidencias en favor de ese vínculo (cf. Izquierdo-Aymerich, 2000, 2004; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003; Adúriz-Bravo, 2015).

Con esta fundamentación teórica, llamo competencias científicas basadas en la argumentación a aquellas competencias que –una vez más, recogiendo características epistémicas sustanciales de las ciencias naturales– implican “la evaluación de enunciados de conocimiento a la luz de las pruebas disponibles, lo que requiere la coordinación entre datos y conclusiones” (Bravo y otros, 2009, p. 138). Para clarificar esta definición, consideremos aquí una competencia física que requiere aplicar y transferir conocimientos para argumentar en torno a un “hábito” comúnmente extendido: revolver la bebida caliente contenida en una taza para acelerar su enfriado (cuadro V). Se trata de una situación sencilla muy productiva para usar conocimiento aprendido con el fin de justificar: por un lado, los estudiantes saben que la bebida se enfriará sola, sin que hagamos nada, debido al intercambio térmico con el ambiente, y entonces hay que poder caracterizar qué procesos se ponen en juego al revolver (traer líquido del fondo de la taza a la parte alta, aumentar la superficie de líquido expuesta al aire); por otro lado, los estudiantes han visto que revolver, de acuerdo con las experiencias de Joule, implica aumentar la temperatura del líquido, y no disminuirla, y entonces ambos procesos “en competencia” tienen que ser confrontados.

CUADRO V. Una competencia que despliega distintos argumentos termodinámicos para dar sentido a una “intervención” de la vida real.

Competencia basada en argumentos para la física de secundaria superior		
Capacidad	Contenido	Contextos posibles
Mostrar que un hecho bien conocido de la vida cotidiana no es contradictorio con lo discutido en clase	La pérdida de calor en un líquido a través de la superficie de separación de fase con el aire (evaporación)	Una “receta casera” para enfriar bebidas enlatadas mojando la lata y exponiéndola a un ventilador Los ungüentos a base de alcohol etílico, mentol, eucalipto o alcanfor (como el “Vick VapoRub”) La transpiración en los seres humanos La sensación térmica en función del viento
<i>El modelo “particulado”, ahora más elaborado con la inclusión de las nociones de calor, temperatura, agitación térmica y velocidad de las moléculas, explica los procesos de enfriamiento por evaporación y de calentamiento por realización de trabajo mecánico, que “compiten” entre sí. Se requiere argumentar sobre cuál de los dos procesos será más importante</i>	<i>Contenidos estándar de los programas de física de secundaria superior. Para argumentar es necesario caracterizar la misma acción de “revolver” un líquido desde dos modelos: subirle la temperatura realizando sobre él trabajo y bajarle la temperatura facilitando los procesos de evaporación</i>	<i>El contexto inicialmente propuesto (enfriar más rápido la bebida en una taza) constituye solo una “buena pregunta” (Márquez y Roca, 2006). Luego hay que vincular lo pensado con situaciones más significativas en las que participa el proceso de enfriamiento por evaporación</i>

IV. A MODO DE CONCLUSIÓN

En este artículo he presentado una “concreción” de la idea de competencia científica que me sirve para individualizar cuestiones que sí parecen ser enseñables en las aulas de física de los diferentes niveles educativos, sin caer en las retóricas generalistas o formalizantes que –como los profesores de ciencias naturales muchas veces señalan– abundan en la documentación oficial. En este sentido, he querido recuperar la idea de Díaz Barriga (2006) de que “la mejor manera de observar una competencia” es en la profunda amalgama entre habilidad, información y situación (en mis términos, capacidad, conocimiento y contexto).

En la propuesta que he presentado, he puesto en el centro de las aulas de física las competencias que usan modelos y argumentos, y he intentado mostrar que la selección cuidadosa de los “hechos del mundo” sobre los que se va a intervenir modelizando y argumentando resulta el punto crucial. Intentar explicar y explicarse fenómenos que se aparecen como problemáticos y al mismo tiempo abren la puerta a otras cuestiones más abstractas y de mayor importancia para la actuación ciudadana ayuda a:

1. aumentar la significatividad de los conceptos físicos “en uso”, y

2. generar una “imagen de física” más formativa, que la presenta como una actividad profundamente humana.

Se podría afirmar que los estudiantes estarán mostrando auténtica competencia física cuando ejerzan capacidades potentes sobre contenidos curricularmente valiosos no solo en situaciones escolares, sino también en contextos “inéditos” que se reconozcan relevantes para la vida adulta. Sin embargo, disiento con la idea de que apuntar a la aplicabilidad, la generalización y la transferencia como metas de la educación científica implique defender la enseñanza de capacidades vacías de finalidades reconocibles que sugieran contenidos y contextos para trabajarlas. También, en el extremo contrario, estoy convencido de que es importante insistir en que adherir a una visión “ultraespecífica” de las competencias conlleva el peligro de reducir la educación en física a la cuestión técnica de preparar a los estudiantes para un desempeño “eficiente”, descargado de creatividad, flexibilidad, visión crítica, valores y emociones. Parece sensato afirmar que el modelo de actividad científica escolar que aquí he defendido nos da algunas herramientas teóricas para soslayar estas dos dificultades.

Resumidamente, la idea de competencia en la enseñanza de la física que he desarrollado en este artículo la identifica con un saber hacer con criterio que se aprende de manera comprensiva, contextualizado en la realidad en la que se mueve el estudiantado. Ese saber hacer se debería poder manifestar en una variedad de escenarios que permitan reconocer, a partir del desempeño de los estudiantes, niveles satisfactorios de uso de los conocimientos aprendidos en la escuela. Las competencias en física por las cuales abogo pretenden respetar lo que efectivamente da personalidad propia a las ciencias naturales, a pesar de ser el producto de una transposición didáctica cuidadosamente elaborada para educar. Adicionalmente, pretenden capturar aspectos nodales, profundamente formativos, de la naturaleza de la física como producto cultural, buscando “horadar” la imagen cientificista y dogmática dominante.

AGRADECIMIENTOS

Las ideas aquí expuestas fueron desarrolladas en proyectos de investigación PICT (financiado por la ANPCyT, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva) y UBACyT (financiado por la SECyT, Universidad de Buenos Aires).

REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Adúriz-Bravo, A. (2006). La epistemología en la formación de profesores de ciencias. *Educación y Pedagogía*, XVIII(45), 25–36.

Adúriz-Bravo, A. (2008a). La naturaleza de la ciencia. En Merino Rubilar, C., Gómez Galindo, A. y Adúriz-Bravo, A. (Coords.). *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales*, 111–125. Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.

Adúriz-Bravo, A. (2008b). ¿Existirá el “método científico”? En Galagovsky, L. (Coord.). *¿Qué tienen de “naturales” las ciencias naturales?*, 47–59. Buenos Aires: Biblos.

Adúriz-Bravo, A. (2011). Fostering model-based school scientific argumentation among prospective science teachers. *US-China Education Review*, 8(5), 718-723.

Adúriz-Bravo, A. (2012a). Competencias-epítome en la didáctica de las ciencias naturales. En Zambrano, A.C. y Uribe, C. (Comps.) *La formación de educadores en ciencias en el contexto de la investigación en el aula: Segundo Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología*, 71-85. Cali: EDUCyT-Asociación Colombiana para la Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología.

Adúriz-Bravo, A. (2012b). Competencias metacientíficas escolares dentro de la formación del profesorado de ciencias. En Badillo, E., García, L., Marbà, A. y Briceño, M. (Coords.). *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*, 43-67. Mérida: Universidad de Los Andes.

Adúriz-Bravo, A. (2013a). A semantic view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1612.

Adúriz-Bravo, A. (2014). Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. En Matthews, M.R. (Ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*, V. 2, 1443-1472. Dordrecht: Springer.

Adúriz-Bravo, A. (2015). Pensamiento "basado en modelos" en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista del Instituto de Investigaciones en Educación*, 6(6), 20-31.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009a). A research-informed instructional unit to teach the nature of science to pre-service science teachers. *Science & Education*, 18(9), 1177-1192.

Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009b). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.

Adúriz-Bravo, A., Labarca, M. y Lombardi, O. (2014). Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química. En Merino, C., Arellano, M. y Adúriz-Bravo, D. (Eds.). *Avances en didáctica de la química: Modelos y lenguajes*, 37-49. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Adúriz-Bravo, A., Merino, C. e Izquierdo-Aymerich, M. (2012). An approach to the construction of chemistry curricula on the basis of structuring theoretical fields. *Journal of Science Education/Revista de Educación en Ciencias*, 13, specialissue, 42-45.

Adúriz-Bravo, A., Merino, C., Jara, R., Arellano, M. y Ruiz, F.J. (2012). Competencias científicas: ¿Desde dónde y hacia dónde? En Badillo, E., García, L., Marbà, A. y Briceño, M. (Coords.) *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*, 17-42. Mérida: Universidad de Los Andes.

Barros, R. (2012). From lifelong education to lifelong learning. Discussion of some effects of today's neoliberal policies. *European Journal for Research on the Education and Learning of Adults*, 3(2), 119-134.

Bravo, B., Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación Química*, 20(2), 137-142.

Catalano, A.M., Avolio de Cols, S. y Sladogna, M. (2004). *Diseño curricular basado en normas de competencia laboral: Concepto y orientaciones metodológicas*. Buenos Aires: Cinterfor/OIT.

Chalmers, A.F. (1982). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?: Una valoración de la naturaleza y el estatuto de la ciencia y sus métodos*. Madrid: Siglo XXI. [Original en inglés de 1976.]

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage.

Cortés Alegre, A. (2014). El nuevo currículo LOMCE y el trabajo por competencias. *Fórum Aragón*, 12, 30-33.

- Couló, A. y Adúriz-Bravo, A. (2010). “La idea más minúscula”: Unidad didáctica para aprender sobre modelos en torno a la estructura atómica de la materia. En Angulo Delgado, F. y Quintanilla, M. (Comps.). *Unidades didácticas en ciencias naturales y educación ambiental: Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico: Volumen II*, pp. 159–186. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Couso, D. y Adúriz-Bravo, A. (2016). La enseñanza del diseño de unidades didácticas competenciales en la profesionalización del profesorado de ciencias. En Perafan Echeverri, G.A., Badillo Jiménez, E. y Adúriz-Bravo, A. (Coords.). *Conocimiento y emociones del profesorado: Contribuciones para su desarrollo e implicaciones didácticas*, pp. 265–283. Bogotá: Editorial Aula de Humanidades.
- Delors, J. (Pres.) (1996). *La educación encierra un gran tesoro: Informe a la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI: Compendio*. París: UNESCO/Madrid: Santillana.
- Díaz Barriga, Á. (2006). El enfoque de competencias en la educación: ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? *Perfiles Educativos*, XXVIII(111), 7–36.
- Díez, J.A. y Moulines, C.U. (1997). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Barcelona: Ariel.
- Eurydice (Red Europea de Información en Educación) (2002). *Las competencias clave: Un concepto en expansión dentro de la educación general obligatoria*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- Giere, R.N. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. [Original en inglés de 1988.]
- Harlen, W. (Ed.). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield: Association for Science Education.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En Perales, F.J. y Cañal, P. (Comps.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35–64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y modelizar. *Journal of the Argentina Chemical Society*, 92(4–6), 115–136.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27–43.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Garcia Pujol, C. (Eds.) (2009). *Guia per a l'avaluació de la competència científica a ciències, matemàtiques i tecnologia*. [CD-ROM.] Barcelona: AQU.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). *10 ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- La evaluación PISA en ciencias. (2008). *Alambique*, 57.
- Márquez, C. (Coord.) (2009). Simposio “Promover la competencia científica a través de la argumentación y el pensamiento crítico”. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VIII Congreso Internacional, 1278–1279.
- Márquez, C. y Roca, M. (2006). Plantear preguntas: Un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, XVIII(45), 61–71.
- Martín-Díaz, M.J., Gutiérrez Julián, M.S. y Gómez Crespo, M.Á. (2005). Alfabetización científica: ¿Para qué y para quienes? ¿Cómo lograrla? *Enseñanza de las Ciencias*, número extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, s/p. En línea: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRA16alfcie.pdf
- McNally, R.J. y Clancy, S.A. (2005). Sleep paralysis, sexual abuse, and space alien abduction. *Transcultural Psychiatry*, 42(1), 113–122.

- Ministerio de Educación Nacional de Colombia (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales*. Bogotá: MEN.
- Mulder, M., Gulikers, J., Biemans, H. y Wesselink, R. (2009) The new competence concept in higher education: Error or enrichment? *Journal of European Industrial Training*, 33(8/9), 755–770.
- Ortiz–Revilla, J., Greca, I.M. y Adúriz–Bravo, A. (2017). Presencia y caracterización de las competencias científica y matemática en estudios sobre educación primaria. Ponencia presentada en el I Congreso Nacional en Enseñanza de Ciencias Naturales y Matemática, Tandil, Argentina.
- Paz, V., Márquez, C. y Adúriz–Bravo, A. (2008). Análisis de una actividad científica escolar diseñada para enseñar qué hacen los científicos y la función de nutrición en el modelo de ser vivo. *Latinoamericana de Estudios Educativos*, 4(2), 11–27.
- Perrenoud, P. (1999). Identifier des compétences clés universelles: Fantasme de technocrate ou extension des droits de l’homme? Documento de trabajo. Ginebra: Université de Genève.
- Pessoa de Carvalho, A.M. (2002). A pesquisa no ensino, sobre o ensino e sobre a reflexão dos professores sobre seus ensinios. *Educação e Pesquisa*, 28(2), 57–67.
- PISA (Programme of International Student Assessment) (2008). *Informe PISA 2006: Competencias para el mundo del mañana*. Madrid: Santillana Educación.
- Quintanilla, M., Labarrere, A., Díaz, L., Santos, M., Ravanal, E., Cuéllar, L., Camacho, J., Soto, F., Joglar, C., Jara, R. y Ramírez, P. (2008). Identificación, caracterización y promoción de competencias de pensamiento científico mediante la resolución de problemas en estudiantado de secundaria. Comunicación presentada en los XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Almería, España.
- Revel Chion, A. y Adúriz–Bravo, A. (2014). La argumentación científica escolar: Contribuciones a una alfabetización de calidad. *Pensamiento Americano*, 7(13), 113–122.
- Sanmartí, N. (2009). ¿Qué cambios implica la introducción del concepto de competencia en la educación científica? Conferencia dictada en el VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Barcelona, España.
- Sanmartí, N. (2010). Competencias: ¿Más burocracia o un constructo útil? Conferencia plenaria en el II Congreso Internacional de Didàctiques, Girona, España.
- Sanmartí, N. (Coord.) (2003). *Aprender ciències tot aprenent a escriure ciència*. Barcelona: Edicions 62.
- Sanmartí, N. y Sardà, A. (2007). Luces y sombras en la evaluación por competencias: El caso PISA. *Cuadernos de Pedagogía*, 370, 60–63.
- Solbes, J., Ruiz, J.J. y Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique*, 63, 65–75.
- Tobón, S., Rial Sánchez, A., Carretero, M.A. y García, J.A. (2006). *Competencias, calidad y educación superior*. Bogotá: Magisterio.
- Vargas Franco, A. (2015). Literacidad crítica y literacidades digitales: ¿Una relación necesaria? (Una aproximación a un marco teórico para la lectura crítica). *Folios (Segunda Época)*, 42, 139–160.
- Vicario, J., Fernández, A., Tarasconi, C., Esquenazi, S., Garnica, J., Garello, A., Matteoda, R. y Rigotti, P. (2007). *Física basada en competencias: Una propuesta de articulación Universidad–Nivel Medio*. Río Cuarto: UNRC. En línea: <http://portal.educ.ar/debates/eid/fisica/Fisica06Completo2.pdf>
- Westera, W. (2001). Competences in education: A confusion of tongues. *Journal of Curriculum Studies*, 33(1), 75–88.
- Zabala, A. y Arnau, L. (2007). *11 ideas clave: Cómo aprender y enseñar competencias*. Barcelona: Graó.