

"De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica"

Digna Couso Lagarón

Dept. de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals // CRECIM

Universitat Autònoma de Barcelona

Introducción

Desde hace ya algunas décadas la enseñanza y aprendizaje como indagación ha ido ganando terreno en la enseñanza de las ciencias. Fomentada inicialmente desde el ámbito político-administrativo en EEUU con la publicación de los standards de ciencias (NRC 1996), su aterrizaje en Europa se asocia a la publicación del controvertido informe *Science Education Now* (Rocard, 2007). La gran influencia¹ de este informe en las políticas de financiación de investigación educativa en ciencias a nivel europeo ha privilegiado esta estrategia pedagógica por encima de cualquier otra. Sin embargo, desde la comunidad de didáctica de las ciencias, no solo entre aquellos que abogan por otras estrategias didácticas sino también por aquellos interesados en la indagación, han surgido voces críticas frente a este “tsunami indagativo”. En esta presentación queremos resumir nuestra comprensión sobre el marco indagativo, reflexionar desde un posicionamiento crítico sobre el mismo y proponer algunas alternativas que, si bien no las únicas posibles, nos parecen más adecuadas que versiones poco sofisticadas de indagación desafortunadamente comunes hoy día.

Indagación en el aula de ciencias, ¿de qué estamos hablando?

Tal y como hemos discutido en otro lugar (Simarro, Couso & Pintó, 2013) y multitud de otros autores señalan (Anderson, 2002), el uso del término indagación o *inquiry* (en inglés) es sorprendentemente polisémico en la literatura educativa. Barrow (2006) resume en tres aspectos diferentes aquello a lo que los autores se refieren al hablar de indagación:

- a) Una de las capacidades cognitivas que los estudiantes deben desarrollar: la capacidad de “indagar” o “investigar” científicamente.
- b) Lo que es necesario que el alumnado entienda sobre los métodos utilizados por los científicos para dar respuesta a sus preguntas: la naturaleza de la indagación científica.

¹ En comunicación verbal personal Doris Jorde, expresidenta de ESERA y co-autora del informe Rocard, comentó que si hubiera sabido la enorme influencia que este informe ha tenido al limitar la financiación en didáctica de las ciencias a proyectos de “enseñanza de las ciencias por indagación” no hubiera colaborado en el mismo, ya que el resultado ha sido una fuerte intromisión política en el ámbito de la investigación y un reduccionismo de las metodologías aceptables.

- c) Una variedad de estrategias de enseñanza y aprendizaje que el profesorado debe desarrollar para que el alumnado aprenda capacidades de indagación (a) y sobre la indagación científica (b), así como para comprender y aprender conceptos científicos.

El primer significado hace referencia a un contenido “de ciencias” a aprender, las generalmente denominadas destrezas indagativas (*inquiry skills*). Los autores que hacen referencia a este contenido enfatizan su importancia en el aula de ciencias en la que han dominado los contenidos meramente conceptuales. Desafortunadamente se puede encontrar una gran variedad de interpretaciones de este contenido, que podemos situar en un espectro entre dos extremos. Por un lado, los autores o propuestas en las que las destrezas indagativas parecen entenderse como habilidades procedimentales de tipo técnico-manipulativo, tales como medir, observar, hacer una gráfica. En el otro, aquellos que se refieren sobretudo al conocimiento de las prácticas y conceptos en las que se basa la investigación empírica, como la repetición de las medidas para minimizar el error, el control de variables para determinar relaciones de influencia, el uso de pruebas y la comunicación de resultados, entre otros (Millar, Lubben, Gott & Duggan, 1995).

El segundo sentido que suele darse al término indagación en la literatura es al que hacen referencia los autores cuando hablan de la indagación como actividad inherente del quehacer científico o práctica científica (Jiménez-Áleixandre, 2011, Kelly & Duschl, 2002). En este sentido se habla de indagación desde un punto de vista epistémico y como un contenido a aprender, en este caso “sobre ciencias”. La importancia de llevar la indagación al aula de ciencias reside, desde este punto de vista, en la importancia de hacer a los alumnos comprender cual es la naturaleza de la ciencia (como es y como se hace) a partir de su participación en prácticas científicas lo más auténticas posible. De nuevo, se encuentra en la literatura y en la práctica de aula usos muy diferenciados de esta idea según la visión de la naturaleza de la ciencia que los autores posean. Así, encontramos propuestas de corte empiricista y dominadas por la aplicación del “método científico”, al que según Windschitl y colegas es “difícil escapar” (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Según los autores el método científico universal de pasos bien establecidos (observar, plantear una pregunta, desarrollar una hipótesis, conducir un experimento, analizar datos, extraer conclusiones, generar nuevas preguntas) es parte de la cultura, un icono perdurable y común en libros de texto, presentaciones en ferias de ciencia, informes de trabajos de investigación, y también en el discurso de los docentes. Las nuevas visiones de la naturaleza de la ciencia, donde la actividad científica crucial es “*el desarrollo de explicaciones basadas en pruebas sobre como funciona el mundo*” (Giere, 1991), pone de manifiesto la importancia de la cognición (el razonamiento, la argumentación) en la actividad científica, que es eminentemente semántica (construir explicaciones para dar significado) y por ello se priorizan prácticas como la modelización, y su relación con una indagación creativa, influenciada por la teoría y al servicio de la evaluación de teorías y modelos.

Por último, la literatura sobre indagación habla de *inquiry* para referirse sobretudo a una metodología de aula, la “enseñanza de las ciencias como indagación” o “enseñanza de las ciencias centrada en la indagación”, conocida como IBSE (*Inquiry-based Science Education*) por sus siglas en ingles. A diferencia de los dos anteriores, IBSE no es un contenido a enseñar y aprender sino una forma de enseñar y aprender, es decir, un enfoque didáctico y metodología de aula útil para aprender. En este sentido, se trata de una forma de enseñar y aprender, además de los contenidos de ciencias y sobre ciencias

mencionados, también los contenidos conceptuales. En general, los autores que promueven IBSE como metodología la proponen como alternativa a la enseñanza tradicional de corte “deductivo” y la asocian a otras metodologías bien conocidas, como el aprendizaje basado en problemas o el aprendizaje por proyectos (Rocard, 2007).

En la literatura del ámbito, y no sólo para las ciencias, existen variedad de definiciones de IBSE bajo una enorme variedad de términos (*learning through inquiry, inquiry teaching, learning as inquiry, teaching as inquiry, inquiry, inquiry-based learning, ...*). Un ejemplo de definición de enseñanza y aprendizaje de tipo indagativo sería el del Cuadro 1. En cada definición y propuesta se esconde una visión particular tanto de lo que se está entendiendo como estrategias indagativas a enseñar y aprender como de la naturaleza de la ciencia que se comunica con la participación en esa indagación. En el ejemplo del Cuadro 1, por ejemplo, las destrezas que los alumnos desarrollan en el entorno indagativo están muy relacionadas con la observación directa de los fenómenos (“tomar datos con sus sentidos”) y la imagen de ciencia que se comunica es la de una actividad básicamente empírica, orientada a “hacer descubrimientos”.

What is Inquiry teaching?

Inquiry teaching is allowing students' questions and curiosities to drive curriculum. Inquiry begins with gathering information through applying the human senses — seeing, hearing, touching, tasting, and smelling. Inquiry encourages children to question, conduct research for genuine reasons, and make discoveries on their own. The practice transforms the teacher into a learner with students, and students become teachers with us. Inquiry teaching honors previous experience and knowledge. It makes use of multiple ways of knowing and taking on new perspectives when exploring issues, content, and questions

Cuadro 1: Ejemplo de definición de enseñanza indagativa disponible en Internet en una página de recursos para docentes.

Fuente: <http://www.learner.org/workshops/inquiry/resources/faq.html>

Independientemente de la definición de indagación que se use, y de cómo ésta se sitúe en los ejes mencionados (destrezas indagativas y naturaleza de la ciencia), uno de los aspectos característicos de las propuestas IBSE es el hecho de justificar esta metodología en base a dos ideas. La primera, que hay que llevar la autenticidad de la práctica científica al aula, de forma que la actividad de los alumnos al aprender ciencia se parezca a la actividad de los científicos en el mundo real. La segunda, que hay que motivar e involucrar a los alumnos y para ello la actividad que se haga en el aula debe ser “*engaging*” (motivadora, involucrante). La solución que se propone para ambos problemas (falta de autenticidad y falta de motivación) es involucrar a los estudiantes en una indagación de carácter científico. Al hacerlo se está usando como premisas que, en primer lugar, indagar es una práctica científica clave y determinante en ciencias, llegando en algunos casos incluso a equipar hacer ciencia con indagar. En segundo lugar, que ésta práctica puede reproducirse en el aula de ciencia de forma simplificada. Y en tercer lugar, que como nos demuestra el éxito de Sherlock Holmes o CSI, no hay nada más interesante para todos los alumnos que una buena investigación.

Partiendo de esta justificación “común” para el enfoque indagativo, ¿en qué se basa (o qué tiene en común) la enseñanza y aprendizaje de las ciencias como indagación o IBSE? Desde nuestro punto de vista, la variedad de propuestas IBSE se caracterizan por:

1. girar entorno a un escenario de enseñanza-aprendizaje de investigación, generalmente de tipo práctico (observaciones, experimentos, ...), donde los alumnos se plantean preguntas y obtienen sus propios datos. También hay escenarios donde se usan datos disponibles.

2. dar mucha importancia a la actitud y motivación de los estudiantes, otorgándoles un papel muy activo y protagonista. En general se les propone trabajar en grupo y se les da mucha más autonomía y capacidad de decisión y elección que en el aula tradicional, en particular cuando la indagación es abierta y los estudiantes escogen incluso la temática a trabajar.
3. por contraposición a lo anterior, enfatizar la importancia de un papel más pasivo del profesor, usando generalmente la idea de “guía” y “facilitador” de la indagación.
4. organizar la instrucción en etapas o fases, siguiendo un cierto ciclo que emula la investigación científica real.

Uno de los patrones de instrucción más usados es el denominado “ciclo de aprendizaje de las cinco Es” (el clásico *5E learning cycle* de Bybee), que organiza la instrucción indagativa entorno a cinco etapas: Motivación-Involucramiento (*Engagement*), Exploración-Investigación, Explicación, Extensión-Elaboración y Evaluación. En la propuesta del National Reserach Council de EEUU en los *National Science Education Standards* (NRC, 1996), estas etapas se presentan como características de la enseñanza indagativa: 1) planteamiento de preguntas orientadas desde la ciencia que permitan la participación activa del alumnado, 2) recopilación de pruebas por parte del alumnado con el fin de permitir el desarrollo y evaluación de las propias explicaciones a las preguntas planteadas, 3) desarrollo de explicaciones a partir de las propias pruebas para dar respuestas a las preguntas planteadas, 4) evaluación de las propias explicaciones, que pueden incluir explicaciones alternativas que reflejen una comprensión científica y 5) comunicación y justificación de las explicaciones propuestas. Diferentes proyectos y autores modifican de formas variadas estas propuestas, por ejemplo añadiendo al final una etapa de reflexión sobre lo trabajado y aprendido (Proyecto PATHWAY), enfatizando la importancia de no seguir estos pasos de forma lineal, etc.

Los problemas del enfoque indagativo para el aula de ciencias: algunas reflexiones críticas

El enfoque metodológico IBSE, como la mayoría de “modas educativas”, tiene en nuestro país, para bien o para mal, una vida mucho más teórica (política y académica) que práctica. Podríamos decir que son muy pocos los docentes que enseñan de esta forma, y los que lo hacen son docentes entusiastas que están generalmente asociados a algunos de los interesantes proyectos europeos (Materials Science, PRIMAS, PROFILES, COMPAS,...) o estatales que se han realizado y realizan bajo este marco. En otros lugares, y en particular en EEUU, la indagación tiene una trayectoria mayor como propuesta docente, y existe suficiente investigación y literatura para poder hablar de ciertos resultados.

Una de las mayores críticas que recibe la metodología IBSE es que, en contra del exagerado entusiasmo de informes políticos y documentos curriculares, no ha “demostrado” ser mejor metodología que otras para la enseñanza y aprendizaje de contenidos científicos. En citados meta-análisis educativos como el de Hattie (2009), que cubre más de 50.000 investigaciones en estrategias docentes a nivel internacional y para diferentes disciplinas, la indagación ni siquiera es una de las múltiples estrategias que superan el umbral de efecto significativo. Ya en enseñanza de las ciencias, son muchos los autores que también ponen de manifiesto que no pueden atribuirse mejoras a la estrategia IBSE respecto a otras estrategias bien planteadas (Cobern *et al.*, 2010).

A pesar de estos resultados, no queremos plantear aquí una crítica *constructiva* a la

enseñanza de las ciencias como indagación por la falta de evidencias empíricas de su éxito. En primer lugar, porque hay también mucha investigación que sí reporta resultados positivos (por ejemplo, Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007 o Minner et al., 2010). En segundo lugar, porque la realidad es que las otras metodologías tampoco han “demostrado” ser mejores que IBSE, y que, de hecho, tal cosa no se puede realmente “demostrar”. En tercer lugar, porque hay tantas versiones de IBSE que resulta muy difícil estudiar y comparar estos estudios (Brown et al., 2006). Además, coincidimos con otros autores en que seguramente esta escasez de resultados positivos no se deba tanto al hecho de que poner a los alumnos a indagar sea negativo, sino a las versiones tan pobres y simplificadas de indagación que se proponen, en particular para primaria (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Sea cual sea la situación, consideramos que es importante repasar los motivos por los que la enseñanza de las ciencias por indagación no es ni puede ser la panacea. Aunque a algunos está crítica les pueda parecer un *déjà vu* porque ya vivieron en su momento el encumbramiento y destrone de la enseñanza por descubrimiento (movimiento con el que la “mala indagación” tiene mucho en común), creemos pertinente volver a hacer ciertas reflexiones en aras a las nuevas ideas y conocimientos que tenemos en didáctica de las ciencias hoy, porque como se suele decir, pareciera que no acabamos de aprender de nuestra historia.

Sin haber realizado un análisis exhaustivo, nuestra crítica personal a muchas de las actividades presentadas como IBSE a las que hemos tenido acceso se pueden resumir en tres aspectos principales:

1. Reducir la clase de ciencias al planteamiento de indagaciones que, en el mejor de los casos, sólo sirven para aprender a indagar... ¡y encima mal!
2. Evaluar la calidad de la docencia en base a la motivación y actividad de los estudiantes, confundiendo estar activo físicamente con estar motivado y activo intelectualmente.
3. Otorgar un papel secundario al profesor y a las estrategias docentes, que se presenta o se entiende como mero facilitador y guía.

y subyacente a todas las anteriores:

4. Desconexión con el mundo de las ideas, la teoría y el conocimiento científico, limitando los contenidos a enseñar, reduciendo las demandas cognitivo-discursivas de los estudiantes y ofreciendo una imagen de la ciencia desvirtuada.

A continuación discutimos y ejemplificamos algunas de estas ideas.

1. Indagación sólo para aprender a indagar, ¡y encima mal!

La metodología IBSE parte de la premisa, que consideramos bien fundamentada en las nuevas ideas sobre el aprendizaje como la cognición situada, de que para “aprender a indagar científicamente” la mejor forma es, precisamente, involucrarse en la actividad, cultura y contexto de una indagación científica. Por tanto, las actividades de IBSE pretenden proveer esa experiencia a los alumnos.

El problema radica en que, tal y como hemos presentado al principio de esta ponencia y en consonancia tanto con propuestas curriculares clásicas que hablan de enseñanza *de* y *sobre* ciencias (Hodson 1992) como con el nuevo marco competencial de PISA 2015

(OCDE, 2013, Garrido & Simarro, 2014), los contenidos a aprender no deberían ser solo las “destrezas indagativas” necesarias para indagar, sino también contenidos epistémicos o sobre la naturaleza de la ciencia y contenidos conceptuales de ciencia (leyes, teorías y modelos).

En este sentido sorprende que muchas actividades indagativas que se proponen, tanto para la formación inicial y continuada de docentes como para el aula, carecen de un contenido conceptual claro y comunican un contenido epistémico pobre e inadecuado. Veamos algunos ejemplos reales en el Cuadro 2.

	
<p>En un curso de formación de docentes en ejercicio sobre IBSE, ofrecido en el marco del proyecto MetodeLab (Dinamarca), se plantea a un grupo de profesores de primaria investigar cual es el mínimo numero de globos que hacen falta para sostener a tres profesores sobre una plataforma. Los profesores hacen sus predicciones, plantean hipótesis, realizan el experimento, toman datos, etc. Esta actividad se usa para enseñar a los docentes el “método científico”, así como a hacer predicciones, plantear hipótesis, diseñar experimentos, etc.</p> <p>Fuente: Extraído de la conferencia plenaria de Sarah Tougaart, Simposio ENCIENDE de COSCE, Caixaforum Madrid, 2013.</p>	<p>Se busca que unos alumnos de primaria que comparen diferentes relojes de arena para identificar los parámetros de los que depende el tiempo que tarda la arena en acabarse. Para ello, el profesor les muestra al menos 3 relojes de arena, uno que tarda mucho más que los otros. Los alumnos, en grupos, observan, dibujan, describen los relojes de arena y al observar que uno tarda mucho más que los otros, de forma instintiva, se preguntaran que hace que tarde más. Así empezaran su investigación habiéndose apropiado de la misma.</p> <p>Fuente: Extraído del informe Rocard (2007) y proveniente del proyecto Pollen como ejemplo de una buena forma de plantear la enseñanza IBSE.</p>
<p>Cuadro 2: Ejemplos de actividades IBSE reales que consideramos sirven sólo para aprender destrezas indagativas.</p>	

Si analizamos el ejemplo de la izquierda vemos que el objetivo real de los autores es enseñar a profesores de primaria a indagar, y en concreto, como se aplica el método científico. El contenido conceptual que se puede aprender en esta actividad es prácticamente nulo. Aunque podría darse el caso que se planteara la misma para aprender alguna cosa sobre equilibrio de fuerzas, fuerzas de acción y reacción, la relación entre presión y volumen en gases, etc. la realidad es que trabajar cualquiera de estos conceptos complejos involucraría por parte del formador un esfuerzo por focalizar la mirada que no se realiza. La idea sería conseguir que los docentes vieran el fenómeno “a través de sus ideas” sobre equilibrio, fuerzas o gases (por ejemplo, preguntar qué hace que exploten los globos cuando los profesores se suben a la plataforma o qué aguanta a los profesores en la situación de equilibrio). Y la respuesta a estas preguntas no puede surgir de la experiencia directa con el fenómeno, aunque sí pueda relacionarse

con la misma y aprovecharse ésta para que la “teoría” o idea científica que se quiera enseñar tenga más sentido.

Del mismo modo, el contenido epistémico es enormemente pobre, debido a que la investigación que se propone sigue de forma simplista el denominado “método científico” icónico del que hablábamos al principio, que desafortunadamente se plantea como “la manera de hacer ciencia”. Así, los docentes asistentes siguen un camino lineal de observación, formulación de hipótesis, realización del experimento, obtención de datos y elaboración de conclusiones que parece muy científico, pero que en realidad no lo es. En este tipo de ejercicios la imagen de la ciencia que se comunica y la práctica científica que los alumnos experimentan es profundamente empiricista y naive. Y esto no sólo pasa en la formación de maestros. Como ya apuntaban Chinn y Malhotra (2002), buena parte de las tareas indagativas que se dan a los estudiantes en las escuelas no reflejan los atributos centrales de la indagación científica auténtica (de la que hablaremos después).

Uno podría argumentar que las actividades presentadas se diseñaron sólo para enseñar habilidades o destrezas indagativas (*inquiry skills*), y que por tanto, no es tan problemático que no se trabajen, se trabaje poco o se trabajen mal los contenidos conceptuales o epistémicos. Sin embargo, y he aquí la parte importante de la crítica que hacemos, el problema radica en que tampoco se trabajan adecuadamente las destrezas indagatorias, por dos motivos principales.

El primero, porque no queremos enseñar a indagar “en general”, sino en ciencias, y de forma que se parezca a la práctica científica de indagar. Y en ese sentido el contexto de la indagación no es trivial: no es igual indagar sobre relojes de arena como plantea el ejemplo de la derecha del Cuadro 1, que sobre materiales de diversa flotabilidad, o sobre plantas que sobreviven en diversos sustratos. Y esto es así porque con los relojes de arena difícilmente responderemos una pregunta científica. En general, en la literatura sobre indagación pareciera que a veces se ha confundido investigable por científico, y se destaca la importancia de la “investigabilidad” de las preguntas que los alumnos proponen (el hecho de que se puedan obtener pruebas para responderlas), frente a su “cientificidad” (que se puedan relacionar esas pruebas con una idea científica clave). Saber cuántas personas de la sala fuman o han venido en avión es claramente investigable, pero no necesariamente científico (no me sirve para profundizar en ninguna idea científica), a no ser que tenga alguna teoría sobre didactas que fuman o prefieren el avión. Aunque en los *standards* de EEUU, tal y como hemos mencionado, se explicita la necesidad de que el planteamiento de preguntas esté orientado desde la ciencia (NRC 2000), la realidad en las actividades de indagación que encontramos a menudo, tal y como muestran los ejemplos del Cuadro 2, no es ésta.

El segundo motivo por el que estas actividades ejemplo de “indagar para aprender a indagar” no consiguen adecuadamente ese fin es que las destrezas indagativas que se proponen suelen ser de bajo perfil cognitivo, más a menudo procedimientos y técnicas manipulativas que destrezas cognitivo-discursivas. Por ejemplo, en la implementación de la actividad de los relojes de arena se suele poner el énfasis en que los alumnos aprendan a medir con el cronómetro o a representar sus mediciones en una gráfica de barras. Sin subestimar la importancia de que los alumnos aprendan estos procedimientos y técnicas, en particular en primaria, el énfasis que muchas actividades indagativas dan a las mismas no es comparable con el que se da a destrezas indagativas de orden superior, como controlar variables, planificar procedimientos o interpretar patrones en las pruebas, que son mucho más difíciles de aprender y deben trabajarse en cada oportunidad. En nuestro ejemplo, significaría preocuparse de que los alumnos entiendan

la necesidad de controlar el experimento (como no podemos conseguir dar la vuelta a los tres relojes a la vez para compararlos, vamos a medir cada uno y comparar lo que tardan. Por eso usamos el cronómetro). O profundizar en identificar patrones (representar los datos de forma que los podamos comparar fácilmente y se explicita un patrón que ya intuimos, como más arena, más tiempo). Aunque puedan parecer destrezas complejas para alumnos de primaria, estamos de acuerdo con Metz (2004, 2008) que los estudiantes de primaria son capaces de empezar a desarrollar estas destrezas indagativas.

Un ejemplo de actividades de indagación que básicamente pretenden trabajar las destrezas indagativas (por tanto, sólo aprender a indagar) y que sin embargo lo hacen en un contexto científico adecuado (sea histórico o actual) y sin focalizarse en las habilidades técnico-procedimentales sino en las cognitivas-discursivas son las actividades del grupo RODA de la Universidad de Santiago de Compostela para el proyecto *Mind the Gap* (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2009) o las actividades del proyecto IDEAS del Kings College de Londres (Osborne, Erduran y Simon, 2004), que incluyen ejemplos para primaria y secundaria.

2. Confundir estar involucrado y activo físicamente con estar motivado y activo intelectualmente

Uno de los grandes aportes de la enseñanza como indagación radica en su éxito en la motivación del alumnado. Incluso las voces críticas con el marco indagativo reconocen que generalmente las investigaciones sobre IBSE reportan mejoras en la actitud de los alumnos hacia las clases de ciencias respecto a la enseñanza tradicional (Anderson, 2002). Y esto no es una mejora menor. Teniendo en cuenta el preocupante creciente desinterés de los alumnos por las asignaturas de ciencias a lo largo de su escolaridad, sea por motivos pedagógicos (Rocard 2007) o coyunturales (Osborne & Dillon, 2008), mejorar la actitud hacia las clases de ciencias es un gran resultado.

Sin embargo, deberíamos preguntarnos cuál es la clave de esta mejora, y si se debe a la aplicación de una versión adecuada o inadecuada de IBSE. Es decir, si resulta motivador e involucrante el participar en una indagación focalizada en aprender tanto práctica científica como conceptos, con énfasis en las actividades cognitivas-discursivas, bien regulada por el docente y que comunica una imagen de ciencia adecuada. O, por el contrario, si la motivación está asociada a una indagación meramente manipulativa (lo que comúnmente llamamos “jugar con cacharritos”), poco dirigida (los alumnos se preguntan lo que les parece y buscan respuestas como les parece) y superficial (donde predomina el ensayo y error y la descripción directa de lo observado como conclusión). La experiencia con alumnos de magisterio del equipo de la Universidad de Almería reportada en la tesis de Martínez-Chico (2013), por ejemplo, mostraría que se puede hacer una enseñanza IBSE de alta calidad de forma muy motivadora para el alumnado.

Independientemente de si cualquier enseñanza IBSE resulta motivadora e involucrante, el problema que vemos es la relación directa que pareciera se pretende establecer entre cualquier versión de enseñanza IBSE y el concepto de “ciencia divertida”. Cuando el cambio metodológico hacia IBSE se justifica desde este punto de vista (lo cual es sorprendentemente común!), se enfatizan aspectos de IBSE que no son los claves ni desde luego los más apropiados para que la práctica que los alumnos experimenten sea epistémica y didácticamente enriquecedora. Ni para que se aprenda de y sobre ciencias lo que se debe aprender. Por ejemplo se confunde el alumno activo físicamente (que toquetea y cacharrea, encuentra por azar, etc.) con un alumno involucrado

intelectualmente (que piensa, se pregunta, prueba con sentido, analiza sus observaciones, reflexiona, ...). Y sin embargo, es este tipo de “involucramiento cognitivo” (Flick, 2004) el que permite que una actividad indagativa sea realmente formativa.

Ogborn (2012) profundiza en esta cuestión, al hablar de “pensamiento rápido” y “pensamiento lento”. El pensamiento rápido ocurre de forma involuntaria y es lo primero que nos viene a la cabeza ante una situación. Suele ser aproximado y simplista porque, entre otras, se caracteriza por usar la memoria asociativa, inferir e inventar causas, evitar la ambigüedad y la duda, y focalizarse en las pruebas existentes ignorando las no existentes. El pensamiento lento, por el contrario, es el producto de esforzarse y ponerse a pensar intencionadamente, y se caracteriza por una disposición crítica, al considerar y evaluar alternativas. En este sentido, para Ogborn la ciencia y por ende la indagación científica real se basa básicamente en “pensamiento lento”. Para el autor es la dificultad de que se produzca fácilmente este pensamiento lento en el aula, en sesiones cortas y a partir del trabajo práctico, el argumento principal para criticar la enseñanza por indagación.

Las críticas a la “activitis” de algunas orientaciones IBSE son clásicas. Anderson y Smith ya hablaban en los 80 de una orientación a la actividad (*activity-driven*) que llevaba a los estudiantes a manipular mucho y pensar, hablar, cuestionar o construir muy poco. Su crítica se realizaba en un contexto, el norteamericano, en el que en las aulas en las que se había abandonado la enseñanza tradicional imperaba la “activitymania” (Moscovici & Nelson, 1998). Actualmente, y de acuerdo a las investigaciones de muchos autores, esta situación no ha cambiado: la actividad sin comprensión parece un aspecto común de la vida escolar para los estudiantes norteamericanos (Roth & Garnier, 2007, Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Estos últimos autores, al analizar video-datos de aulas norteamericanas de TIMSS concluyeron que “*casi un tercio de las lecciones enfocaba la atención de los estudiantes en hacer actividades sin ningún intento del profesorado en relacionar estas actividades con ideas científicas*” (p. 20). En Europa también encontramos estas situaciones en las que la actividad práctica lo es todo (Ogborn, 2012). Propuestas como la sorprendentemente reconocida *La Main à la Pâte* (las manos en la masa) lo reivindican desde el título.

¿Y como puede ser que siga ocurriendo esto, a pesar de que prácticamente todos los autores que hablan de *inquiry* (incluso aquellos que creemos plantean indagaciones inadecuadas) enfatizan que no se están refiriendo a “activitis”? Es interesante comprobar que esta sesgada idea de indagación es una primera aproximación a la comprensión de la metodología IBSE muy común, por ejemplo por los futuros docentes (Appelton, 2005; Zembal-Saul, 2009). Desde nuestra experiencia como formadores de maestros, coincidimos con otros autores en que un motivo principal es que para ellos el objetivo primordial es que la clase de ciencias sea divertida (Abell & McDonald, 2004). Superar esta idea puede ser difícil, a juzgar por los ejemplos discutidos en la sección anterior. Si bien no muy formativa, hay que reconocer que la actividad de los globos debió resultar muy divertida para los profesores asistentes.

Una última idea respecto la actividad de los estudiantes en los escenarios IBSE es el hecho de que en la mayoría se suele plantear la indagación en grupo, de forma cooperativa. Si bien a nuestro modo de ver este ha sido uno de las contribuciones más importantes del movimiento indagatorio a la renovación pedagógica en las aulas, muy a menudo nos encontramos con actividades que se plantean en grupo sin que ello signifique que se aproveche realmente esta circunstancia para el aprendizaje. Por

ejemplo, muy a menudo no se planifiquen cuidadosamente las situaciones donde la conversación y la discusión científica de las ideas entre alumnos y profesores sean el eje central de la actividad de construcción conjunta de significado. La importancia de revertir esta tendencia no sólo reside en el hecho de que desde una visión social y cultural del aprendizaje el rol de la comunidad y el lenguaje son cruciales para el aprendizaje de los alumnos, sino también desde un punto de vista epistemológico, para conseguir una práctica científica más auténtica. Al compartir una visión de la práctica científica como práctica eminentemente discursiva de una comunidad, son estas situaciones discursivas las que deben reproducirse en el aula (Magnusson, Palincsar & Templin, 2004)

3. Enfatizar un rol del profesor más facilitador que activador

En muchas descripciones de actividades IBSE se enfatiza la importancia de un nuevo rol del profesorado en estas actividades. Por contraposición a la enseñanza tradicional, en IBSE se demanda al profesorado abandonar su papel de “fuente de información” y “actor principal” para pasar a ser un facilitador de la actividad en la que los alumnos son protagonistas.

Si bien está claro que resulta una mejora educativa sustancial que el profesorado abandone posiciones centradas en él mismo (en sus explicaciones, su discurso, etc.) para adoptar una postura de enseñanza centrada en los alumnos (sus ideas, su forma de expresarlas), consideramos que en algunos casos las propuestas IBSE exageran y tergiversan esta recomendación. Coincidimos con Holliday (2004) en que es una comprensión errónea de indagación la que lleva a algunos docentes a tomar una postura de “manos fuera” que deje a los estudiantes “descubrir” la ciencia por sí mismos. En éste tipo de propuestas se destaca que el profesor “facilita” el entorno material en el que ocurre la indagación (recursos, herramientas,...) y una mínima guía pedagógica (gestión de aula, organización de la actividad), pero no se le presenta como el director de la actividad física y sobretodo cognitivo-discursiva que transcurre en el aula.

Desafortunadamente en la literatura y sobretodo en las producciones (materiales de aula, videos de clase, reflexiones) de maestros y profesores practicando IBSE, en particular en sus modalidades abiertas o menos estructuradas, puede verse como generalmente se destaca la actividad “prácticamente sin guía” del alumnado. Es decir, se reporta la actividad destacando como aspectos positivos que los alumnos han sido los protagonistas “totales” de la misma, porque han escogido lo que querían estudiar y/o trabajado de forma autónoma mientras los profesores tenían un papel secundario que les permite “no saber” donde lleva la indagación sin que eso sea problemático. En estas descripciones positivas del aula indagativa, sin embargo, no se reporta de forma crítica la idoneidad del tema escogido, de la forma en la que se ha trabajado y en particular de los resultados a los que se haya llegado. Es decir, la calidad y cantidad de aprendizaje que se haya producido en estas circunstancias de poca guía docente.

Un ejemplo interesante son la enseñanza por proyectos en las aulas de infantil y primaria, en estos momentos muy en boga en nuestro país y que suele plantearse con un enfoque indagativo. Tal y como describen Garriga, Pigrau y Sanmartí (2012), en la mayoría de estos proyectos los temas que escogen los alumnos sirven para satisfacer una curiosidad inicial (en ocasiones fuertemente mediatizada), pero difícilmente para construir ideas potentes de la ciencia, que les sirvan para analizar y entender otros entornos y situaciones (que se puedan transferir) ni que les sirvan para actuar de forma responsable en el mundo (que puedan aplicar con valores). Mi experiencia como

formadora de maestros de primaria y tutora de *practicum* en el aula es que muy a menudo cuesta relacionar una idea científica clave con los temas que los alumnos escogen (los robots, los dinosaurios, ...). Temas que además no posibilitan que se pueda interactuar fácilmente con el fenómeno objeto de estudio. Con respecto a la actividad en el aula, en estos proyectos los alumnos básicamente buscan, cortan y pegan información sin reflexionar sobre sus propias ideas sobre el tema ni revisarlas (y por tanto sin hacerse autónomos aprendiendo), aunque demuestren ser autónomos en buscar, cortar y pegar. Como las autoras, ponemos en duda que en este tipo de proyectos la motivación inicial de escoger el tema y la autonomía de los alumnos al desarrollarlos sean buenos indicadores de calidad de enseñanza y aprendizaje. Afortunadamente hay otras formas de plantear los proyectos que sí resultan adecuadas, pero en ellos el docente debe tener un papel enormemente activo y gestionar desde la elección del tema a las conversaciones que se producen (ver los ejemplos de la maestra Neus Garriga, en Garriga et al., 2012).

En este sentido, nos parece importante destacar que el docente ha de ser mucho más que un mero facilitador de la situación de enseñanza-aprendizaje, y creemos que podría ser una metáfora más adecuada la de profesor-regulador, por ejemplo. Interesantemente, en un meta-estudio de investigaciones sobre metodologías de enseñanza y aprendizaje, el estilo docente denominado “activador” presente en muchas de ellas mostró estar relacionado con mucho mejores resultados que el denominado “facilitador”, al que el autor asociaba la indagación entre otras. Asociadas al primer estilo docente se encuentran estrategias que requieren un importante esfuerzo por parte del docente como “agente de cambio”, tales como la evaluación formativa, la enseñanza de destrezas metacognitivas, la enseñanza con mapas mentales, la enseñanza de habilidades cognitivo-lingüísticas (resumir, generar preguntas, ...) o enseñar a los alumnos a verbalizar y argumentar sus ideas, entre otras (Hattie, 2008).

En el caso del aula de ciencias, ser “agente de cambio” significa actuar explícitamente sobre las ideas de los alumnos para que lleguen a acercarse a las ideas científicas escolares objeto de aprendizaje. Estamos de acuerdo con Ogborn (2012) en que esto implica un reto para el profesorado en particular en el contexto indagativo: “*El papel de la actividad práctica es provocar el pensamiento, y el reto más importante para el profesor es motivar y desarrollar un diálogo y pensamiento productivo*” (p.8).

En este sentido, y en contra de lo que a veces se promulga en IBSE (el docente casi “descubriendo” con los alumnos), una buena enseñanza indagativa para aprender ciencia escolar requiere por parte de los docentes un importante conocimiento científico y didáctico del contenido (CDC) que se está tratando. A diferencia del aula tradicional, el CDC necesario debe ser especialmente rico, porque debe incluir conocimiento del “mundo empírico” del concepto o idea científica escolar que se trata: los fenómenos relacionados, una secuencia de experimentos de aula que ayuden a construir las ideas, experimentos clásicos de la ciencia o experimentos mentales asociados, etc. A diferencia del aula tradicional, éste CDC necesario no es sólo el del contenido conceptual que se trabaja, sino también de las prácticas epistémicas en las que se participa. Así, el docente también debe saber de indagación, de argumentación y/o de modelización, porque debe guiar la participación de sus alumnos en estas prácticas epistémicas (NRC, 2007).

Por si esto fuera poco, también se requiere el dominio de estrategias discursivas en el aula. Esto es debido a que una enseñanza indagativa centrada en desarrollar un diálogo y pensamiento productivo para aprender “ciencia escolar” debe necesariamente navegar entre aproximaciones comunicativas. En particular, entre la promoción de un discurso

dialógico con los estudiantes y la introducción no transmisiva del discurso autoritario con la visión científica escolar (Scott & Mortimer, 2006).

Teniendo en cuenta las enormes demandas en conocimiento y competencia a los profesores que quieren enseñar ciencia escolar como una indagación, no es de extrañar que en los contextos donde ha proliferado la enseñanza y aprendizaje indagativa se haya realizado de manera simplificada. Conseguir que una masa crítica de docentes adquiriera estos conocimientos y competencias no puede hacerse sin una enorme inversión en estructuras formativas y de acompañamiento para la formación continuada, ni sin cambiar el peso y formato de la enseñanza de las ciencias en la formación inicial.

Una última reflexión personal sobre el papel de los docentes en la enseñanza IBSE es una desafortunada tendencia que se encuentra en algunas propuestas, en particular aquellas que provienen o están fuertemente ligadas al ámbito científico (como las de las academias de ciencia, grandes laboratorios e instituciones científicas o centros de ciencia y divulgación científica, etc.). En estas propuestas parece partirse de la base de que como los docentes (en particular los maestros de primaria) tienen poca formación científica, para poder enseñar “buena ciencia” y en la forma en la que “se hace la ciencia” deben estar asistidos por expertos en ciencias (generalmente científico y/o, divulgadores, ...). La premisa que parece imperar es la nefasta (y desafortunadamente extendida) ecuación de: Pedagogía innovadora + Ciencia = Buena Enseñanza de las Ciencias. Así, se relega el papel del docente al de ejecutor en el aula de una metodología (la indagación) propuesta “des de la ciencia” por los que “saben de ciencia”. En consecuencia, se ignora la voluntad didáctica de interrelacionar y sobretodo problematizar el qué, cómo y también para qué enseñar.

A pesar de que considero que indudablemente los científicos tienen y deben tener un papel importante en la enseñanza de las ciencias (en particular porque la mayor parte son también profesores de ciencias en el nivel universitario); que tal y como he publicado en otras partes coincido en que los maestros tienen, en general, muy poca formación científica; y que la enseñanza de las ciencias puede beneficiarse de la colaboración entre ambos (COSCE, 2011), me parece muy preocupante que no se recurra al cuerpo de investigación ya consolidado de la didáctica de las ciencias como parte de la ecuación. Sin pretender ser corporativista, existe en la investigación educativa en ciencias así como en la práctica de docentes ejemplares un conocimiento de gran calidad que debería ser usado para mejorar la práctica docente. Además, remediar la falta de conocimiento científico de los maestros no puede solucionarse simplemente “acercándolos a la ciencia erudita o actual”, sino formándolos para que sean competentes en ciencia escolar. Sorprende en ese sentido que en los planteamientos y movimiento IBSE a nivel de curriculum y proyectos la didáctica haya tenido en algunos casos un papel menor.

4. Desconexión con el mundo de las ideas, la teoría y el conocimiento conceptual.

Relacionada con todas las anteriores, y seguramente subyacente a todas ellas, la gran crítica a las propuestas IBSE en general, incluso aquellas que instruccionalmente son adecuadas, es el escaso, inadecuado y/o epistemológicamente incorrecto papel que dan a la dimensión conceptual y teórica respecto la procedimental y empírica. A pesar de que, como ya hemos comentado, la filosofía de la ciencia actual propone una visión cognitiva y semántica de la misma donde la función principal de la ciencia es la construcción de explicaciones fundamentadas en pruebas, y que para ello *"la evidencia*

experimental es solo una pieza del puzle. Un paso más en un proceso más largo y, muy probablemente, ni siquiera el paso decisivo” (Euler, 2004, citado en Viennot, 2011), las propuestas de enseñanza y aprendizaje como indagación consideran que la experiencia directa con los fenómenos es la clave para el aprendizaje de las ciencias y la comprensión conceptual (Ogborn, 2004).

Además del empobrecimiento epistémico, centrarse en la experiencia directa escolar presenta diversos problemas operativos y con respecto al conocimiento científico. Cuando la experiencia es el centro de la actividad, se limita en muchos casos lo que se enseña y aprende a aquello que se puede relacionar con las pruebas que los alumnos pueden obtener realizando un experimento escolar. Esto presenta una primera limitación discutida por Viennot (2011): el hecho de que se reduzca la enseñanza a unos pocos, casi rituales, experimentos sencillos de control de variables que permiten extraer conclusiones fácilmente. En general, además, en estos experimentos no se cuenta toda la verdad o el “porqué se plantean como se plantean” para que sean suficientemente sencillos para los alumnos. Al hacerlo, sin embargo, se obvian ideas importantes y vínculos conceptuales entre ideas que no sólo pueden ser de mucho provecho para los estudiantes, sino producirles auténtica satisfacción intelectual. La autora pone como ejemplo los experimentos típicos de pesar el aire, en los que no se suele tener en cuenta que además de peso, hay una fuerza ascensional que tendría una enorme influencia si no pesáramos con un recipiente rígido (volumen fijo).

Para muchos autores IBSE, en realidad esta “acusación” de falta de conexión con el mundo de la teoría es un mito. En la mayor parte de las propuestas IBSE, tal y como hemos presentado, existe una fase, etapa o momento dedicado a la construcción de explicaciones por parte de los alumnos. Sin embargo, y tal y como hemos discutido en otro lugar (Simarro, Couso y Pintó, 2009), estas explicaciones suelen ser “locales”, es decir, explicaciones directamente derivadas o que pueden inferirse de los datos. Incluso cuando se hace un esfuerzo por sistematizar estas explicaciones de forma que se construya un modelo (una representación que nos sirva para predecir y explicar), estos modelos sólo pueden ser de carácter empírico, es decir, modelos que describen patrones o regularidades inferidas de los datos (Koponen, 2007). Un ejemplo con el que hemos trabajado sería el modelo de reflector acústico por sus propiedades físicas macroscópicas, como alta densidad, rigidez y baja porosidad (Couso, Hernández & Pintó, 2009). Para poder construir modelos teóricos o interpretativos no podemos basarnos únicamente en los datos obtenidos de la experimentación, no por las limitaciones inherentes a la experimentación en un aula, sino por limitaciones epistémicas. Como constructo cognitivo y semántico, no se puede inducir un modelo o teoría. Coincidimos con Viennot (2011) al considerar que, debido a esto, la enseñanza IBSE no permite a los alumnos obtener explicaciones suficientemente satisfactorias porque en ningún caso pueden derivar directamente de la experiencia. Por ejemplo, comprobar que el periodo de oscilación de un péndulo simple no depende de la masa no nos explica porqué es así o en qué casos no lo sería.

El reconocimiento de este hecho hace que en algunas descripciones de la metodología IBSE se destaque la importancia del conocimiento científico consensuado. En muchos casos, sin embargo, la teoría y conceptos científicos se presentan relegados a “complementos” de la experiencia directa y se desproblematiza su relación con los datos. Por ejemplo, en la guía didáctica del proyecto Pollen se establece que “*Los estudiantes no descubrirán ni pueden descubrir todo lo que necesitan saber a través de la indagación. El uso de fuentes secundarias (libros, internet, científicos locales) en IBSE es importante como servicio de las exploraciones de los estudiantes, y no como un*

substituto de las mismas” (Pollen, 2009). Tal y como señala Ogborn (2012), con esta recomendación se relega el contenido conceptual a algo secundario que hace falta para ayudar en la indagación, que la asiste. Sin embargo, para el autor el orden sería inverso. Puesto que los alumnos necesitan algunos recursos intelectuales para involucrarse en una indagación con sentido, la indagación debería servir para profundizar en lo que se está aprendiendo (y no para producirlo o para aclararlo).

Frente a las propuestas IBSE centradas en la elaboración de explicaciones locales inducidas de las pruebas, se plantean otras formas de indagación más centradas en el conocimiento científico conceptual. En ellas las explicaciones basadas en pruebas están explícitamente informadas por el conocimiento científico existente. Un ejemplo sería la propuesta de Indagación Argumentativa de Zembal-Saul (2009) o nuestro modelo de Indagación centrada en Modelizar, explicitado más adelante.

¿Es la indagación realmente “el último grito” en didáctica?

En el informe Rocard la metodología indagativa para la enseñanza de las ciencias se plantea como la alternativa “moderna” a la enseñanza deductiva tradicional. En este sentido, y viendo el (re)surgir de una multitud de proyectos de acción e investigación que enfatizan la indagación como estrategia pedagógica, uno podría pensar que estamos ante el “último grito” en enseñanza de las ciencias. Sin embargo, a mi modo de ver puede percibirse en la literatura el inicio de un sutil pero importante cambio de paradigma. Las señales de la existencia de este movimiento hacia nuevas comprensiones de la enseñanza de las ciencias que releguen las versiones simplistas de indagación son muchas, entre las que destacamos:

1. El tímido avance y consenso en la visión de naturaleza de la ciencia de la didáctica hacia posiciones más actuales, como la semántica.
2. La importancia de los modelos en la didáctica de las ciencias.
3. El movimiento generalizado en didáctica de las ciencias hacia una reducción significativa del contenido entorno a los denominados contenidos conceptuales clave, modelos centrales o *Big Ideas*.
4. En consecuencia, la explicitación de un objetivo competencial para la enseñanza de las ciencias de tipo cognitivo-discursivo: “Enseñar a pensar científicamente”.

Si iniciamos la discusión en el último punto, es muy interesante destacar que tras generar el “re”surgir del movimiento indagativo con los “National Science Education Standards” a mediados de los 90, el National Research Council de EEUU publicó en el 2007 su informe *Taking Science to School*. En esta publicación, que revisa la literatura de diversos campos como la psicología cognitiva o la neurociencia además de la didáctica de las ciencias, se redefine lo que entendemos por ser competente en ciencia. Así, en el texto se enfatiza la centralidad de construir, evaluar y usar explicaciones científicas y de participar en las prácticas y discursos de la ciencia. En este sentido, el énfasis se desplaza de “aprender a estudiar el mundo natural” (NRC, 1996) a “aprender a pensar científicamente” (NRC, 2007).

La definición operativa de esta competencia de pensar científicamente (ver Cuadro 3) nos muestra que afronta algunos de los problemas que la indagación más empírica no solucionaba, al problematizar la relación entre teoría y datos, enfatizar el papel de las pruebas no confirmatorias y los contrargumentos, y poner el énfasis en la comprensión y no sólo en la realización de la parte experimental de la ciencia.

“learning to think scientifically is a matter of acquiring problem-solving strategies for coordinating theory and evidence, mastering counterfactual reasoning, distinguishing patterns of evidence that do and do not support a definitive conclusion, and understanding the logic of experimental design” (p. 28).

Cuadro 3. Definición de la competencia de pensar científicamente, NRC 2007

Subyacente a esta definición de aprender a pensar científicamente encontramos una imagen de ciencia concreta, que abandona la ciencia como exploración y experimento y se refiere a la ciencia como "*como construcción y revisión de una explicación o modelo*" (Duschl & Grandy, 2008). De acuerdo a Adúriz-Bravo (2009), esta visión actual de la naturaleza de la ciencia, denominada concepción semanticista, representacional o modeloteórica, ha ido tímidamente ganando terreno en la didáctica de las ciencias actual. En esta concepción, se considera a las teorías como una clase de modelos y a los modelos como las partes aplicativas de una teoría, es decir, las 'proyecciones' de la teoría al mundo o sus 'realizaciones posibles'. Para determinar qué modelos forman parte o no de la teoría, estas hacen uso de principios y leyes, que sólo aplican a un determinado ámbito de la realidad: los fenómenos que la teoría quiere, intencionalmente, explicar. Así, un modelo pertenece a una teoría sí y solo si cumple tales y cuales principios y si da cuenta (sirve para describir, predecir y explicar) un fenómeno o "trozo de mundo" en el que la teoría tiene sentido. Ejemplos serían el modelo de gas ideal dentro de la teoría cinético-corpúscular de la materia, el modelo de péndulo simple en la mecánica newtoniana, el modelo de mamífero dentro del modelo central de ser vivo o el modelo de combustión dentro de la noción de cambio químico.

Esta imagen de ciencia modeloteórica no sólo sitúa los modelos en el eje central, sino que proporciona ideas sobre cómo se construyen, evalúan y revisan estos modelos usando pruebas. Algunos autores proponen cinco características para caracterizar esta naturaleza del conocimiento científico: que pueda someterse a prueba (*testable*, en inglés), revisable, explicativo, conjetural y generativo (Smith, Maclin, Houghton, & Hennessey, 2000; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). En consecuencia, las prácticas científicas auténticas que debemos promover en el aula deben estar fundamentadas en estas cinco características epistémicas, que deben definir como razonamos con y sobre modelos (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008). Tal y como se describe en el informe *Taking Science to School*, "*los desarrolladores de curriculums y standards deben presentar la ciencia como un proceso de construcción de teorías y modelos usando pruebas, que se revisan para asegurar consistencia interna y coherencia, y se testean empíricamente*" (NRC, 2007)

Hablar de modelos y modelización en didáctica de las ciencias merecería un capítulo aparte. En didáctica de las ciencias las investigaciones sobre modelos y modelización no son nuevas, pero ha sido recientemente que han adquirido especial relevancia (para ver una revisión de la literatura en el ámbito consultar el artículo de Oh y Oh, 2011). Estamos de acuerdo con Adúriz-Bravo (2009) que "*es posible actualmente inferir la 'emergencia' de una didáctica de las ciencias basada en modelos*", en la que nos suscribimos. Puesto que hemos escrito en otro lugar nuestra concepción sobre modelos para el aula de ciencias (Hernández, Couso y Pintó, 2014) no queremos aquí extendernos en el tema. Valga decir que nos basamos en la idea de modelo conceptual, que damos importancia a la práctica epistémica de modelización en el aula y que la consideramos, con otros autores, estrechamente relacionada con la práctica científica de indagar. Sí queremos enfatizar aquí que consideramos que la modelización (y también la argumentación) son prácticas científicas clave que, tanto en el contexto de un

aula indagativa como usando cualquier otra metodología de enseñanza y aprendizaje, están merecidamente adquiriendo un creciente interés.

Poner la construcción de modelos y teorías en el centro de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias lleva a preguntarse de a qué modelos y teorías nos estamos refiriendo. Aquí también podemos encontrar una cierta tendencia actual hacia la definición de pocas pero potentes ideas clave (Harlen, 2010; NRC, 2007; OCDE, 2013). A pesar de que son clásicas las críticas a un curriculum demasiado extenso, donde el peso de los detalles no permite ver las importantes ideas científicas subyacentes, es reciente (y casi diría producto de la negligencia hacia el contenido de las inadecuadas versiones de IBSE) el volver sobre este tema de una forma reivindicativa y operativa. Resulta un ejemplo el informe liderado por Osborne y Dillon (2008) que aboga por centrar la enseñanza de las ciencias en torno a las principales explicaciones del mundo que la ciencia provee, mostrando el “*tremendo logro intelectual y creativo que estas ideas representan*”. De manera más concreta, Harlen y colegas reducen el curriculum de ciencias a 10 ideas clave de ciencia y 4 sobre ciencia (Harlen, 2010). De acuerdo al informe *Taking Science to School*, identificar unas pocas y nucleares ideas clave para cada disciplina científica es un reto que deben imponerse los diseñadores de futuros curriculums y *standards* (NRC, 2007). La escuela de la UAB hace tiempo que viene trabajando en esta línea, intentando definir las características principales de los modelos o familias de modelos irreducibles de la ciencia escolar, como los modelos de ser vivo, cambio químico o materia desarrollados por García, Izquierdo, Sanmartí y colegas.

Tal y como hemos comentado en otros lugares, la selección de grandes ideas o modelos centrales o irreducibles responde a la voluntad de que el profesorado sea capaz de reducir la extensión de un currículo tradicional, excesivo en detalles que oscurecen lo esencial, para dedicar su tiempo a la construcción de aquello que tiene gran significatividad dentro de la ciencia y que habilita al estudiantado a predecir, explicar y actuar en el mundo (Couso y Adúriz-Bravo, en prensa). La investigación didáctica ha mostrado reiteradamente que el estudio de conceptos fragmentados no conduce a comprensión si no se trabaja explícitamente el modelo científico clave detrás de todos esos conceptos. Por ejemplo, a partir de examinar por separado todas y cada una de las reacciones químicas posibles, realizar toda suerte de cálculos y experimentar con variedad de ejemplos, los estudiantes no construyen de forma automática la idea abstracta de *cambio químico* ni las “reglas del juego” asociadas a él. Solo una enseñanza que se plantea desde un principio el objetivo de llegar a generar la gran idea o modelo científico escolar de cambio químico introduce, por caso, la reacción de combustión como un *epítome* o *ejemplo paradigmático* de cambio a partir del cual comprender otros cambios.

Subyacente a esta idea de pocos pero muy potentes modelos centrales es la necesidad de plantearse su enseñanza de forma gradual y progresiva. Puesto que estas estructuras de contenido son complejas y “*llevaron siglos de arduo trabajo a la humanidad*” (p.47, Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2009), una enseñanza que orientada a su construcción no puede plantearse como incorporación de una vez y para siempre ni tampoco como redescubrimiento, sino más bien como “*una apropiación – profundamente constructiva– de potentísimas herramientas intelectuales que se van representando en el aula con el nivel de formalidad necesario para cada problema y cada momento del aprendizaje*” (p.47, Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2009). Dicho de otra forma, la enseñanza de modelos irreducibles debería pensarse como una auténtica *progresión de aprendizaje* de los mismos, es decir, como un camino que permita irlos construyendo en aproximaciones sucesivas a lo largo de la escolaridad.

tradicional de curriculum en espiral y sus versiones sofisticadas actuales, como las progresiones de aprendizaje (Duschl, Maeng & Sezen, 2011).

Entender que estos modelos o teorías deben ser construidos por los alumnos en pasos o versiones sucesivas, de manera acumulativa y de forma que cada vez permitan dar cuenta de más fenómenos, o de los mismos fenómenos de forma más sofisticada es lo que hace que, a pesar de haber pocas ideas centrales, el curriculum siga siendo rico y por tanto demandante en tiempo y esfuerzo para profesores y alumnos. Como dicen Dushl y colegas, *“para tener éxito (en el aula de ciencias), los estudiantes necesitan experiencias (de enseñanza y aprendizaje) claramente estructuradas, apoyo instructivo de los docentes, y oportunidades para involucrarse de forma sostenida con el mismo conjunto de ideas a lo largo de semanas, meses e incluso años”* (p.3 NRC, 2007). Existen en la literatura muchos ejemplos de trayectorias de aprendizaje propuestas teóricamente y de progresiones de aprendizaje producto de la investigación empírica que pueden servir para ejemplificar como se trabajarían las grandes ideas en progresión. Para un ejemplo de trayectoria de aprendizaje teórica sobre gravitación, adaptada del Proyecto 2061, ver Couso y Adúriz-Bravo (en prensa). Para un ejemplo de progresión de aprendizaje empírica sobre el modelo de conservación y transferencia de energía, realizada con alumnos de 4º de la ESO y 1º de bachillerato en un entorno indagativo, ver Sotoa (2013).

Porque no sólo de indagación vive el hombre²: enseñanza como participación en prácticas científicas auténticas

Todas estas tendencias en enseñanza de las ciencias apuntan, a mi modo de ver, hacia un auténtico cambio de paradigma en nuestra comprensión y análisis de la enseñanza centrada en la práctica científica escolar (Erduran et al., 2004; Jiménez-Aleixandre, 2011; Kelly & Duschl, 2002; Leach, Hind, & Ryder, 2003; Sandoval & Reiser, 2004), que debería dejar de asociarse necesariamente a la enseñanza indagativa para plantearse en contextos ricos y diversos diferentes de la indagación, y para destacar las componentes teóricas y discursivas de las prácticas epistémicas que tanto la filosofía de la ciencia actual como las teorías de aprendizaje proponen como más adecuadas. En consecuencia, estos cambios apuntan a una enseñanza de las ciencias donde las prácticas científicas asociadas a la modelización y/o la argumentación tengan tanta o más importancia que la indagación, y donde se planteen en diferentes contextos de enseñanza-aprendizaje, no todos ellos necesariamente de corte investigativo.

Los motivos de este cambio son varios. En primer lugar, porque las prácticas científicas de los alumnos no deberían desarrollarse siempre en contextos de experimentación, debido a que existen otros contextos de probado interés educativo y necesarios desde un punto de vista de alfabetización científica. Un ejemplo serían los contextos de toma de decisiones comunes en las propuestas sobre cuestiones socio-científicas o SSI (Jiménez-Aleixandre, 2011), los contextos de actuación asociados al desarrollo de competencias científicas (Couso y Adúriz-Bravo, en prensa). En segundo lugar, porque incluso en las situaciones de aula que involucran altas dosis de experimentación con los fenómenos, el contexto en el que se plantean no tiene porqué ser indagativo o de investigación. Por ejemplo, la tradición de enseñanza de las ciencias modelizadora, a pesar de involucrar continuamente un contacto con el fenómeno a modelizar, no siempre se ha planteado para resolver un problema o responder una pregunta

² Tampoco la mujer.

investigable. En tercer lugar, y más importante, porque la mayoría de situaciones de práctica científica escolar que podríamos considerar auténtica resultan ser situaciones donde las prácticas epistémicas asociadas a la indagación, la modelización y la argumentación³ aparecen interrelacionadas entre sí, como lo están en el quehacer científico real. Así, no es de extrañar que algunos autores hayan propuesto modelos de enseñanza y aprendizaje que enfatizan esta interrelación y explotan el carácter no sólo indagativo, sino también creativo, generativo y discursivo de la práctica científica auténtica. Ejemplos son la indagación orientada a argumentar (*Argument-Driven Inquiry* o ADI) o la indagación centrada en modelizar (*Model-Based Inquiry* o MBI), entre otros.

Las propuestas ADI se caracterizan por promover “(la) participación en las investigaciones científicas con el propósito de construir explicaciones basadas en pruebas, un papel del discurso de aula como medio para negociar significado a través de la coordinación entre afirmaciones y pruebas, y los beneficios de hacer el pensamiento visible a través del razonamiento público” (Zemal-Saul, 2009). Este tipo de planteamientos de aula resultan propuestas especialmente interesantes por el énfasis que se da, sobretodo, al hecho de que los alumnos hagan públicas y por tanto expliciten, negocien y evalúen las ideas que construyen (Bell & Linn, 2000; Linn, 2000), que son entendidas (y analizadas en las investigaciones) desde un punto de vista argumentativo.

En las propuestas MBI (Campbell et al., 2011; Khan, 2007; Lehrer et al., 2008; Schwarz, 2009, Schwarz et al., 2009, Wells et al., 1995; Windschitl et al., 2008), el objetivo es “desarrollar explicaciones defendibles de como funciona el mundo natural” (p.15, Windschitl et al.). En este sentido, en la actividad de aula los modelos proveen los marcos de referencia con los que focalizar la mirada al fenómeno y con los que generar hipótesis testeables, sea con experimentos reales o mentales, que puedan realizarse en el aula o que se hayan realizado fuera de ella. Los modelos también actúan como referentes en la interpretación de los datos y se usan precisamente para que esos datos puedan entenderse como *pruebas de algo* (del modelo). En el aula MBI los modelos son objeto continuo de generación-creación, uso y revisión explícita. En contraposición con la indagación al uso, los modelos que se construyen no son solo puramente descriptivos o empíricos, sino interpretativos y conjeturales. Los argumentos en los que se apoyan estos modelos conjeturales o interpretativos incluyen observaciones que sustentan explicaciones que involucran entidades o procesos no observables, por ejemplo una explicación micro en términos de partículas de un fenómeno macro.

Existen en la literatura diferentes versiones o marcos instruccionales para el desarrollo de la enseñanza y aprendizaje MBI. En la versión de MBI de Windshilf et al. (2008), los autores hablan de 5 “conversaciones” que sustentan la indagación centrada en modelizar: establecer los parámetros generales (entre otros, la elección del profesor del tema a estudiar y su esfuerzo por compartirlo de forma relevante con los estudiantes); organizar lo que sabemos y queremos saber; generar hipótesis (incluyendo hipótesis que compiten entre ellas); buscar pruebas (incluyendo pruebas secundarias, experimentos

³ Por brevedad, hablamos de “prácticas científicas de indagación, argumentación y modelización”, aunque en realidad nos referimos a las prácticas de la ciencia que estas macro prácticas epistémicas engloban. Por ejemplo, asociamos a la indagación las prácticas de plantear una pregunta investigable o representar datos o a la modelización las de explicitar un modelo inicial o las de analizar si un modelo se ajusta a las pruebas.

mentales, ...) y construir un argumento (incluyendo contrargumentos). Schwarz y Gwekwerere (2007) proponen un marco instruccional también basado en actividades de indagación y modelización denominado EIMA por sus siglas en inglés. Estas se refieren a Motivación-involucramiento (*Engage*), Investigación, Modelización y Aplicación. Basada en esta estructura, la versión de MBI que nuestro grupo de investigación ha publicado y que resumimos en el cuadro a continuación enfatiza la proposición y sobre todo revisión de los modelos de los estudiantes en base no sólo a los datos, sino también a la perspectiva científica (Hernández, Couso y Pintó, 2014).

- Los estudiantes elicitan un modelo mental preliminar en el contexto de un fenómeno
- Los estudiantes revisan sus modelos mentales de acuerdo con las nuevas pruebas, obtenidas de la experimentación real o mental propia o de otros.
- Los estudiantes revisan sus modelos mentales de acuerdo a la perspectiva científica
- Los estudiantes usan sus modelos mentales revisados para enfrentarse a una nueva tarea o fenómeno de forma problematizada.

Utilizando esta guía instruccional, hemos diseñado, implementado y mejorado a lo largo de tres años un material didáctico de aula, orientado a que los alumnos trabajen un modelo adecuado de sonido y de materia con el que construir un modelo de material absorbente o reflector acústico. Los resultados obtenidos muestran la dificultad de los estudiantes en construir y usar adecuadamente un modelo interpretativo (la interpretación de las propiedades acústicas en términos de la estructura interna del material), en particular por comparación con el dominio de un modelo de propiedades. La Figura 1 muestra una comparación de los resultados de los alumnos respecto estos modelos: empírico o de propiedades a la izquierda e interpretativo a la derecha. Los porcentajes muestran el número de alumnos en cada uno de los estadios de construcción del modelo que identificamos empíricamente (S1 representaría un estadio inicial y S4 un estadio avanzado y cercano al modelo científico que queremos que construyan en este nivel). En el eje X hemos graficado las diferentes actividades de modelización e indagación propuestas desde la instrucción, desde el inicio hasta la evaluación final.

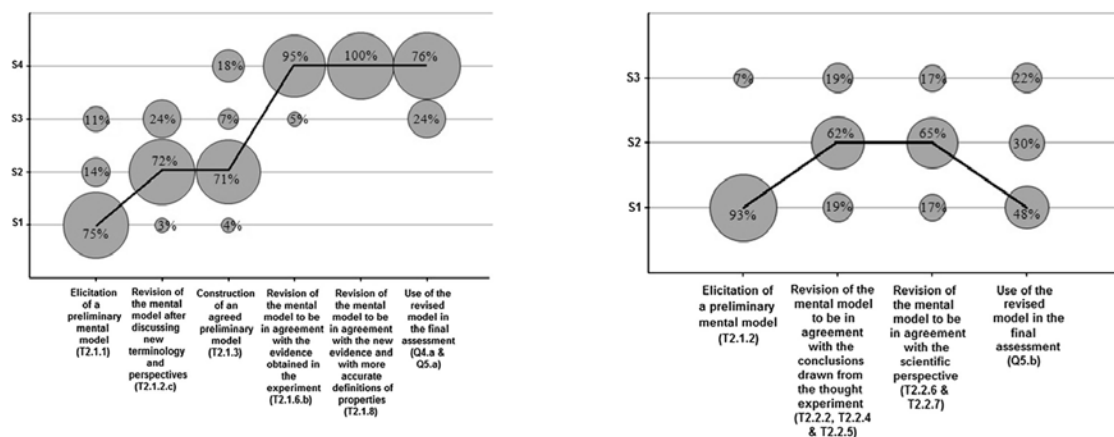


Figura 1: Comparación de resultados de los alumnos en el dominio de un modelo empírico (propiedades asociadas a reflectores y absorbentes acústicos) y un modelo interpretativo (estructura interna de estos materiales reflectores y absorbentes que explica su comportamiento acústico) en el contexto de una enseñanza de Indagación Centrada en Modelizar (Hernández, Couso y Pintó, 2014)

Los resultados de la Figura 1 señalan la potencia de, y a la vez el reto que suponen, las propuestas MBI. A pesar del enorme espacio de mejora que tenemos para diseñarlas e implementarlas con éxito, los resultados apuntan a que se puede llegar a trabajar en el aula de forma indagativa y modelizadora para construir con los alumnos modelos interpretativos. En este sentido, estas propuestas se orientan al objetivo de construir explicaciones basadas en pruebas sobre como funciona el mundo. Los resultados también muestran, sin embargo, que es sencillo tener una “falsa” sensación de éxito respecto los modelos de propiedades que los alumnos construyen a partir de los datos, puesto que estos son mucho más sencillos de elaborar y usar. Es por este motivo que enfatizamos no sólo la práctica modelizadora sino su concreción en torno a los modelos asociados a las grandes ideas o ideas clave de la ciencia, porque son estos modelos de carácter interpretativo los que deben ser objeto final de aprendizaje.

Una reflexión subyacente: aunque estemos hablando del cómo (enseñar y aprender), la didáctica de las ciencias requiere hablar del qué (enseñar y aprender).

En la base de la crítica que a lo largo de este artículo se realiza a buena parte de la enseñanza y aprendizaje por indagación, además de la problemática epistemológica mencionada, está un problema profundamente didáctico y relacionado con el contenido a enseñar. Los ejemplos citados en los artículos de Viennot (2011) y Ogborn (2012) sugieren que los planteamientos IBSE son didácticamente pobres con respecto a las transposiciones didácticas que se utilizan. En los diseños de ciencia como indagación generalmente se desenfatisa una parte crucial de cualquier diseño didáctico: crear o escoger cual es la transposición didáctica del contenido (en términos de Chevallard) que consideramos adecuada. Es decir, crear y/o escoger la forma en la que quiero que mis alumnos comprendan una cierta idea científica, que denominaremos “idea científica escolar”⁴ (siguiendo a Izquierdo y colegas). A nuestro modo de ver, al crear y/o escoger esta transposición de forma creativa y basada en los resultados de investigación didáctica, se sugiere un uso de la componente empírica de la actividad de aula muy diferente al que se realiza en las indagaciones al uso. Veamos un ejemplo.

En todas las propuestas IBSE los experimentos sobre flotabilidad son un clásico. Según para que niveles se realicen y cómo se propongan, en general los alumnos pueden llegar a ciertas conclusiones consideradas “acertadas”, como que la flotabilidad depende del tipo de material, de si hay aire o no, o incluso de la densidad. En cualquier caso, tendríamos un modelo descriptivo de lo que sucede (flota porque su densidad es menor que la del agua) pero no interpretativo de porqué sucede (¿Porqué si su densidad es menor flota? ¿Qué lo hace flotar?). Y desde luego no se entendería el principio de Arquímedes, porque ni necesariamente se ha experimentado el empuje del agua, ni éste puede relacionarse fácilmente con la densidad. Sin embargo, existen otras formas de transponer didácticamente el concepto de flotabilidad que facilita la construcción de un modelo teórico interpretativo.

⁴ Por brevedad nos referimos aquí de una idea científica concreta con respecto a la cual queremos que los alumnos sean competentes: la sepan usar, en contexto y con valores, para pensar, hacer y/o decir. Sin embargo, en realidad y de acuerdo a lo ya comentado sobre progresiones de aprendizaje, la “idea científica escolar” debe ser, para cada momento del aprendizaje, una versión adecuada para que les sea asequible y a la vez, posibilite seguir construyendo versiones más sofisticadas de la misma idea a lo largo de la escolaridad.

Ogborn propone empezar por trabajar la idea de lo que cuesta “hacer un agujero en el agua”, por ejemplo apretando contra la superficie del agua con un vaso de plástico muy ligero (Ogborn, 2012). ¿Qué ocurre al hacerlo? Notamos que el agua nos empuja. ¿Como podemos hacer que nos empuje menos? Si vamos llenando el vaso con agua nos empuja menos. Si al final llenamos el vaso prácticamente hasta arriba del todo, ya no hay que empujarlo. Es decir, que lo que hay que apretar para “hacer un agujero en el agua” de un cierto tamaño es lo mismo que lo que pesa ese “tamaño” (volumen) de agua. O sea, el principio de Arquímedes.

En mi experiencia hemos usado un razonamiento similar con alumnos de magisterio que ayuda a relacionar fuerza y densidad. Para ello no sólo notamos lo que cuesta hacer un agujero en el agua, sino que también construimos la idea de que cuesta hacer un agujero porque el agua en un recipiente, en cada altura del mismo, hace la fuerza necesaria para sostener el volumen de agua encima suyo (en realidad la columna de agua y aire sobre ella), y no puede hacer más. Cuando sustituyo el agua de encima de una cierta altura por otro objeto de un cierto volumen, puede ocurrir que ese objeto pese más o menos que lo que pesaba el mismo volumen de agua (es decir, que el objeto pese más o menos que “si fuera de agua”). Si pesa más “que si fuera de agua”, la fuerza que hace el agua de debajo no es suficiente para llegar a sostenerlo y se hunde. Si pesa menos “que si fuera de agua”, como la fuerza que el agua hace sobre el objeto es capaz de aguantar el peso de un volumen de agua como él, el agua no sólo sostiene el objeto sino que lo eleva. ¿Cuanto sube? El objeto va subiendo pero cuando una parte sale del agua, esta parte ya no está haciendo un agujero en el agua y por tanto ya no “cuenta” en el empuje o fuerza que hace el agua. Así, sube hasta que la parte hundida del objeto, “si fuera de agua”, pese lo mismo que el objeto. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de gráficos que usamos para compartir estas ideas. A partir de aquí, es fácil entender la relación entre la fuerza ascensional y la densidad, porque lo que hace que un objeto pese más o menos que si fuera de agua es que tenga mayor o menor densidad que el agua. Además, este tipo de transposición didáctica es más adecuada para entender la situación dinámica (mientras el objeto se hunde o sube), permite entender la flotabilidad en el marco de una teoría central (la mecánica newtoniana) y también la relación con otros conceptos (como la normal, ya que el empuje no deja de ser una fuerza normal para el caso de los fluidos).

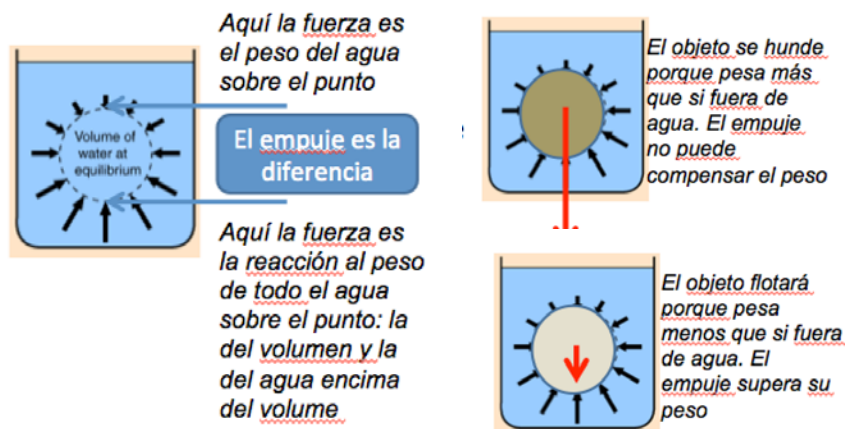


Figura 3: Esquemas utilizados para ayudar en la comprensión de la naturaleza de la fuerza de empuje.

El ejemplo presentado por supuesto puede plantearse como una indagación a los estudiantes. Sin embargo, creemos que lo importante para comprender cómo explicamos en ciencia escolar lo que pasa (que unos objetos flotan y otros no en un fluido, y que esto depende de su densidad relativa al fluido) depende mucho más de la actividad mental que experimental de los alumnos. Para apropiarse de un modelo correcto de flotabilidad, deben imaginarse un volumen de agua con la forma de un objeto real, o un objeto real “hecho de agua”; deben imaginarse y dibujar flechas u otras representaciones de las fuerzas implicadas; deben explicar como lo entienden, escuchar como lo explican otros, reformular. Aunque la experiencia con el fenómeno es muy importante y sirve para despertar el interés, así como dar sentido a conceptos como fuerza de empuje o volumen, etc., no se requiere necesariamente de una indagación o investigación para aprovechar el potencial del contacto con el fenómeno para construir las ideas. Por último, y como hemos dicho, creemos que el aspecto crucial que la didáctica de las ciencias aporta es precisamente la “forma de entender” en ciencia escolar este fenómeno, y las formas en las que el profesor puede ayudar al alumno (incluida la indagación, pero no sólo ni predominantemente esta) a construir esta forma de entenderlo.

Algunas ideas para finalizar

A pesar de las muchas dificultades y detalles críticos que hay que superar para que una enseñanza de las ciencias como indagación sea didáctica y epistemológicamente satisfactoria, el movimiento de enseñanza de las ciencias como indagación ha supuesto un importante primer paso en el camino hacia la comprensión de la ciencia escolar como enculturación en las prácticas de la comunidad científica (Erduran et al., 2004; Jiménez-Aleixandre, 2011; Kelly & Duschl, 2002; Leach, Hind, & Ryder, 2003; Sandoval & Reiser, 2004). Aunque el énfasis que hemos puesto en los objetivos epistemológicos y en las prácticas para construir, comunicar y evaluar el conocimiento científico conceptual hace que buena parte de las propuestas IBSE que analizamos sean poco adecuadas, debemos a éste marco el incentivar en los docentes el deseo de llevar la práctica científica al aula (aunque sea de forma incompleta). Está por ver si los que abogamos por nuevas propuestas de enseñanza y aprendizaje más acordes con una visión de ciencia centrada en modelos somos capaces de capitalizar éste interés inicial que le debemos a las propuestas IBSE. En particular, son aspectos preocupantes la formación del profesorado acorde a los retos de una enseñanza de las ciencias como práctica científica y el conseguir variedad de propuestas centradas en la modelización tanto para el aula de secundaria como de primaria.

Si IBSE se suele reportar en la literatura como demandante para el profesorado en términos de conocimiento científico y epistémico, las modalidades de IBSE que otorgan más importancia a la construcción de explicaciones y modelos y a la argumentación científica son todavía más demandantes. Estas propuestas requieren del profesorado una enculturación en las prácticas no sólo de indagar, modelizar y argumentar, sino también competencia en crear situaciones de enseñanza-aprendizaje y evaluación de ciencias indagando, modelizando y argumentando. Como ya hemos discutido el conocimiento necesario por parte de los docentes para enfrentarse a este reto es profundo en términos epistemológicos y didácticos. En este sentido, y como formadores de maestros y profesores, creemos que estas propuestas ponen aún más el acento, si cabe, en la necesidad de una formación mucho más integrada entre universidad y escuela. Por ejemplo, las investigaciones de Zeemal-Saul (2009) muestran que usando un modelo instruccional claro y bien basado en investigación con los futuros profesores (en su caso

la indagación centrada en la argumentación) de forma que los docentes lo experimenten y lo estudien; incluyendo en la docencia ejemplos (video-episodios) de este modelo instruccional siendo usado con alumnos reales en contextos de aula reales; y cuando en la medida de lo posible esto se hace no solo en la enseñanza universitaria sino también en sus experiencias de practicum, gracias a colaboraciones universidad-escuela, los futuros maestros empiezan a adoptar las practicas esperadas.

Un último aspecto que por limitación de espacio no hemos tocado pero que, de hecho, tiene una importancia clave en el desarrollo o no de propuestas sofisticadas de enseñanza de las ciencias como práctica científica es la concepción que tienen los maestros y profesores de las capacidades de sus alumnos en involucrarse en estas prácticas. La literatura nos advierte que las creencias del profesorado sobre las capacidades de sus alumnos con respecto a las destrezas de pensamiento de orden superior y las estrategias de razonamiento complejas son preocupantes. Los docentes en general consideran las actividades que trabajan estas destrezas y estrategias como inapropiadas o poco efectivas para los estudiantes con bajos resultados académicos (Zohar, 2008). También es común la idea, influenciada por nociones piagetianas, de que hace falta haber llegado a un cierto estado de madurez mental para poder realizar ciertos pensamientos complejos (Metz, 1995). Sin embargo, investigaciones recientes en pensamiento científico-matemático en las edades tempranas señalan la importancia de aprovechar las estrategias de razonamiento de los alumnos pequeños, que de hecho pueden participar y participan en las prácticas científicas de indagación y modelización cuando tienen el apoyo necesario (Metz, 2004; Lehrer & Schauble, 2005)

De igual forma que existen tantas versiones de IBSE que resulta difícil caracterizarla, lo mismo ocurre con las alternativas que dentro del marco de “enseñanza como práctica científica” están apareciendo, tales como los modelos MBI y ADI que hemos comentado aquí. Coincidimos con Keys y Bryan (2001) en que ninguna de estas propuestas debe ser tomada al pie de la letra como “único modelo curricular”, y en que la variedad de propuestas no sólo es inevitable sino, si convenientemente justificada y utilizada, deseable. En este sentido, creemos que la diversidad de maneras de entender una enseñanza de las ciencias como práctica científica que enfatice diferentes prácticas y sus interrelaciones servirá para enriquecer el área. En particular consideramos muy útil que los diferentes modelos curriculares propongan contextos diversos en los que plantear la práctica científica. Por ejemplo, contextos de toma de decisiones, de resolución de problemas, de indagación real, de indagación simulada, de recreación histórica, etc. Con ello, queremos mostrar nuestro convencimiento de que no existe la panacea para solucionar el problema de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias para cada alumno, lugar y tiempo. Sí deberíamos, sin embargo, llegar a un consenso sobre la necesidad de evaluar seriamente los resultados de las propuestas en términos de ganancias o aprendizaje de los alumnos, tanto de ciencia como sobre ciencia, porque si bien no hay soluciones universales, si hay soluciones que prueban ser mejores que otras.

No abogar por una enseñanza total o mayoritariamente de tipo IBSE no significa no abogar por enseñar a indagar, sino más bien lo contrario. Independientemente del modelo de enseñanza y aprendizaje escogido, coincidimos con Ogborn (2012) en que aprender a investigar es tan importante para nuestros alumnos que en la enseñanza debe permitírseles en alguna ocasión el participar en una investigación realmente genuina. De acuerdo al autor esto implica que el problema a investigar sea modesto, el tiempo dedicado largo y el proceso se evalúe como tal, y no por el éxito que se obtenga. Son un buen ejemplo de ello los proyectos de investigación de final del bachillerato que, por ejemplo, se realizan en Murcia y en Cataluña. En estas situaciones el alumnado se

enfrenta a una serie de dificultades que podrían mitigarse si se realizaran pequeñas investigaciones antes (Menoyo, 2013), ya que no sólo las destrezas indagativas sino también los valores y actitudes (como la curiosidad y el interés por investigar) son educables (de Manuel, 2000).

Por último, en estas reflexiones finales me gustaría remarcar, por si esto no ha quedado claro a lo largo del texto, que en la crítica de intención constructiva de este artículo en ningún caso se ha querido comunicar que cualquier actividad catalogada por sus autores o por otros como IBSE sea una mala actividad de enseñanza-aprendizaje. Ni que necesariamente presente las limitaciones o, desde nuestro humilde punto de vista deficiencias, que hemos ido comentando. De hecho, existen excelentes actividades IBSE, sobretodo las diseñadas desde la investigación didáctica. El hecho de llevar o no una cierta etiqueta no califica la actividad. Sin embargo, sí creemos que las palabras en el fondo acaban comunicando algo por tradición y asociación. En este sentido, nos parece más adecuado matizar la dimensión teórica y discursiva de la indagación con nomenclaturas como la Indagación centrada en Modelizar o la Indagación Argumentativa, entre otras, para mostrar que algunos de los problemas mencionados quedan claramente tratados.

Agradecimientos

Las visiones de indagación y modelización aquí presentadas, así como las publicaciones y trabajos mencionados, han sido elaborados por el equipo de investigación interesado en la práctica científica del centro de investigación educativa CRECIM, liderado por la Dra. Roser Pintó. Estas ideas se han ido perfilando a lo largo de una serie de trabajos de investigación de tesina y tesis doctoral realizados por Marisa Hernández, Cristina Simarro, Anna Garrido y Macarena Sotoa. A todos estos colegas y alumnos les quiero agradecer el ser una fuente constante de inspiración y cuestionamiento, y el ayudarme a construir unas ideas cuya autoría compartimos plenamente.

Referencias

- Abell, S. K., & McDonald, J. T. (2004). Envisioning a curriculum of inquiry in the elementary school. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Adúriz-Bravo, A. (2009). "Hacia un consenso metateórico en torno a la noción de modelo con valor para la educación científica". *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra. VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona. pp. 2616-2620.
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40-49.
- Anderson, R.D. (2002) Reforming science teaching: what research says about inquiry. *J Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12
- Anderson, C.W. & Smith, E.L. (1987) Teaching science. In V. Richardson-Koehler (Ed). *Educators' handbook: A research perspective*. (pp.84-111) New York: Longman
- Appleton, K. (2005). *Elementary science teacher education: International perspectives*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278.
- Bell, P. & Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the Web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797 – 817.

- Brown, P. L., Abell, S. K., Demir, A. & Schmidt, F. J. (2006). College Science Teachers' Views of Classroom Inquiry, *Science Education*, **90**(5), 784-802.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific Inquiry and Science Teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning and Teacher Education*. (pp. 1-12). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Campbell, T., Zhang, D. & Neilson, D. (2011) Model based inquiry in the high school physics classroom: an exploratory study of implementation and outcomes. *Journal of Science Education Technoly*, **20**(3), 258–269
- Chinn, C. & Malhotra, B. (2002) Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, **86**, 175–218
- Cobern, W.W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undrieu, A., Loving, C.C., & Gobert, J.D. (2010) Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science & Technological Education*, **28**(1), 81-96
- COSCE (2011) *Informe ENCIENDE. Análisis, reflexiones y propuestas para un acercamiento de la ciencia al mundo escolar que promueva en los niños el interés por la ciencia, el aprendizaje científico y una visión no estereotipada de la empresa científica y sus protagonistas*. Couso, D. (Secretaria Ejecutiva); Jiménez-Aleixandre, M.P., López-Ruiz, J., Mans C., Rodríguez Espinosa, J.M., Sanmartí, N. (comité de expertos); Rodríguez-Simarro, C. (Colaboradora). (pp.1-115). Editorial Rubes: Barcelona.
- Couso, D. & Adúriz-Bravo (en prensa) *La enseñanza del diseño de unidades didácticas competenciales en la profesionalización del profesorado de ciencias*. En Perafán, A., Badillo, E. y Adúriz-Bravo, A. (Eds) *Conocimiento y emociones del profesorado. Contribuciones para su desarrollo e implicacions didácticas*. Editorial Paidós: Bogotá, Colombia.
- Couso, D., Hernández, M.I., Pintó, R. (2009) La propiedades acústicas de los materiales: Una propuesta didáctica de modelización e indagación sobre Ciencia de Materiales. *Alambique. Revista de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **59**, 66-78
- De Manuel, J. (2000). Educar la curiositat: La recerca des d'infantil a secundària. *Guix*, **263**, 35- 40.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2005) Towards science education research that is relevant for improving practice: the model of educational reconstruction. In: H. E. Fischer (Ed) *Developing standards in research on science education*. (pp 1–9). Taylor and Francis: London
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation*. Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.
- Duschl, R., Maeng, S. & Sezen, A. (2011) Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, **47**(2), 123–182
- Erduran, S., Simon, S. & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, **88**(6), 915 – 933.
- Flick, L.B. (2004) Developing an understanding of scientific inquiry in secondary students. *Scientific inquiry and the nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. (pp. 157-172). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Publishers.
- Flick, L.B. & Lederman, N.G. [Eds.] (2004) *Scientific inquiry and the nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Publishers.
- Garrido, A. & Simarro, C. (2014) El nou marc d'avaluació de la competència científica PISA 2015: Revisió i reflexions didàctiques. *Ciències*, **28**, 21-23
- Garriga, N., Pigrau, T., & Sanmartí, N. (2012) Cap a una pràctica de projectes orientats a la modelització. *Ciències*, **21**, 18-28
- Giere, R. N. (1991), *Understanding Scientific Reasoning* (3rd ed.), New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- Harlen, W. (Ed) (2010) *Principles and Big Ideas of Science Education*, Hatfield: ASE

- Hattie, J. (2009) *Visible Learning, A synthesis of over 800 meta-Analyses relating to achievement*, (2nd. Edition), Routledge: New York.
- Hernández, M.I., Couso, D. & Pintó, R. (2014) Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*. DOI 10.1007/s10956-014-9503-y
- Hmelo-Silver, C., Duncan, R., & Chinn, C. (2007). Scaffolding and achievement in problem- based learning and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Holliday, W. G. (2004) A balanced approach to science inquiry teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. (pp.201-217) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2011) Las prácticas científicas en la investigación y en la clase de ciencias. Ponencia plenaria de los XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales de APICE. Santiago de Compostela. Disponible on-line en: <http://www.apice-dce.com/sites/default/files/XXV%20EDCE.pdf>
- Jiménez-Aleixandre, M.P., Gallástegui, J. R., Eirexas, F. & Puig, B. (2009) *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Universidade de Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-92764-20-4
- Kelly, G. & Duschl, R. (2002). Toward a research agenda for epistemological studies in science education. Paper presented at the annual meeting of the *National Association for Research in Science Teaching*, New Orleans, LA.
- Khan, S. (2007) Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91, 877–905
- Koponen, I.T. (2007) Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science Education*, 16, 751–773
- Leach, J., Hind, R. & Ryder, J. (2003). Designing and evaluating short teaching interventions about the epistemology of science in high school classrooms. *Science Education*, 87(6), 831 – 848.
- Lehrer, R., & Schauble, L., (2005). Developing modeling and argument in the elementary grades. In T.A. Rombert, T.P. Carpenter, and F. Dremock (Eds.), *Understanding mathematics and science matters*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lehrer, R., Schauble, L. & Lucas, D. (2008) Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development* 23, 512–529
- Linn, M. (2000). Designing the knowledge integration environment. *International Journal of Science Education*, 22(8), 781 – 796.
- Newman, J. W., Abell, S. K., Hubbard, P. D., McDonald, J., Otaala, J., & Martini, M. (2004). Dilemmas of teaching inquiry in elementary science methods. *Journal of Science Teacher Education*, 15(4), 257-279.
- NRC (1996). *The National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academy Press.
- NRC (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Magnusson, S. J., Palincsar, A. S., & Templin, M., (2004). Community, culture, and conversation in inquiry-based science instruction. In L. Flick, & N. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and the Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 131-155). New York, NY: Kluwer Academic Publishers.
- Martínez Chico, M. (2013) *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. Tesis doctoral. Universidad de Almería.
- Menoyo, M.P. (2013) Anàlisi del procés de realització i tutorització dels treballs d'investigació a secundària: Propostes didàctiques per millorar la competència en recerca de l'alumnat . Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible on-line en: http://ddd.uab.cat/pub/tesis/2013/hdl_10803_121593/mpmd1de2.pdf

- Metz, K.E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65, 93-127.
- Metz, K.E. (2004). Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219-290.
- Millar, R., Lubben, F., Gott, R., & Duggan, S. (1995). Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education*, 9(2), 207-248.
- Moscovici, H., & Nelson, T. H. (1998). Shifting from activitymania to inquiry. *Science and Children*, 35(4), 14-17
- Oh, P.S. & Oh, S.J. (2011) What teachers of science need to know about models: an overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflexions*. Nuffield Foundation.
- Osborne, J., Erduran, S. & Simon, S. (2004) *The IDEAS Project*. London: King's College London. Disponible on-line en: <http://www.nuffieldfoundation.org/ideas-evidence-and-argument-science-ideas-2004>
- Rocard, Y. (2007) *Science Education Now*. Report EU22-845, European Commission, Brussels. Disponible on-line en: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Roth, K., & Garnier, H. (2007). What science teaching looks like: An international perspective. *Educational Leadership*, 64(4), 16 – 23.
- Sandoval, W. A. & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345– 372.
- Schwarz, C.V. & Gwekwerere, Y.N. (2007) Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91, 158–186
- Schwarz, C. (2009) Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744
- Schwarz, C., Reiser, B, Davis, B., Kenyon, L, Acher, A., Fortus, D., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Designing a learning progression of scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654
- Scott, P. & Mortimer, E. (2006) The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*. 90(4), 605-631
- Simarro, C., Couso, D. & Pintó, R. (2013). “Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic” *Ciències*, 25, 35-43
- Smith, C. L., Maclin, D. Houghton, C., & Hennessey, M. G. (2000). Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18(3), 349 – 422.
- Sotoa, M. (2013) *Evolución de los modelos conceptuales de los estudiantes en la implementación de la práctica “disipación de energía por rozamiento” y sugerencias de refinamiento de ésta*. Tesina de máster. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Wells, M., Hestenes, D., Swackhamer, G. (1995) A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606–619
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008) Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Sci Educ*, 92, 941–967
- Zemal-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93(4), 687-719.

