

El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias?

Marta Romero-Ariza^{1,a}

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad de Jaén. España

^amromero@ujaen.es

[Recibido en julio de 2016, aceptado en enero de 2017]

El objetivo de este artículo es reflexionar sobre los efectos y el potencial de la indagación en el aprendizaje de las ciencias. Se presta especial atención al tamaño del efecto calculado a través de meta-análisis, que revisan centenares de investigaciones publicadas en las últimas décadas. Los resultados se discuten tomando como referencia los actuales desafíos asociados a la alfabetización científica, las pruebas PISA y la necesidad de una enseñanza de las ciencias más relevante y significativa. En línea con recientes trabajos que reivindican una reconceptualización de esta metodología de enseñanza, el foco de discusión se desplaza hacia qué tipo de tareas de indagación son las que realmente potencian el aprendizaje del alumnado, con las consiguientes implicaciones para la práctica y la investigación en Didáctica de las Ciencias.

Palabras clave: Indagación; Modelización; Argumentación; Alfabetización científica; PISA.

Inquiry-Based Learning: is there enough evidence of its benefits in science education?

The aim of this paper is to reflect on the effects and potential of inquiry for science learning. Special attention is paid to the size effect coming out from meta-analysis reviewing hundreds of research works published in the last decades. Outcomes are discussed in the light of current challenges related to scientific literacy, PISA and the need to provide a more relevant and meaningful science education. In line with recent works claiming for a reconceptualization of this pedagogy, we shift the discussion to what kind of inquiry activities are those having a bigger effect on students' learning, drawing some implications for research and practice in science education.

Keywords: Inquiry; Modelling; Argumentation; Scientific Literacy; PISA.

Para citar este artículo: Romero-Ariza M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 286-299. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19218>

Introducción: qué educación científica buscamos

Desde la segunda mitad del siglo XX los especialistas han reclamado una enseñanza de las ciencias más relevante para el alumnado, que les permita comprender fenómenos y asuntos cotidianos y desenvolverse adecuadamente en la vida. Esto ha sentado las bases para la introducción del concepto de alfabetización científica (McConney, Oliver, Woods-McConney, Schibeci y Maor 2014).

La alfabetización científica se ha convertido en un objetivo internacional clave para hacer frente a los actuales desafíos de la humanidad (OCDE 2016). Algunos de ellos surgen a nivel local y requieren la toma de decisiones individuales sobre aspectos que afectan a la propia salud, a la calidad de vida, o al uso de los recursos materiales y energéticos. Los ciudadanos deciden qué productos consumir, qué fuentes de energía utilizar, cómo viajar o qué iniciativas apoyar o rechazar. Estas decisiones personales frecuentemente trascienden el ámbito local y tienen repercusiones medioambientales y económicas que subrayan la importancia de educar ciudadanos responsables e informados.

Las consideraciones anteriores junto con el hecho de que vivimos en sociedades profundamente afectadas por la ciencia y la tecnología enfatizan la necesidad de formar individuos que sepan valorar los riesgos y beneficios derivados de los avances científicos y tecnológicos y participar activamente en la discusión de temas socio-científicos controvertidos (Ariza, Abril, Quesada y García 2014a). En este contexto ha tomado fuerza el concepto de Investigación e Innovación Responsables (IIR) o Responsible Research and Innovation (RRI) en el ámbito internacional, que recoge la preocupación por implicar a los diferentes sectores sociales en las distintas etapas de investigación y desarrollo. Con ello se pretende asegurar que los productos y los procesos de la ciencia están alineados con las necesidades, expectativas y valores de la sociedad. En esta línea, el informe de expertos *Science Education for Responsible Citizenship* enfatiza el papel de la educación científica en la preparación de individuos capaces de participar activamente en IIR. Promover la IIR y la alfabetización científica a través de la educación se han convertido por tanto en dos objetivos clave en el programa H2020 de la Unión Europea (Comisión Europea 2015).

Las grandes metas educativas mencionadas plantean cuestiones importantes acerca de qué tipo de enseñanza de las ciencias favorece el desarrollo de competencias científicas y permite la formación de ciudadanos científicamente alfabetizados. En conclusión, re-definir los objetivos de la enseñanza de las ciencias en términos de competencias, alfabetización científica y preparación de ciudadanos para la IIR implica cuestionar qué metodologías favorecen dichos resultados de aprendizaje y qué sistema de evaluación es coherente con este enfoque. A continuación se revisa el concepto de alfabetización científica y su evaluación dentro del marco PISA, con objeto de establecer el punto de referencia para discutir la adecuación de la indagación como metodología docente.

La alfabetización científica

La alfabetización científica es el constructo central del programa PISA en ciencias (Programme for International Student Assessment). PISA ha establecido un marco conceptual para fundamentar y definir con precisión este constructo (Thomson, Hillman, y De Bortoli 2013; William 2010). El término de alfabetización científica descrito para PISA 2015 responde a la pregunta qué necesita la gente joven de hoy en día conocer, valorar y ser capaz de hacer en situaciones en las que la ciencia y la tecnología están implicadas y refina los anteriores marcos asociados a PISA 2006, 2009 y 2012, mostrando cómo el constructo ha ido evolucionando con el tiempo.

En la evaluación de la alfabetización científica a través de PISA 2015 se presta atención a cuatro aspectos íntimamente interrelacionados entre sí (OCDE 2016):

Contexto: se utiliza una amplia variedad de contextos tanto actuales como históricos que cubren los ámbitos personales, locales, nacionales y globales del alumnado, en situaciones en las que se puede requerir la comprensión y la capacidad de posicionarse y desenvolverse adecuadamente en temas relacionadas con la ciencia y la tecnología.

Conocimiento: el alumnado ha entender los principales hechos, conceptos y teorías científicas explicativas. No obstante, la definición de este dominio en PISA trasgrede el mero conocimiento factual acerca del medio físico y los avances tecnológicos. Por el contrario, se requiere también una comprensión de los procesos utilizados por la ciencia para generar dicho conocimiento (conocimiento procesual), así como de los mecanismos que la ciencia utiliza para fundamentar y validar dicho conocimiento (conocimiento epistemológico). La razón de por qué es necesario que los individuos posean no solo conocimiento factual, sino procesual y epistémico sobre la ciencia se justifica considerando que a lo largo de su vida, no adquirirán

conocimiento mediante investigaciones científicas, sino más bien, recurrirán a los medios de comunicación, internet y otras fuentes para informarse. La forma de posicionarse crítica y reflexivamente acerca de la información que encuentren, dependerá de su capacidad para valorar hasta qué punto, esa información está avalada por procedimientos que garanticen su validez y fiabilidad.

Competencias: PISA considera que la alfabetización científica requiere el dominio de tres competencias específicas: explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones científicas e interpretar datos y pruebas científicas. Estas tres competencias están íntimamente relacionadas entre sí, ya que se recurre a la evaluación de pruebas y evidencias y al uso de modelos científicos explicativos para dar respuesta a la cuestiones científicas planteadas (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre 2015; Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig 2009).

Actitudes: Se evalúan una serie de actitudes entre las que se encuentran el interés por la ciencia y la tecnología, la valoración de las investigaciones científicas y la ciencia como forma de conocimiento y la conciencia medio-ambiental.

Las cuatro dimensiones en las que se apoya la evaluación de la alfabetización científica en PISA (contexto, conocimiento, competencias y actitudes), no se entienden de forma aislada, sino debidamente integradas. Los individuos necesitarán los tres tipos de conocimiento para aplicar las competencias científicas a un amplio rango de contextos personales, locales, nacionales y globales. Además, la motivación personal y el interés por las cuestiones científicas y medio-ambientales influirán en el grado de implicación y desempeño del alumnado en situaciones relacionadas con la ciencia y la tecnología.

Este marco conceptual refleja los resultados de aprendizaje perseguidos en la educación científica actual y puede considerarse un referente interesante para reflexionar sobre la adecuación de la metodología de aprendizaje por indagación para conseguir dichos resultados, tal y como se mostrará más adelante. A continuación se describe qué es la indagación y por qué ha recibido tanta atención en las últimas décadas.

El aprendizaje por indagación y los actuales retos en la enseñanza de la ciencias

La indagación también conocida como aprendizaje por indagación, aprendizaje por investigación, Inquiry-Based Learning (IBL) o Inquiry-Based Science Education (IBSE) en el ámbito internacional, empezó a recibir atención en los años 60, pero realmente cobró protagonismo en los 90 con la publicación de los National Science Education Standards en América (NRC 1996, 2000).

En Europa, la publicación en 2007 del informe de expertos *Science Education now: a renewed pedagogy for the future of Europe* (Rocard 2007) en la que se afirma que las metodologías basadas en la indagación son más efectivas (p. 7) ha impulsado numerosas iniciativas enfocadas a la promoción de este enfoque en las aulas, tales como los proyectos europeos PRIMAS, INQUIRE, MASCIL, SAILS, PROFILES, ENGAGE, IRRESISTABLE o PARRISE.

El aprendizaje por indagación también ha sido recomendado como metodología didáctica por informes nacionales en distintos países. En Reino Unido, el gobierno publicó que las escuelas que presentaban mejores resultados en las materias de ciencias y un mayor grado de implicación y motivación del alumnado eran aquellas que utilizaban metodologías más prácticas centradas en el desarrollo de habilidades de investigación (Ofsted 2011, p. 6). En España, el informe de expertos *ENCIENDE* recomienda “un replanteamiento de las

metodologías de aula hacia propuestas donde la indagación y experimentación de cierta duración tengan un papel más importante” (Couso, Jiménez, López-Ruiz, Mans, Rodríguez, Rodríguez y Sanmartí 2009, p. 97).

Algunos de los grandes referentes en Naturaleza de la Ciencia afirman que “el conocimiento actual sugiere que la mejor forma de aprender ciencias es a través de la indagación. Se cree que los estudiantes aprender mejor los conceptos científicos haciendo ciencia” (Lederman, Lederman y Antink 2013, p. 142-143).

Bevins y Price (2016) consideran que la indagación es el mejor método para enseñar ciencias, promover habilidades de investigación en los estudiantes y ayudarles a interiorizar nuevo conocimiento en la búsqueda de respuesta a preguntas científicas, previamente formuladas. Así, afirman que “esta aproximación aporta al alumnado un mayor control del propio aprendizaje y le permite navegar activamente por los caminos que aumentan su comprensión y motivación y mejoran su actitud hacia la práctica científica, incrementando su auto-estima y su capacidad para manejar nuevos datos en un mundo cada vez más complejo” (p. 19).

Pero, ¿qué entendemos por indagación en el aula? Una de las definiciones más referenciadas es la aportada por el National Research Council (2000) a raíz de la publicación de los estándares para la enseñanza de las ciencias. En esta definición la indagación se define como “una actividad polifacética que incluye la observación, la formulación de preguntas, la búsqueda de información en libros y otras fuentes para conocer lo que ya se sabe sobre un tema, el diseño y planificación de investigaciones, la revisión de ideas atendiendo a la evidencia experimental disponible, el manejo de herramientas asociadas a la adquisición, análisis e interpretación de datos, la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados. La indagación requiere la identificación de asunciones, la aplicación del pensamiento lógico y crítico y la consideración de explicaciones alternativas” (Ariza, Aguirre, Quesada, Abril y García 2016a, p. 298).

En el informe de expertos *Science Education for Responsible Citizenship* (Comisión Europea 2015) se define la indagación como un proceso complejo de construcción de significados y modelos conceptuales coherentes, en el que los estudiantes formulan cuestiones, investigan para encontrar respuestas, comprenden y construyen nuevo conocimiento y comunican su aprendizaje a otros, aplicando el conocimiento de forma productiva a situaciones no familiares (Comisión Europea 2015, p. 68).

En los últimos años se han propuesto nuevas conceptualizaciones de esta metodología. Pedaste *et al.* (2015) proponen un modelo no lineal que incluye cinco fases y 9 sub-fases interrelacionadas entre sí a través de múltiples caminos, que representan la diversidad de posibles implementaciones en el aula. La discusión, comunicación y reflexión se proponen como elementos transversales del modelo que determinan en gran medida la calidad de la indagación llevada a cabo por el alumnado. Los autores justifican esta idea aludiendo a la influencia que estas actividades tienen sobre la meta-cognición y auto-regulación del aprendizaje.

Bevins y Price (2016) se fundamentan en la psicología y la filosofía de la ciencia para proponer un modelo de indagación que incluye aspectos conceptuales, procedimentales, epistémicos y personales distribuidos en tres grandes dimensiones. Los autores argumentan que su modelo de indagación tiene en cuenta la influencia de los factores afectivos y motivacionales en el aprendizaje y cómo, a través de la indagación, se facilitan actitudes positivas hacia la ciencia y la apropiación de ideas y procesos científicos por parte de los estudiantes.

A pesar de los múltiples intentos de definir esta metodología y de los repetidos esfuerzos por apoyar su uso en las aulas, uno de los problemas más importantes que nos encontramos es

que, bajo el término indagación, se ubican numerosas intervenciones didácticas que varían considerablemente dependiendo del tipo de actividades llevadas a cabo por el alumnado y del nivel de guía o apoyo ofrecido por el docente. Esta falta de consenso sobre qué implica enseñar ciencias por indagación supone un obstáculo para extraer conclusiones claras acerca de la influencia de esta metodología en el aprendizaje de las ciencias, tal y como se discutirá más adelante.

El aprendizaje por indagación ¿existen evidencias sobre sus beneficios?

En este apartado intentaremos extraer conclusiones fundamentadas sobre los efectos de la indagación en el alumnado. En primer lugar, comentaremos algunos trabajos que ponen en tela de juicio la eficacia de esta metodología para, posteriormente, presentar un análisis más detallado de las evidencias arrojadas por revisiones sistemáticas y meta-análisis, con objeto de ofrecer una perspectiva rica y compleja que nos permita comprender mejor qué tipo de actividades facilitan el aprendizaje de las ciencias.

La indagación, ¿favorece la alfabetización científica?

Varios investigadores han estudiado la correlación entre los resultados en las pruebas PISA y el tipo de metodología predominante en el aula, tratando de buscar evidencias sobre si la indagación promueve una mejor alfabetización científica y un mayor interés por las ciencias (Areepattamannil, Freeman, y Klinger 2011; Lavonen y Laaksonen 2009; McConney *et al.*, 2014). En estos estudios experimentales el predominio de actividades de indagación en las aulas resultó ser un predictor negativo del rendimiento académico en las pruebas PISA (Areepattamannil 2012; McConney *et al.* 2014), aunque se encontró una correlación positiva entre el uso de esta metodología y el interés y motivación por las ciencias.

No obstante, los propios autores discutieron las limitaciones de su trabajo señalando que, el alumnado sometido a indagación, pudo haber adquirido un conocimiento más profundo sobre los tópicos trabajados en clase, aunque no un dominio amplio de todos los contenidos evaluables (Harlen 2010; McConney *et al.* 2014). Las pruebas PISA miden amplitud de contenidos (OCDE 2016) y no tanto la profundidad de la comprensión del alumnado sobre un determinado tema. Además, los autores apuntaron la necesidad de valorar el impacto de la indagación sobre la alfabetización científica a largo plazo. Por último, se incidió en el hecho de que los datos utilizados reflejaban *la cantidad* de IBL pero no su *calidad*. En relación a esto último, indicaron la necesidad de comprender en profundidad cuáles son las actividades que realmente favorecen la alfabetización científica, argumentado que “not all inquiry is created equal” (McConney *et al.* 2014, p. 978) o lo que es lo mismo, la indagación en el aula no siempre se entiende y se aplica del mismo modo. Estas afirmaciones dirigen el foco de discusión sobre qué tipo de IBL favorece y potencia el aprendizaje, discusión que se retoma en el siguiente apartado.

¿Produce la indagación mejores resultados que otras metodologías docentes?

A pesar de las elevadas expectativas depositadas en esta metodología y de sus repetidos intentos de promoción a nivel político (Comisión Europea 2007, 2015; NRC 2000, 2012), la indagación ha sido continuamente cuestionada por algunos autores como Kirschner, Sweller y Clark (2006) o Mayer (2004), que alegan que es ingenuo pensar que los estudiantes pueden por sí solos, a través del aprendizaje por indagación, llegar a una asimilación significativa de las ideas y teorías científicas. Para posicionarnos respecto a estos cuestionamientos críticos recurriremos a las evidencias arrojadas por la investigación especializada. Prestaremos especial

atención a los meta-análisis que miden el tamaño del efecto de esta metodología comparándola con enfoques de enseñanza más tradicionales.

La idea de que la indagación mejoraba la enseñanza de las ciencias ha inspirado desde los inicios hasta la actualidad multitud de trabajos de revisión y meta-análisis. Aunque ya en los 80 y principios de los 90 se publicaron algunas revisiones de la literatura importantes (Bredderman 1983; Shymansky, Hedges, y Woodworth 1990; Weinstein, Boulanger, y Walberg 1982) y posteriormente se han publicado otras que mencionaremos (Alfieri, Brooks, Aldrich y Tenenbaum 2011; Hatti 2009; Slavin, Lake, Hanley y Thurston 2014; Schroeder, Scott, Tolson, Huang y Lee 2007), en este artículo vamos a comentar con más detenimiento los resultados obtenidos por tres de las revisiones más recientes (Furtak, Seidel, Iverson y Briggs 2012; Lazonder y Harmsen 2016; Minner, Levy, y Century, 2010). La selección viene motivada por la complementariedad de criterios empleados por los autores en la inclusión de investigaciones, así como por el hecho de que, de forma combinada, suponen la revisión sistemática de miles de trabajos publicados desde los años 80 hasta la presente década.

Minner *et al.* (2010) realizaron una revisión sistemática de los trabajos publicados desde 1984 hasta 2002, continuando la síntesis de investigación publicada anteriormente por Bredderman (1983). Los autores emplearon 123 palabras clave relacionadas con la indagación en el aula para asegurar la inclusión de investigaciones centradas en evaluar el efecto de esta metodología sobre el aprendizaje del alumnado. En el proceso de selección de trabajos se prestó especial atención al rigor metodológico de las investigaciones y a la medida de los resultados de aprendizaje producidos en los estudiantes. De los 1027 trabajos obtenidos inicialmente, 443 cumplieron los criterios generales de inclusión. Los resultados asociados a 138 investigaciones mostraron que, la cantidad de actividades enfocadas a promover la capacidad de pensar, razonar y elaborar argumentos basados en evidencias, es un predictor positivo de la comprensión de las ideas científicas por parte del alumnado sometido a aprendizaje por indagación, lo que puede considerarse una evidencia importante a favor de los efectos positivos de esta metodología.

Solapando en parte con el periodo de tiempo incluido en la anterior síntesis de la literatura, Furtak, Seidel, Iverson y Briggs (2012) llevaron a cabo una revisión de investigaciones publicadas entre los años 1996-2006, una década donde el aprendizaje por indagación recibió especial atención dentro de la didáctica de las ciencias tras la publicación de los National Science Education Standards (NRC 1996). En dicha revisión incluyeron solo trabajos experimentales o cuasi-experimentales en inglés, con un diseño pre-post test con grupo control y que midiesen el impacto en términos de aprendizaje, con suficientes datos estadísticos, como para poder calcular el tamaño del efecto.

Para el análisis exhaustivo de investigaciones se estableció un sistema de categorías que permitió clasificar los trabajos en función del dominio de indagación; es decir, del tipo de actividades llevadas a cabo (procesuales, epistemológicas, conceptuales y sociales). Esta categorización se justificó atendiendo al hecho de que, bajo el término indagación, se incluyen numerosas intervenciones didácticas, no todas equiparables o comparables, lo que pone en peligro la validez del constructo en un meta-análisis encaminado a valorar el tamaño del efecto. Por otro lado, la clasificación de trabajos en función de dichas categorías permitió valorar la eficacia del IBL, en función del dominio de indagación.

Furtak *et al.* (2012) también clasificaron los trabajos atendiendo al grado de estructuración de la tarea, es decir, si se trataba de intervenciones fundamentalmente dirigidas por el alumnado o con un importante nivel de guía por parte del profesorado.

Los resultados de dicho meta-análisis mostraron un tamaño del efecto medio de 0.50, siendo este superior en aquellas intervenciones que incluían actividades epistemológicas o las que combinan actividades epistemológicas con procesuales y sociales. Además, aquellos trabajos categorizados como investigación guiada por el profesor presentaban un tamaño del efecto 0.40 superior que las investigaciones abiertas o no guiadas por el profesor (Furtak *et al.* 2012).

Aunque la revisión muestra tamaños del efecto significativos aunque moderados, se observa como éstos se incrementa considerablemente cuando se implica al alumnado en determinadas actividades de indagación y cuando el docente orienta adecuadamente el proceso. Estos resultados son coherentes con los obtenidos en el meta-análisis de 164 estudios publicado por Alfieri *et al.* (2011), que revelan que la indagación no guiada no facilita el aprendizaje mientras que cuando el proceso está debidamente asistido por el profesor si se obtienen beneficios importantes.

Recientemente, Lazonder y Harmsen (2016) han llevado a cabo un meta-análisis sobre las investigaciones publicadas en las décadas comprendidas entre 1993-2013, aplicando criterios de selección similares a los de Furtak *et al.* (2012). Sin embargo, en este caso las investigaciones fueron clasificadas en función de los resultados de aprendizaje medidos y del tipo de guía ofrecida por el profesorado. En relación a la primera dimensión, se distinguió entre destrezas de investigación, calidad de los productos elaborados y aprendizaje adquirido. Respecto a la segunda, se establecieron distintas categorías en función de la ayuda prestada por el docente (limitar la complejidad del proceso, sintetizar hallazgos u ofrecer una visión global del estado de la cuestión, sugerir determinadas acciones, ofrecer orientaciones sobre cómo realizar una determinada acción, explicar...).

Los resultados muestran el efecto positivo de la indagación guiada en todos los casos con distintos valores medios del tamaño del efecto en función del resultado de aprendizaje considerado, con una media de 0.66 sobre las destrezas de investigación, de 0.71 sobre la calidad de los productos generados por el alumnado y de 0.50 sobre el aprendizaje de los estudiantes. Estos resultados muestran un tamaño del efecto moderado sobre el aprendizaje de conceptos y un mayor impacto sobre el desarrollo de destrezas de indagación, lo que debe tenerse en cuenta cuándo se plantean los resultados de aprendizaje perseguidos al utilizar esta metodología y su evaluación.

A la vista de las evidencias de investigación podemos concluir que, el tamaño del efecto de la indagación depende de la clase de actividades de indagación que se han llevado a cabo en el aula, del nivel de guía o apoyo ofrecido por el docente y del tipo de resultado de aprendizaje medido.

Conclusiones e implicaciones para la Didáctica de las Ciencias

Una de las conclusiones más evidentes a las que se llega al revisar la literatura especializada sobre el tema, es que, a pesar de los repetidos intentos por definir los rasgos característicos del aprendizaje por indagación, el término se utiliza como paraguas para integrar una gran variedad de propuestas didácticas (Abd-el Khalik, BouJaoude, Duschl Lederman, Mamlok Naaman, Hofstein, Niaz, Treagust y Tuan 2004; Anderson 2002; Couso 2014; Furtak *et al.* 2012).

La existencia de múltiples interpretaciones sobre lo que significa enseñar por indagación tiene implicaciones importantes que se discutirán a continuación:

En primer lugar y tal y como se ha mencionado anteriormente, dificulta la extracción de conclusiones claras sobre los efectos de esta metodología en el aprendizaje del alumnado. Bajo

el término indagación se recogen multitud de intervenciones, que varían significativamente en el tipo de actividades llevadas a cabo por el alumnado, en su grado de autonomía y en el nivel de guía recibido. De esta forma, a veces se compara un grupo experimental que plantea cuestiones sobre un determinado tema de actualidad, busca información en la web y elabora respuestas basadas en evidencias, frente a un grupo control en el que el profesor explica los contenidos. En otras ocasiones se compara un grupo de estudiantes formulando hipótesis y diseñando su propios experimentos, con otro que desarrolla prácticas clásicas de laboratorio. Encontramos trabajos que contrastan la investigación de un fenómeno físico a través de una simulación por ordenador con otras metodologías de clase más tradicionales. Además, el grado de autonomía del alumnado varía significativamente de unos trabajo a otros. Esta situación dificulta la definición clara del constructo, suponiendo un serio obstáculo para aquellos meta-análisis que pretenden obtener evidencias acerca del tamaño del efecto del IBL respecto a otras metodologías.

La falta de consenso acerca de qué supone enseñar por indagación tiene otra implicación importante y es que, da cabida a interpretaciones pobres y poco adecuadas de este enfoque. De acuerdo con Couso (2014), muy a menudo se plantea una indagación sin objetivos de aprendizaje conceptuales, cuyo principal propósito es implicar y motivar al alumnado o promover habilidades de indagación. No obstante, no se debe confundir estar involucrado y activo físicamente con estar motivado y activo intelectualmente, y hemos de reflexionar sobre si las habilidades que se trabajan en el alumnado y la imagen de la ciencia que se comunica son las adecuadas.

Más allá de la mera adquisición de destrezas técnico-manipulativas, se deben fomentar habilidades de indagación de orden superior, así como actividades epistémicas que transmitan una visión adecuada sobre la naturaleza de la ciencia (Chinn y Malhotra 2002). Hemos de cuestionar las tareas centradas en los pasos del método científico, que refuerzan una imagen empirista e ingenua de la ciencia; por el contrario se ha de enfatizar el papel fundamental de las ideas explicativas en el desarrollo de conocimiento científico y la función semántica de la ciencia (construcción de teorías y modelos para dar sentido a lo que nos rodea).

En esta línea habría que conceder un mayor protagonismo a la argumentación y la modelización, no solo como componentes esenciales de la ciencia, sino como catalizadores de la actividad cognitiva y del aprendizaje significativo del alumnado y por tanto, ingredientes clave de una indagación de calidad. Esta postura es compartida por numerosos autores que defienden una indagación enfocada a la modelización (Couso 2014) y está avalada por las evidencias de la investigación comentadas anteriormente, que asocian mayores tamaños de efecto a aquellas tareas de indagación que combinan aspectos epistémicos con sociales y que involucran al alumnado en el razonamiento y la explicación de evidencias.

La importancia de fomentar el razonamiento y la reflexión en el alumnado, así como la evaluación de ideas alternativas y la argumentación están en línea con propuestas recientes de re-conceptualización de la indagación en el aula (Pedaste *et al.* 2015), así como con los nuevos estándares de ciencia en Estados Unidos (NRC 2012; NGSS 2013). La revisión de estos estándares pretende por una lado, garantizar que la enseñanza de las ciencias por indagación sea más coherente con una visión adecuada de la ciencia y por otro, definir con mayor claridad qué tipo de procesos se priorizan en el aula y qué resultados de aprendizaje se quieren promover (Osborne 2014). En el modelo que subyace a los nuevos estándares de ciencias se distinguen tres grandes dimensiones: la investigación, la evaluación y la articulación de explicaciones y soluciones. La evaluación se presenta como la dimensión clave que relaciona los datos y las evidencias arrojadas por la investigación, con el ámbito de las ideas, es decir, con las teorías y modelos explicativos, facilitando la validación de éstos (Osborne 2014).

Otro de los aspectos vinculado a lo que podría considerarse una *indagación de calidad* es el hecho de trabajar no sólo sobre preguntas investigables, sino preguntas con una clara orientación científica. Frecuentemente se descuida la importancia de orientar la investigación sobre cuestiones que den sentido a ideas científicas clave, es decir, con objetivos conceptuales y una clara orientación hacia la construcción de teorías y modelos científicos que expliquen las evidencias disponibles. Para ello es necesario procurar contextos significativos que impliquen cognitiva y emocionalmente al alumnado y promuevan el desarrollo tanto de destrezas, como de conocimiento científico.

Si pretendemos que la indagación en el aula repercuta en una mejora en la enseñanza de las ciencias, hemos de diseñarla y articularla teniendo en mente los resultados de aprendizaje que queremos alcanzar. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, además de buscar la motivación e implicación cognitiva del alumnado, la indagación ha de ir enfocada a promover destrezas de investigación coherentes con una visión adecuada de la ciencia, fomentar la argumentación basada en evidencias, el contraste y evaluación de ideas alternativas y la construcción de teorías y modelos científicos explicativos. Por último, es necesario asegurar una evaluación coherente de dichos resultados de aprendizaje y reflexionar sobre su contribución al desarrollo de la alfabetización científica.

Un análisis de los rasgos fundamentales asociados a lo que hemos denominado *una indagación de calidad*, muestra su paralelismo con el marco conceptual de PISA para la evaluación de la alfabetización científica (OCDE 2016).

Tabla 1. Qué modelo de indagación favorece la alfabetización científica de acuerdo con el marco de evaluación de PISA.

Aspectos clave	PISA	Indagación de calidad
Contexto	Capacidad de transferir conocimiento y habilidades a una amplia variedad de contextos.	Búsqueda de contextos y cuestiones que faciliten el desarrollo de destrezas de investigación y la construcción significativa de conocimiento científico.
Motivación y actitudes	Interés por la ciencia. Valoración de la ciencia.	Motivación e implicación en la investigación de cuestiones científicas. Apropiación de la “cultura científica”, valoración de la naturaleza de la ciencia.
Competencias	Explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones científicas e interpretar datos y pruebas científicas.	Investigar cuestiones científicas, evaluar ideas alternativas teniendo en cuenta los datos y evidencias disponibles y construir explicaciones coherentes (investigar, interpretar, argumentar y modelizar).
Conocimiento	Procesual, epistémico y fáctico.	Conocimiento de ciencias (comprensión de ideas científicas) y sobre la ciencia (forma en la que se construye dicho conocimiento).

La tabla 1 ilustra el paralelismo entre los aspectos clave del marco para la evaluación de la alfabetización científica y lo que ha sido definido como una *indagación de calidad*. Este paralelismo sugiere que la indagación bien diseñada y articulada constituye una metodología adecuada para promover la alfabetización científica. No obstante, no podemos finalizar sin llamar antes la atención sobre el papel clave que el docente juega en la implementación de dicha *indagación de calidad*.

Hattie (2009), tras revisar más de 50000 estudios y 800 meta-análisis relacionando metodologías docentes con resultados académicos, concluyó que los mejores resultados se asocian al profesor “activador”, que es definido como aquel que facilita la meta-cognición y la regulación del propio aprendizaje en el alumnado.

Aunque esta conclusión es general y no está específicamente vinculada a la enseñanza por indagación, se considera que los beneficios de la indagación sobre el aprendizaje del alumnado se ven fuertemente afectados por la forma en la que el docente planifica, articula y orienta el proceso (Couso 2014; Hmelo-Silver, Duncan y Chinn 2007; Kawalkar y Vijapurkar 2013). Su papel como orientador y activador de la capacidad de pensar y razonar del alumnado es esencial si se quiere huir del fracaso atribuido al aprendizaje por descubrimiento y dar respuesta a las visiones críticas sobre la indagación exhibidas por algunos autores (Kirschner, *et al.* 2006; Mayer 2004).

Lejos de una concepción ingenua de la indagación como aprendizaje por descubrimiento, las investigaciones comentadas en apartados anteriores señalan que los mejores resultados de aprendizaje se obtienen con la indagación guiada (Furtak *et al.* 2012; Lazonder *et al.* 2016; Minner *et al.* 2010). Esto es coherente con una concepción del aprendizaje en la que el alumnado construye nuevo conocimiento estimulado por el docente dentro de la zona de desarrollo próximo de Vygotsky (Shayer 2003).

No obstante, es necesario reconocer el gran reto que supone trasladar este modelo de enseñanza al aula (Gil, Martínez, De la Gándara, Calvo y Cortés 2008; Kawalkar y Vijapurkar 2013). Diversos autores discuten las creencias y necesidades del profesorado al respecto, así como las barreras encontradas por los docentes para su implementación (Abril, Ariza, Quesada y García, 2014; Anderson 2002; Newman, Abell, Hubbard, McDonald, Otaala y Martini 2004). Sin embargo, algunos trabajos muestran cómo una adecuada formación específica puede modificar las concepciones didácticas sobre el aprendizaje y la eficacia de los enfoques de enseñanza (Martínez-Chico, Jiménez Liso y López-Gay 2015) y reducir la percepción de obstáculos para la utilización de la indagación en el aula (Godoy, Segrra y Di Mauro 2014), aunque se reclama un mayor número de propuestas coherentes de formación de profesorado (Jiménez-Tenorio y Oliva 2016).

No obstante, aún en los casos en los que se ofrecen materiales y desarrollo profesional especializado, el profesorado encuentra dificultades importantes para la implementación de una indagación de calidad en el aula. Grigg Kelly, Gamoran y Borman (2013) han estudiado en profundidad como los docentes facilitan la generación de preguntas investigables en el aula y promueven la obtención de evidencias por parte del alumnado. Sin embargo, sus estudios ponen de manifiesto el gran desafío que supone para el profesorado fomentar en los estudiantes el razonamiento y la justificación de argumentos.

Lo anteriormente expuesto apunta a la necesidad de diseñar y evaluar programas de desarrollo profesional que ofrezcan un adecuado apoyo al profesorado en este ámbito. Dichos programas deben de estar fundamentados en la investigación especializada sobre formación eficaz de profesorado (Ariza, Abril, Quesada y García, 2014; Ariza, Quesada, Abril y García, 2016b) y permitir el desarrollo de competencias docentes específicas tales como guiar la

investigación del alumnado, usar preguntas que fomenten el razonamiento, promover interacciones constructivas, construir sobre lo que el alumnado ya sabe y utilizar la evaluación como herramienta de aprendizaje (Ariza *et al.* 2014).

Como conclusión de todo lo expuesto anteriormente, cabe destacar que, tras varias décadas reivindicando el potencial del IBL para mejorar la enseñanza de las ciencias, es necesario cambiar el foco de discusión de la mera promoción de la indagación en el aula, a la utilización de actividades enfocadas a promover el pensamiento crítico, la argumentación y la modelización en el alumnado, así como ofrecer una adecuada formación de profesorado en este ámbito, para implementar una indagación de calidad.

Agradecimientos

Se expresa un especial agradecimiento a los revisores de este trabajo cuyos comentarios y sugerencias han contribuido notablemente a la mejora del mismo.

Referencias bibliográficas

- Abd-el Khalik F., BouJaoude S., Duschl R., Lederman N.G., Mamlok Naaman R., Hofstein A., Niaz M., Treagust D., Tuan, L. (2004) Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education* 88(3), 397-419.
- Abril, A.M., Ariza, M.R., Quesada, A., García, F.J. (2014) Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias* 11, 22-33. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/15710>
- Anderson R.D. (2002) Reforming science teaching: What research says about inquiry? *Journal of Science Teacher Education* 13(1), 1-2.
- Alfieri L., Brooks P.J., Aldrich N.J., Tenenbaum H.R. (2011) Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology* 103, 1–18. doi:10.1037/a0021017
- Areepattamannil S. (2012) Effects of inquiry-based science instruction on science achievement and interest in science: Evidence from Qatar. *The Journal of Educational Research* 105(2), 134–146.
- Areepattamannil S., Freeman J.G., Klinger D.A (2011) Influence of motivation, self-beliefs and instructional practices on science achievement of adolescents in Canada. *Social Psychology of Education* 14, 233–259.
- Ariza, M.R., Abril, A.M., Quesada, A., García, F.J. (2014b) Bridging inquiry based learning and science education on socio scientific issues: contributions to the PARRISE European Project. *En INTED2014, Proceedings 8th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 2599-2607). Valencia: IATED Academy
- Ariza, M.R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A.M., García, F.J. (2016a) ¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 15(2), 297-311. Recuperado de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen15/REEC_15_2_7_ex1017.pdf
- Ariza, M.R., Quesada, A., Abril, A.M., García, F.J. (2016) Promoting Responsible Research through Science Education. Design and Evaluation of a Teacher Training Program. *En INTED2016 Proceedings 10th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 3941-3950). Valencia: IATED Academy.

- Bevins, S., Price, G. (2016) Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education* 38(1), 17-29.
- Bredderman T. (1983) Effects of activity-based elementary science on student outcomes: A quantitative synthesis. *Review of Educational Research* 53, 499–518. doi:10.3102/00346543053004499
- Chinn, C., Malhotra, B.A. (2002) Epistemologically authentic Inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education* 86, 175-218.
- Couso D., Jiménez M. P., López-Ruiz J., Mans C., Rodríguez C., Rodríguez J.M., Sanmartí, N. (2011) *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica escolar para edades tempranas en España*. Madrid: Rubes Editorial.
- Couso (2014) De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M. A. Héras, A. Lorca, B. Vázquez, A. Wamba, R. Jiménez. *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.
- Crujeiras, B., Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015) Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(3), 385-401. <http://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2931>
- Furtak E.M., Seidel T., Iverson H., Briggs D.C. (2012) Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research* 82(3), 300-329.
- Gil Quílez, M.J., Martínez Peña, M.B., De la Gándara Gómez, M., Calvo Hernández, J.M., Cortés Gracia, A. (2008) De la universidad a la escuela: no es fácil la indagación científica. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 63 (22,3), 81-100.
- Godoy, A.V., Segarra, C.I., Di Mauro, M.F. (2014) Una experiencia de formación docente en el área de Ciencias Naturales basada en la indagación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11(3), 381-397. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16590>
- Grigg J., Kelly K.A., Gamoran A., Borman, G.D. (2013) Effects of two scientific inquiry professional development interventions on teaching practice. *Educational Evaluation and Policy Analysis* 35(1), 38 – 56.
- Harlen W. (Ed.) (2010) *Principles and big ideas of science education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Hattie, J. (2009) *Visible Learning, A synthesis of over 800 meta-Analyses relating to achievement*, (2nd. Edition), Routledge: New York.
- 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.
- Jiménez Aleixandre, M.P., Bravo, B., Puig, B. (2009) ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa* 186, 10- 12.
- Jiménez-Tenorio, N., Oliva, J.M. (2016) Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13(1), 121-136. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18018>

- Kawalkar, A., Vijapurkar, J. (2013) Scaffolding Science Talk: The role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education* 35(12), 2004–2027.
- Kirschner P.A., Sweller J., Clark R.E. (2006) Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist* 41, 75–86. doi:10.1207/s15326985ep4102_1
- Lavonen J., Laaksonen S. (2009) Context of teaching and learning school science in Finland: Reflections on PISA 2006 results. *Journal of Research in Science Teaching* 46, 922 – 944.
- Lazonder A.W., Harmsen R. (2016) Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research* 20(10), 1-38. DOI 10.3102/0034654315627366.
- Lederman N.G., Lederman J.S., Antink A. (2013) Nature of science and scientific inquiry as contexts for learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology* 1(3), 138 – 147.
- Mayer R.E. (2004) Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist* 59, 14–19. doi:10.1037/0003-066X.59.1.14
- Martínez-Chico, M., Jiménez Liso, M.R., López-Gay R., (2015) Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 12(1), 149-166. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16929>
- McConney A., Oliver M.C., Woods-McConney A., Schibeci R., Maor D. (2014) Inquiry, Engagement, and Literacy in Science: A Retrospective, Cross-National Analysis Using PISA 2006. *Science Education* 98(6), 963-980.
- Minner D., Levy A., Century J. (2010) Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching* 47, 474–496. doi: 10.1002/tea.20347
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Newman, W.J., 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.
- OCDE, (2016) PISA 2015 *Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264255425-en
- Ofsted (2011) *Successful science: An evaluation of science education in England 2007 – 2010*. Manchester, UK: Ofsted.
- Osborne, J. (2014) Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education* 25(2), 177-196.

- Pedaste M., Mäeots M., Siiman L.A., De Jong T., Van Riesen S.A., Kamp E.T., Tsourlidaki E. (2015) Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review* 14, 47-61.
- Schroeder C.M., Scott T.P., Tolson H., Huang T.-Y., Lee Y.H. (2007) A metaanalysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching* 44, 1436–1460. doi:10.1002/tea.20212
- Shayer M. (2003) Not just Piaget; not just Vygotsky, and certainly not Vygotsky as alternative to Piaget. *Learning and instruction* 13(5), 465-485.
- Slavin, R.E., Lake, C., Hanley, P., Thurston, A. (2014) Experimental evaluations of elementary science programs: A best-evidence synthesis. *Journal of Research in Science Teaching* 51(7), 870–901.
- Shymansky J.A., Hedges L.V., Woodworth G. (1990) A reassessment of the effects of inquiry-based science curricula of the 60's on student performance. *Journal of Research in Science Teaching* 27, 127–144. doi:10.1002/tea.3660270205
- Thomson S., Hillman K., De Bortoli L. (2013) *A teacher's guide to PISA scientific literacy*. Camberwell: Australian Council for Educational Research.
- Weinstein T., Boulanger F.D., Walberg H.J. (1982) Science curriculum effects in high school: A quantitative synthesis. *Journal of Research in Science Teaching* 19, 511–522. doi:10.1002/tea.3660190610
- William D. (2010) What Counts as Evidence of Educational Achievement? The Role of Constructs in the Pursuit of Equity in Assessment. *Review of Research in Education* 34, 254-284.