

revista de **e**DUCCIÓN

Nº 381 JULIO-SEPTIEMBRE 2018



La enseñanza de las ciencias basada en indagación.
Una revisión sistemática de la producción española

Inquiry-based Science Education. A systematic review of
Spanish production

David Aguilera Morales
Tobías Martín-Páez
Víctor Valdivia-Rodríguez
Ángela Ruiz-Delgado
Leticia Williams-Pinto
José Miguel Vilchez-González
Francisco Javier Perales-Palacios



La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española

Inquiry-based Science Education. A systematic review of Spanish production

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388

David Aguilera Morales
Tobías Martín-Páez
Víctor Valdivia-Rodríguez
Ángela Ruiz-Delgado
Leticia Williams-Pinto
José Miguel Vílchez-González
Francisco Javier Perales-Palacios

Universidad de Granada

Resumen

Ante la creciente relevancia otorgada a la enseñanza basada en indagación tanto en el ámbito internacional como nacional, este artículo pretende aunar aquellos trabajos referentes a esta línea de investigación publicados entre 2007-2017 en las revistas españolas del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Se han revisado 1941 artículos, incluyéndose 55 de ellos tras la aplicación de los criterios de selección establecidos, todo ello según las directrices de la Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Los resultados muestran cuáles son los autores más prolíficos, la evolución de la producción científica, las etapas educativas consideradas, los tipos de estudios, sus diseños y las implicaciones educativas de su aplicación en las aulas. A la luz de estos, podemos concluir que no abundan autores o autoras con una excelsa producción referente a esta temática, pues esta línea de investigación es aún incipiente en España. Además, la atención dedicada a las distintas etapas educativas por la investigación en Didáctica de

las Ciencias Experimentales no es equitativa, siendo las grandes perjudicadas las etapas de Educación Infantil y Primaria. Existen más artículos de naturaleza teórica que empírica, dado que queda patente la falta de estudios experimentales que testen este enfoque de enseñanza. No obstante, las implicaciones educativas derivadas de las publicaciones españolas son similares a las internacionales. Finalmente, hemos de abogar por un incremento de los estudios dirigidos a evaluar los beneficios de la enseñanza basada en indagación en las diferentes etapas educativas, incidiendo en las etapas de Educación Infantil y Primaria.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias; enseñanza basada en indagación; implicaciones educativas; revistas españolas; revisión sistemática.

Abstract

Due to the growing importance given to teaching based on inquiry both at the international and national level, this article aims to further work related to this line of research published between 2007 and 2017 in the Spanish area of Didactic of Experimental Sciences. We reviewed 1941 articles, including 55 criteria for the selection, all according to the guidelines of the PRISMA statement (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). The results show the most prolific authors, the evolution of scientific production, the educational stages considered, the types of studies, the designs and the educational implications of their application in the classrooms. In light of these, we can conclude that there are not many authors with an excellent production regarding this subject, because this research's line is still incipient in Spain. The attention devoted to the different educational stages by research in Didactic of Experimental Sciences is not equitable, with the most affected being the stages of Infantile and Primary Education. There are more articles of a theoretical nature than empirical ones, given the lack of experimental studies that prove this teaching approach is patent. However, the educational implications derived from Spanish publications are similar to the international ones. Finally, we have to advocate for an increase in the number of studies aimed at evaluating the benefits of teaching based on inquiry in the different educational stages, focusing on the stages of Pre-school Education and Primary Education.

Keywords: Science education; teaching based on inquiry; educational implications; Spanish journals; systematic review.

Introducción

La indagación como estrategia de enseñanza y aprendizaje de las ciencias está abriéndose paso como una alternativa sugerente ante la necesidad

de mejorar la actual forma de enseñar ciencias en los centros educativos. Algunos de los objetivos que se persigue con ello serían los siguientes:

- (1) Mejorar la imagen y la actitud hacia la ciencia.
- (2) Contribuir a la alfabetización científica.
- (3) Incentivar las vocaciones científicas.

En ello sin duda ha influido la recomendación de su uso por parte del Informe Rocard (2007), y más recientemente la publicación del informe de la Comisión Europea: «Science Education for Responsible Citizenship» (Hazelkorn, 2015), en el que se abunda en dicha recomendación. Así, se señala que «Education policies and systems should: ... Support schools, teachers, teacher educators and students of all ages to adopt an inquiry approach to science education as part of the core framework of science education for all...» (p. 10).

A pesar de la importancia otorgada en los últimos tiempos a esta línea de investigación, existe un número reducido de trabajos de síntesis sobre esta temática. Concretamente, en la última década, encontramos cuatro estudios de revisión sobre la enseñanza basada en indagación en el panorama internacional (Minner, Levy y Century, 2010; Alfieri, Brooks, Aldrich y Tenenbaum, 2011; Furtak, Seidel, Iverson y Briggs, 2012; Lazonder y Harmsen, 2016), mientras que en el ámbito nacional solo disponemos del trabajo de Romero-Ariza (2017). Aunque las diferencias entre la revisión de Ro-Ariza (2017) y el aquí expuesto son evidentes, dado que la autora realiza una revisión narrativa en la que comenta resultados obtenidos por otros estudios de revisión, en este caso meta-análisis, que versan sobre la temática abordada.

Para ampliar la información al respecto, en este artículo se revisan las investigaciones publicadas entre los años 2007 y 2017 en las revistas españolas específicas de Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE) a partir de las siguientes preguntas de investigación:

- (1) ¿Quiénes son los autores más prolíficos en esta línea de investigación? ¿Qué grado de colaboración existe?
- (2) ¿Cuántos artículos abordan la enseñanza basada en indagación? ¿Cuál ha sido su evolución en el tiempo? ¿En qué países se han llevado a cabo?
- (3) ¿En qué etapas educativas se está investigando?

- (4) ¿Qué tipo de estudios se publican sobre esta temática? ¿Qué diseños tienen?
- (5) ¿Qué implicaciones educativas exponen en relación a la enseñanza basada en indagación?

Indagación y enseñanza de las ciencias

Lo primero que habría que definir en cualquier trabajo sobre indagación es en qué sentido se habla de ella. Como señala Couso (2014), el término «indagación» (inquiry, en inglés) es «sorprendentemente polisémico en la literatura educativa». Así, al hablar de indagación podemos hacer referencia a (Barrow, 2006, citado por Couso, 2014):

- La capacidad de investigar científicamente, si centramos la atención en el desarrollo de esta capacidad cognitiva.
- La naturaleza de la investigación científica, si focalizamos en que el alumnado entienda la metodología científica.
- Las estrategias de enseñanza-aprendizaje que persiguen que el alumnado, además de comprender conceptos científicos, adquiera capacidades «de» y «sobre» la indagación científica.

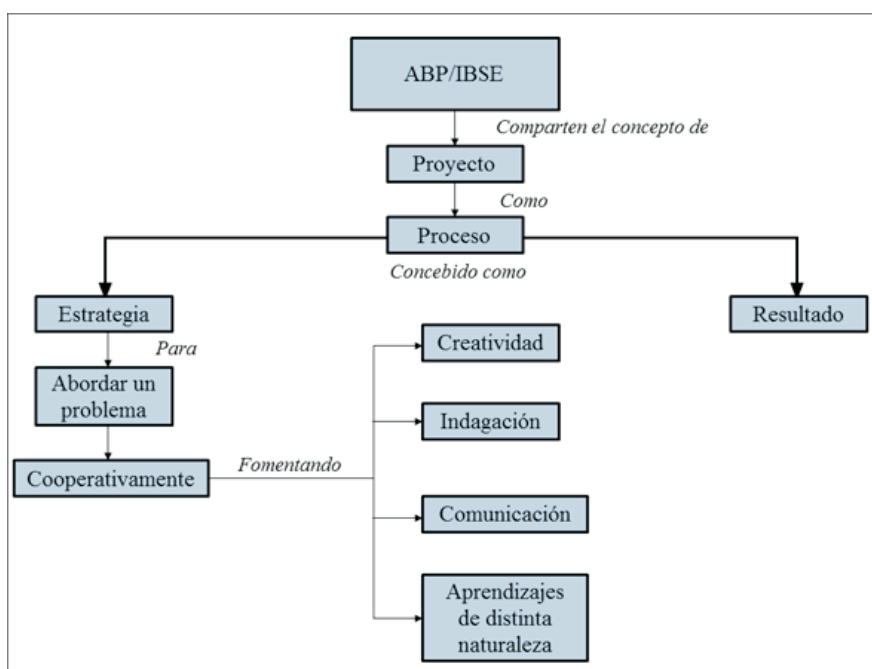
Las dos primeras acepciones hacen referencia a contenidos a enseñar, de procedimientos científicos en el primer caso y sobre ciencia en el segundo; la tercera, por el contrario, es una forma de llevar a cabo la indagación. Se habla, en este último caso, de enseñanza de las ciencias por / basada en / centrada en indagación (IBSE, por sus siglas en inglés Inquiry-Based Science Education), o de aprendizaje por / basado en indagación (IBL, Inquiry-Based Learning).

No obstante, se hace precisa previamente una clarificación conceptual para delimitar esta estrategia y diferenciarla de otras procedentes de diversos ámbitos de las ciencias sociales y de la salud, con algunos elementos comunes, tales como la enseñanza por proyectos o el aprendizaje basado en problemas (ABP, en ambos casos). En la figura I hemos tratado de facilitar tal distinción, exponiéndose a continuación algunas *definiciones* sobre indagación¹:

⁽¹⁾ Los siguientes párrafos están adaptados de Martínez-Aznar (2017).

- «Es el proceso intencional de identificación y análisis de problemas, la distinción de alternativas y la evaluación de experiencias para resolverlos, la planificación de investigaciones, la construcción de modelos, la investigación sobre hipótesis, la búsqueda de información, el debate entre compañeros y la construcción de argumentos coherentes» (Linn, Davis y Bell, 2004, p. 4).
- «Comprender las distintas formas en que los científicos realizan su trabajo, valorar la potencialidad de la observaciones, habilidad para formular preguntas investigables y emitir hipótesis, utilizar distintos tipos de datos para buscar patrones y confirmar o rechazar las predicciones, construir y defender modelos y argumentos, juzgar explicaciones alternativas y lograr una mejor comprensión del carácter provisional y evolutivo de la ciencia, y su origen en la actividad humana, el contexto y la cultura en que se desarrolla y utiliza» (Crawford, 2007, p. 614).

FIGURA I. Mapa conceptual. Fuente: adaptado de Perales y Ayerbe (2016).



La IBSE, en la que centramos nuestra atención a partir de ahora, se suele proponer como alternativa a la enseñanza tradicional. Sus características principales son (Couso, 2014):

- Se organizan en entornos de investigación, normalmente de tipo práctico.
- El alumnado adquiere un papel más activo que en entornos tradicionales, y el profesorado, más pasivo (actúa de guía).
- Se da mucha importancia a la actitud y a la motivación.
- Los alumnos, que en general trabajan en grupo, se plantean preguntas y obtienen datos (o usan datos disponibles).
- El alumnado goza de mucha autonomía y capacidad de decisión.
- Se diseñan en etapas que simulan la metodología científica.

En función del grado de autonomía del alumnado, Windschitl (2003) diferencia desde las propuestas centradas en la *confirmación de experiencias* previamente discutidas en el aula hasta aquellas que se plantean como *indagación abierta* (el alumnado decide sobre qué investigar y cómo hacerlo), pasando por estrategias de *indagación estructurada* (el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla) y de *indagación guiada* (el docente proporciona la pregunta y los alumnos deciden cómo resolverla), incidiendo cada una de ellas en mayor o menor medida en distintas destrezas científicas del alumnado (Tabla I).

En el ámbito español podemos encontrar precedentes de esta línea investigación, concretamente en los trabajos de D. Gil y colaboradores, así como de la red IRES (Investigación y Renovación Escolar). En el primer caso, centrado específicamente en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, Gil (1990, 1993) apuesta por el modelo de resolución de problemas por investigación, estableciendo una analogía entre la investigación científica y la resolución de problemas, donde el investigador novel (estudiante) trabaja bajo la dirección y supervisión del investigador principal (profesor), utilizando al efecto problemas abiertos (preferentemente cualitativos). En el segundo caso, la propuesta tiene un enfoque más transversal, considerando la investigación como un principio didáctico integrador (Cañal, 1987) que debiera impulsar en el aprendiz el espíritu científico y las habilidades propias de la metodología científica; ello debería impregnar los elementos más característicos del currículo escolar como los objetivos, contenidos, relaciones de comunicación, etc.

TABLA I. Modelos de indagación y destrezas desempeñadas por el alumnado. Fuente: Bevins y Price (2016).

Modelos de indagación	Destrezas de indagación agrupadas en dimensiones				
Nivel	<i>1. Plantear preguntas científicamente</i>	<i>2. Basarse en pruebas</i>	<i>3. Explicar a partir de pruebas</i>	<i>4. Explicar a partir de conocimientos</i>	<i>5. Comunicar y justificar</i>
3. Abierta	Formulan sus preguntas	Determinan aquello que constituye una prueba y lo recaban	Formulan explicaciones después de agrupar sus pruebas	Examinan otros recursos para formular explicaciones sobre su trabajo	Buscan cómo formular argumentos lógicos para comunicar sus explicaciones
2. Guiada	Seleccionan preguntas y plantean otras nuevas	Se les orienta para que recaben ciertos datos	Se les guía en el proceso de formular explicaciones a partir de pruebas	Se les dirige hacia áreas y fuentes de conocimiento científico	Se les orienta hacia estrategias para desarrollar la comunicación
1. Estructurada	Clarifican o concretan las preguntas que se les asignan	Reciben datos y se les pide su análisis	Se les proporcionan ejemplos de cómo usar las pruebas para formular explicaciones	Se proporcionan posibles conexiones con el conocimiento científico	Se les proporcionan directrices a usar para enfocar la comunicación
0. Confirmación / actividades de verificación	Dan respuesta a las preguntas proporcionadas por otros	Reciben datos y se les explica cómo analizarlos	Reciben explicaciones sobre sus resultados	Se les indica la conexión precisa entre los conocimientos	Reciben pasos y procedimientos específicos para la comunicación

Indagación en el aula

En relación con su implementación en el aula, las fases de una propuesta IBSE son, en consonancia con la investigación científica, las siguientes (Martínez-Chico, 2013):

- (1) Identificar problemas o cuestiones de carácter científico (cuyas respuestas se puedan confirmar o rechazar usando pruebas).
- (2) Emitir hipótesis como posibles respuestas al problema o cuestión (explicaciones justificadas).
- (3) Buscar pruebas que confirmen o refuten la hipótesis (mediante experimentos o búsqueda de información).

- (4) Analizar e interpretar resultados.
- (5) Extraer conclusiones y comunicarlas.

Aunque la IBSE admite diversas interpretaciones (Romero-Ariza, 2017) que dependen de la propia concepción de indagación y de las experiencias docentes previas (Windschitl, 2003), hecho este que dificulta la investigación e incluso la discusión sobre indagación (Yeomans, 2011), todas coinciden en dos aspectos (Couso, 2014):

- Hay que llevar al aula la autenticidad de la metodología científica.
- Hay que involucrar y motivar a los alumnos.

Todo ello dibuja un escenario en el que las cuestiones a tener en cuenta y a ejecutar son complejas y, por tanto, difíciles de abordar, postulándose esta situación como una de las razones por las que las estrategias basadas en indagación no gozan aún de mucha presencia en las aulas de ciencias esgrimiéndose otras como: la falta de preparación del profesorado (Forbes y David, 2010; Lucero, Valcke y Schelles, 2013), la escasez de recursos, limitación temporal, currículo extenso y presión de los padres (Anderson, 1996) o la propia concepción de indagación y el modo de implementarla en el aula (Cuevas, Lee, Hart y Deakort, 2005; McDonald y Butler Soger, 2008).

A ello habría que añadir que los maestros en ejercicio y en formación disponen, en general, de un conocimiento científico fragmentado, superficial y poco sólido (Murphy et al., 2007), además de un cierto rechazo hacia las ciencias y bajos niveles de confianza (Vázquez y Manassero, 2008). Así, en particular, algunas limitaciones detectadas en maestros en formación para la implementación de actividades de indagación se relacionan con la elección de la pregunta a investigar, el diseño y la ejecución de la investigación (Lucero et al., 2013; Crujeiras y Puig, 2014).

Una vez establecido lo que en este trabajo se entiende por indagación (IBSE), sus características principales y algunos de los principales inconvenientes para que estas estrategias alcancen las aulas, quedaría por estudiar si las que se han implementado han alcanzado el impacto deseado. Aunque hay autores que consideran que la indagación es el mejor método para enseñar y aprender ciencias (Bevins y Price, 2016), o que «las estrategias de enseñanza que comprometen al estudiante activamente en el proceso de aprendizaje a través de investigaciones

científicas, incrementan la comprensión conceptual más que las estrategias que se basan en técnicas pasivas» (Minner, Levy y Century, 2010, p. 493), también los hay que ponen de manifiesto que no es así (Cobern et al., 2010). De hecho, existen trabajos que correlacionan negativamente las metodologías de indagación en el aula y el rendimiento académico en las pruebas PISA (Areepattamannil, 2012; McConney, Oliver, Woods-McConney, Schibeci y Maor, 2014, citados por Romero-Ariza, 2017).

A este respecto, cabe destacar que, como se ha descrito, son pocos los casos a analizar. No obstante, sí se pueden comentar algunos resultados. En un trabajo reciente en el que se analizan meta-análisis que miden el tamaño del efecto de esta metodología en comparación con otras más tradicionales, se pone de manifiesto que (Romero-Ariza, 2017):

- «[...] 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 (p. 291).
- [...] la indagación no guiada no facilita el aprendizaje mientras que cuando el proceso está debidamente asistido por el profesor sí se obtienen beneficios importantes (p. 292).
- [...] un tamaño del efecto moderado sobre el aprendizaje de conceptos y un mayor impacto sobre el desarrollo de destrezas de indagación [...] (p. 292).
- [...] 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 (p. 292). »

Para arrojar luz a este asunto, en este artículo se realiza una revisión sistemática de los artículos publicados durante la última década en revistas españolas de DCE, siguiendo la metodología que se describe a continuación.

Método

La revisión sistemática presentada en este trabajo ha sido realizada de acuerdo a:

- (1) La definición aportada por Higgins y Green (2008), en la que aquella se concibe como la revisión de una o varias preguntas claramente formuladas, usando unos métodos sistemáticos y explícitos para identificar y seleccionar las investigaciones referentes a ésta, y analizar los datos de aquellos estudios incluidos en la revisión.
- (2) La Declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), cuya finalidad es evaluar la calidad de revisiones sistemáticas y meta-análisis (Sotos-Prieto, Prieto, Manera, Baladia, Martínez-Rodríguez, Basulto, 2014).

La búsqueda se inició a principios de octubre de 2017, realizándose en las principales revistas españolas específicas del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales: *Enseñanza de las Ciencias* (EC, en adelante), *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (REEDC), *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC), *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* (DCES) y *Alambique*. Se revisaron los números publicados entre 2007 y 2017 (ambos inclusive), exceptuando los números extraordinarios de EC publicados en 2009 y 2013 por tratarse de las comunicaciones presentadas en los VIII y IX Congresos Internacionales sobre Investigación en DCE, respectivamente.

Procedimiento de selección de artículos

La selección de los artículos fue realizada de forma independiente por cinco de los autores de este estudio, llevándose a cabo a través de las lecturas del título, resumen y palabras clave de cada trabajo. Se incluyeron estudios cualitativos y cuantitativos, además de experiencias y propuestas didácticas siempre que abordasen como uno de sus tópicos la enseñanza basada en indagación (o, en su defecto, enseñanza basada en investigación). En este sentido, los criterios de inclusión utilizados fueron:

- (1) Artículos publicados en revistas españolas especializadas en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.
- (2) Artículos publicados entre 2007 y 2017, ambos inclusive.
- (3) Trabajos que aludan, bien en su título, resumen o palabras clave a la enseñanza basada en indagación.
- (4) Estudios que emiten implicaciones educativas referentes a la IBSE.

El proceso de selección de los trabajos, se realizó en dos fases. Primera, cada uno de los cinco autores encargados de dicha tarea revisó independientemente la revista que le fue adjudicada, detallando el número de artículos publicados por año y el de seleccionados de cada revista. Después, dos de los autores dedicados a esta labor, volvieron a revisar las cinco revistas, esta vez de forma conjunta, obteniendo un consenso del 91%. Los desacuerdos obtenidos en la segunda fase fueron resueltos consensuadamente por ambos investigadores.

Procedimiento de extracción de datos

Para el análisis y la extracción de datos de los artículos se ha seguido el mismo procedimiento detallado en el apartado anterior. Así, los trabajos seleccionados se repartieron entre los mismos cinco autores encargados de la selección, realizando estos el proceso de forma independiente. Una vez finalizada la extracción de los datos en base a los siguientes ítems: (a) autor/es y año, (b) etapa educativa, (c) tipo de estudio, (d) diseño metodológico y (e) implicaciones educativas, estos fueron revisados de forma conjunta por los mismos dos autores encargados de la selección final, obteniendo un consenso del 84% respecto a la extracción inicial de datos. Los desacuerdos se resolvieron de forma consensuada por ambos investigadores.

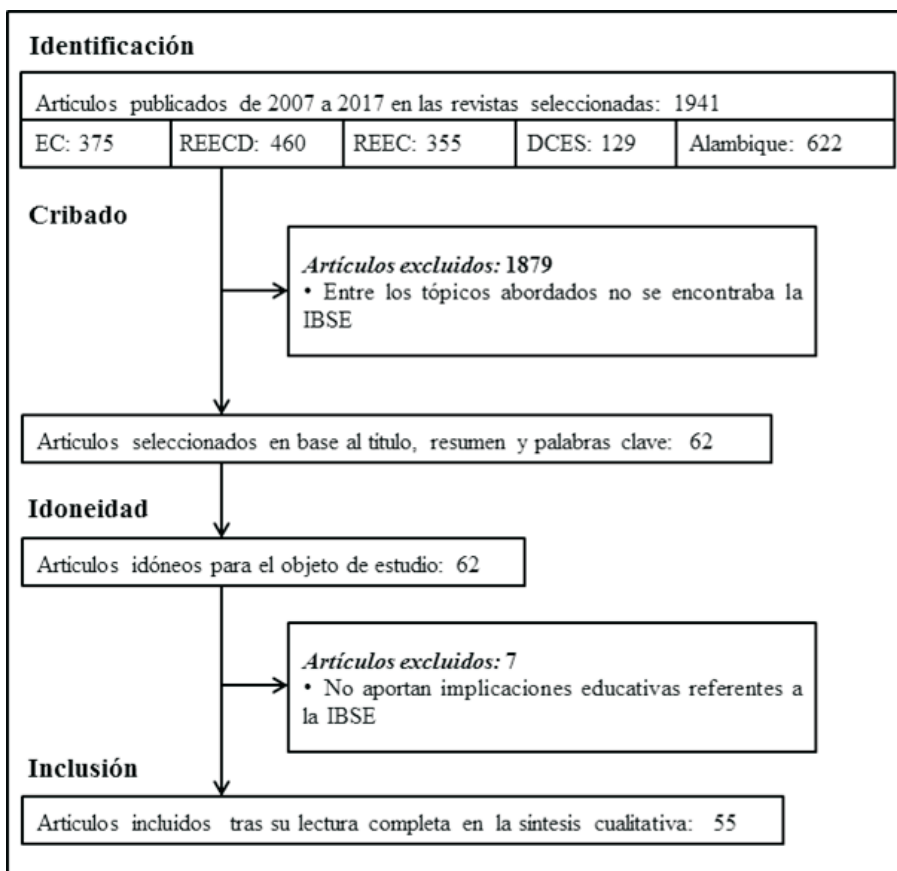
Resultados y Discusión

Siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA se ha elaborado el diagrama de flujo de la Figura II, en el que se muestra el proceso de selección e inclusión seguido en este estudio, según las acciones de identificación, cribado, idoneidad e inclusión.

Se revisaron 1941 artículos publicados entre los años 2007 y 2017 en las revistas españolas específicas de DCE. Tras la lectura del título, resumen y palabras clave de cada trabajo y la aplicación de los tres primeros criterios de inclusión fueron seleccionados 62 artículos, habiéndose excluido un total de 1879 que no abordaban (al menos explícitamente en las partes analizadas) la IBSE. El final de proceso de selección se realizó a través de la lectura completa de los 62 artículos

preseleccionados, de los cuales se excluyeron 7 por no cumplir con el cuarto criterio de inclusión, quedando finalmente una muestra de 55 trabajos lo que representa apenas un 3% de los trabajos revisados. Hecho esto, se procede a dar respuesta a los interrogantes de investigación.

FIGURA II. Diagrama de flujo de acuerdo a la declaración PRISMA.

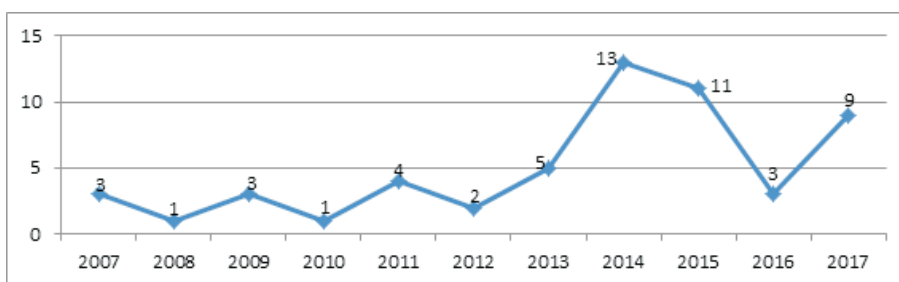


Evolución de la producción de artículos sobre IBSE en España

¿Cuánto se investiga sobre IBSE? Si comparamos el número de artículos obtenido con el de otros trabajos similares, tales como los 138 trabajos

incluidos en la revisión de Minner et al. (2010) o los 164 seleccionados por Alfieri et al. (2011), podemos afirmar que la producción de trabajos publicados en revistas nacionales referentes a la IBSE resulta inferior a la internacional, puesto que ésta abarca un ámbito geográfico mucho más extenso al incluir solo artículos escritos en inglés y, normalmente, de países y revistas foráneas. La distribución de dicha producción se presenta en el Gráfico I.

GRÁFICO I. Evolución de la producción de artículos en España sobre IBSE.



Según puede observarse en el Gráfico I, la fluctuación de artículos referidos a la IBSE publicados en España es evidente. No obstante, se percibe cierto aumento en la producción, que queda refrendado por el hecho de que en los últimos cinco años se publica el 75% (N = 41) de los artículos seleccionados. Esto podría responder a las recomendaciones sobre el empleo de la IBSE emitidas tanto a nivel internacional (Ofsted, 2011; NRC, 2012) como nacional (Couso, Jiménez, López-Ruiz, Mans, Rodríguez, Rodríguez y Sanmartí, 2011).

Del total de trabajos seleccionados, el 84% han sido desarrollados en España, mientras que el 16% restante proviene de países de América Central y del Sur. Así, los autores de los nueve trabajos publicados en España pero realizados fuera de ella pertenecen a instituciones educativas de México (1), Brasil (5), Colombia (1), Argentina (1) y Bolivia (1). En este sentido, es importante señalar que no se ha encontrado ningún trabajo en el que colaboren instituciones educativas de diferentes países.

Quién, en qué etapa educativa y cómo se investiga sobre IBSE

¿Quién investiga sobre IBSE? Se han identificado 82 autores entre los 55 artículos seleccionados, lo que representa un índice de colaboración de 1.49. A este hecho contribuye el número de estudios de un único autor, significando este el 33% (N = 18) de los artículos incluidos, resultado inferior al promedio obtenido para las Ciencias Sociales en España (2 autores por trabajo) y al establecido en la Didáctica de las Ciencias (1.81) (Anta y Pérez, 2007). Profundizando en el análisis sobre quién investiga en IBSE, se presentan las Tablas II y III.

TABLA II. Relación de autores y número de trabajos publicados sobre IBSE.

Clasificación	Nº de autores	Porcentaje
Autores con 1 trabajo	58	71%
Autores con 2 trabajos	15	18%
Autores con 3 trabajos	4	5%
Autores con 4 trabajos	4	5%
Autores con 5 o más trabajos	1	1%
Total	82	100%

Tal y como se observa en la Tabla II, el 71% de los autores tienen únicamente un trabajo, mientras que tan sólo el 11 % ostentan tres o más autorías. En este sentido, podríamos afirmar que no abundan grandes productores en esta línea de investigación (siempre basándonos en las publicaciones de las revistas españolas específicas de DCE) dado que el más productivo, J. Domènech Casal, ha publicado un total de 8 artículos en el lapso de tiempo estudiado. Además, el número de autores que han participado en la elaboración de 3 o más trabajos asciende a 9 (Tabla III). Esta situación, unida al escaso número de artículos sobre IBSE producidos en España, ya que tan sólo el 3% de los artículos publicados en las revistas analizadas entre 2007 y 2017 va dirigido a esta línea de investigación, podría apuntar a que la investigación educativa española sobre IBSE aún se encuentra en un estado incipiente.

TABLA III. Autores con mayor producción en España sobre IBSE

Autor/a	Nº de artículos
J. Domènech Casal	8
M. Martínez Chico R. López-Gay Lucio-Villegas M. R. Jiménez Liso B. Crujeiras Pérez	4
A. García Carmona C. Ferrés Gurt M. Romero Ariza I. M. Greca	3

¿En qué etapa educativa y cómo se investiga sobre IBSE? Las respuestas a esta cuestión las encontramos en la Tabla IV. En cuanto a la etapa educativa en la que se investiga, se han identificado trabajos desarrollados en: Educación Primaria, Educación Secundaria, Universidad y egresados (en referencia a la formación continua de los profesionales). No obstante, la atención prestada a cada etapa educativa está lejos de ser equitativa, pues la Educación Secundaria abarca casi el 50% de los estudios incluidos en la revisión, repartiéndose el resto entre las de Educación Primaria (12%), Universidad (29%) y egresados (4%). También se encuentran trabajos que no especifican la etapa educativa en la que se desarrolló el estudio o, en su caso, a la que va dirigida en el caso de las propuestas didácticas (2%), y otros en los que no procede hablar de etapa educativa por ser estudios de revisión de la literatura (7%). En consonancia, podemos hacer referencia a las conclusiones extraídas por Pro y Rodríguez (2010), dado que una vez más la investigación en DCE vuelve a centrarse en la etapa de Educación Secundaria, existiendo un número marginal o inapreciable de estudios en las etapas de Educación Infantil y Primaria, lo cual podría fundamentarse en la trayectoria profesional de los autores y autoras de los estudios seleccionados, pues muchos de ellos han ejercido o ejercen como profesores de Secundaria. Este hecho resulta contrario a las recomendaciones que nos llegan desde otras líneas de investigación, en las que se atribuyen múltiples beneficios al comenzar la educación científica en los primeros años de escolarización (Eshach y Fried, 2005).

De los resultados obtenidos puede afirmarse que la presencia de la metodología IBSE resulta casi inexistente en las aulas de ciencias en España

(Cortés et al., 2012). Seguramente, este hecho se deba principalmente a que los maestros tienen inseguridades sobre cómo implementar en el aula los procesos y métodos que utilizan habitualmente los científicos y/o mantienen, en muchas ocasiones, concepciones inapropiadas sobre lo que es la IBSE, tal como identificar la indagación como desviarse de la planificación curricular (Keys y Kennedy, 1999).

TABLA IV. En qué etapas educativas y cómo se investiga sobre IBSE

Ítem	VARIABLES	N	Porcentaje
Etapa educativa	Educación Primaria	7	12%
	Educación Secundaria	26	46%
	Universidad	16	29%
	Egresados (formación continua)	2	4%
	No específica	1	2%
	No procede	4	7%
Tipo de estudio	Trabajo empírico	23	42%
	Trabajo teórico	32	58%
Diseño	Experimental	6	11%
	Ex post-facto	3	5%
	Estudio de caso	12	21%
	Etnográfico	1	2%
	Investigación-acción	2	4%
	Revisión de la literatura	4	7%
	Experiencia didáctica	23	41%
	Propuesta didáctica	5	9%

Respecto al cómo se investiga sobre IBSE, nos hemos centrado en dos dimensiones: el tipo de estudio y el diseño del mismo. En cuanto al tipo de estudio, se observa que casi el 60% (N = 32) son trabajos teóricos en los que se describen experiencias o propuestas didácticas, o se presenta un aporte teórico a través de revisiones narrativas de la literatura. Consecuentemente, el número de estudios empíricos seleccionados supera escasamente la veintena. Respecto al diseño, el más repetido se corresponde con el de la descripción de una experiencia didáctica (N

= 23), mientras que el diseño empírico más utilizado es el estudio de caso (N = 12). Además, el número de estudios con diseño experimental es muy reducido; su presencia apenas supera el 10% de los artículos seleccionados.

A la luz de estos resultados, hemos de prestar atención a la escasez de estudios empíricos referidos a la metodología IBSE y publicados en las revistas españolas de DCE, dado que incide significativamente en la naturaleza de los resultados e implicaciones educativas obtenidas, mayormente resultantes de intuiciones, sensaciones u opiniones carentes del rigor y la sistematicidad necesarios para una posible réplica y generalización de los mismos. En este sentido, conviene apuntar que sería necesario implementar la metodología IBSE en las aulas, pero otorgándoles rigor metodológico, sistematicidad y reflexión, para de ese modo incrementar el número de estudios empíricos en esta línea de investigación. Esto podría hacerse bien a través de un diseño experimental basado en la evidencia y que nos permita cuantificar efectos (Bisquerra, 2014), o bien a través de diseños cualitativos como son el estudio de caso o la investigación-acción, no menos rigurosos y con la cualidad de mejorar la calidad de la práctica docente (en la enseñanza de las ciencias, en este caso) a partir de la misma (Elliot, 1993).

Qué implicaciones educativas se evidencian sobre IBSE

Las implicaciones educativas que reflejan cada uno de los artículos seleccionados se encuentran sintetizadas en la Tabla V, en la que cada trabajo aparece referenciado a través del número asignado al mismo en el *Anexo*. Así, se han usado seis criterios para clasificarlas, referidos a: (1) competencias, (2) emociones, motivación y actitudes, (3) adquisición y transferencia del conocimiento, (4) naturaleza e imagen de la ciencia, (5) profesorado y (6) dificultades del alumnado.

TABLA V. Síntesis de aquellas implicaciones educativas ligadas a la IBSE.

Referidas a	N*	Implicaciones educativas
Competencias	3 7 3 8	<ul style="list-style-type: none"> - Fomenta la autonomía del alumnado (6, 7, 23). - Incentiva el trabajo cooperativo entre el alumnado (1, 6, 18, 22, 23, 24, 43). - Desarrolla la competencia lingüística (16, 23, 43). - Favorece el desarrollo de habilidades relacionadas con la metodología científica (12, 13, 16, 18, 22, 33, 45, 48).
Emociones, motivación y actitudes	4 15 2 1 1	<ul style="list-style-type: none"> - Genera actitudes positivas hacia la ciencia (6, 24, 33, 44). - Eleva la motivación y la satisfacción hacia el aprendizaje de las ciencias (6, 11, 14, 16, 23, 30, 34, 35, 36, 37, 43, 46, 48, 52, 55). - El alumnado valora positivamente el empleo de esta metodología (32, 45). - Incrementa la autoestima del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias (24). - No incide en la motivación y estado emocional del alumnado (42).
Adquisición y transferencia del conocimiento	11 5 9 5 1 1 4 2 6 1	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la adquisición de contenidos (7, 12, 14, 15, 16, 23, 30, 38, 41, 42, 46). - Ayuda a alcanzar un aprendizaje significativo (10, 14, 15, 50, 52). - Fomenta la reflexión y el pensamiento crítico durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (6, 10, 11, 17, 21, 22, 24, 46, 55). - Propicia la participación activa en el alumnado (24, 33, 34, 49, 55). - Aumenta el diálogo entre el docente y el alumnado (5). - Tiene en cuenta los intereses del alumnado y sus ideas previas (11). - Favorece la identificación y modificación de ideas erróneas por aquellas adecuadas al conocimiento científico (15, 24, 47, 50). - Ayuda a manifestar los diferentes problemas socio-científicos actuales y se adapta a las necesidades del alumnado, donde reina la incertidumbre generada por cambios extremadamente acelerados (25, 26). - Permite al alumnado tomar conciencia de la utilidad del conocimiento científico en su vida cotidiana (14, 28, 29, 43, 44, 46). - Facilita la transferencia de ideas y conocimientos de un contexto a otro (15).
Naturaleza e imagen de la ciencia	4 3	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuye a presentar de forma más cercana la producción, desarrollo e impacto del conocimiento científico (53, 4, 5, 35). - Permite modificar concepciones negativas sobre la imagen de la ciencia y otorga valor a la labor científica (14, 29, 31).
Profesorado	9 2 2 1 3 2 1 1	<ul style="list-style-type: none"> - Formar a los futuros docentes en IBSE podría incidir en la innovación educativa futura, mejorando su conocimiento sobre dicha estrategia de enseñanza y generando más seguridad y mejor desempeño en el profesorado (9, 27, 31, 38, 39, 40, 41, 48, 49). - Requiere más dedicación por parte del docente que la enseñanza tradicional (33, 36). - El rol de guía del profesorado durante el proceso de indagación es esencial (19, 48). - El profesorado universitario considera prioritario emplear la IBSE en la formación inicial de maestros (39). - El profesorado en formación inicial valora positivamente a esta estrategia de enseñanza (1, 3, 51). - El profesorado en formación inicial tiene dificultades a la hora de diseñar secuencias didácticas basadas en indagación (3, 51). - Los maestros en formación poseen poco conocimiento sobre cómo se genera, valida y evoluciona el conocimiento científico; desconocen las técnicas y procedimientos básicos mediante los que se desarrolla el conocimiento científico, afectando todo ello a la imagen que pudieran transmitir (54). - El NPTAI es un instrumento de utilidad para el profesorado, pues se trata de un instrumento de evaluación formativa que permite identificar las dificultades del alumnado durante el proceso de indagación (20).
Dificultades del alumnado	3 1 1 2 1	<ul style="list-style-type: none"> - No posee un modelo claro de la actividad científica para poder ejecutar correctamente la dinámica de indagación (6, 8, 28). - Tiene dificultades en la formulación de preguntas investigables (21). - Presentan dificultades en la extracción de resultados, la interpretación de los mismos y la emisión de hipótesis (2). - Tanto la expresión oral y escrita como la identificación de las situaciones problemáticas, generalmente, son debilidades del alumnado (6, 36). - Afrontar actividades de indagación es complejo cuando tienen pocas vivencias relacionadas con este tipo de enfoque didáctico (19).

*Número de artículos que obtienen la implicación didáctica.

La contribución que realiza la metodología IBSE al desarrollo de competencias (autonomía e iniciativa, trabajo en equipo, competencia lingüística y aquellas referentes a la investigación) observada en muchos de los trabajos seleccionados en esta revisión es ratificada por Bevins y Price (2016), quienes afirman que una de las fortalezas de este enfoque de enseñanza es la promoción y el desarrollo de habilidades y capacidades ligadas a las ciencias. Además, estos mismos autores aportan como beneficios de la IBSE: la mejora de la autoestima; la comprensión de los contenidos y la motivación; y la incidencia en la aplicación de los nuevos aprendizajes en los contextos cada vez más complejos que les rodean.

En cuanto a la actitud y emociones hacia la Ciencia, se han encontrado resultados positivos y negativos, aunque mayoritariamente las aportaciones recogidas evidencian la eficacia de la IBSE para mejorar estas variables (Areepattamannil 2012; McConney et al. 2014). En este mismo sentido, las implicaciones educativas recogidas apuntan a una mejora de la adquisición de contenidos por parte del alumnado y al favorecimiento del aprendizaje significativo, actuando como responsables de ello la reflexión, la evaluación de las ideas alternativas, la argumentación (Pedaste et al. 2015) y la participación activa del alumnado (Bevins y Price, 2016); todas estas acciones se promocionan habitualmente por las propuestas y experiencias educativas analizadas.

Los efectos generados por la metodología IBSE descritos anteriormente, todos positivos, propician un clima de aula distendido, ameno y, consecuentemente, idóneo para el aprendizaje de las ciencias (Abril, Romero-Ariza, Quesada y García, 2014). A su vez, este grato beneficio es clave en la promoción de actitudes positivas hacia la escuela y el aprendizaje (Krüger, Formichella y Lekuona, 2015). Así, dado el declive de la actitud hacia la Ciencia que sufre el alumnado actual (Vázquez y Manassero, 2008), podríamos considerar a este enfoque de enseñanza como un medio adecuado para revertirlo.

Sin embargo, existen varios aspectos a tener en cuenta en la puesta en práctica de este enfoque de enseñanza según podemos observar en aquellas implicaciones educativas referentes al profesorado (Tabla V). Así, el rol que adquiere el docente durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, su experiencia previa y conocimiento sobre IBSE y su implicación son factores determinantes en la eficacia de esta estrategia de enseñanza, convirtiendo al docente en un profesional eficaz (Reoyo, Carbonero y Martín, 2017). Tan es así, que algunos autores han cuestionado la metodología IBSE al alegar que:

- (1) El alumnado no puede por sí solo aprender por indagación (Kirschner, Sweller y Clark, 2006), pues existen evidencias que a través de una indagación guiada se obtienen mejores resultados en cuanto al aprendizaje se refiere (Minner et al. 2010; Furtak et al. 2012; Lazonder et al. 2016).
- (2) Falta preparación entre el profesorado (Forbes y David, 2010), dado el fragmentado, superficial y poco sólido conocimiento científico del que disponen (Murphy et al., 2007).
- (3) Las dificultades de los maestros en formación para diseñar y ejecutar secuencias basadas en indagación (Lucero et al., 2013; Crujeiras y Puig, 2014), línea sobre la que ya existen algunas propuestas de formación para intentar superar tales deficiencias (Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay, 2015; Vílchez y Bravo, 2015; Greca, Meneses y Diez, 2017).

Finalmente, al hacer balance de las implicaciones educativas más y menos alentadoras, podemos afirmar que la enseñanza basada en indagación es una forma eficaz de enseñar y aprender ciencias, destacando como implicaciones más relevantes el incremento de la motivación/satisfacción por aprender ciencias y la adquisición de contenidos por parte del alumnado (N = 15 y N = 11 respectivamente). En este hecho coinciden Lederman, Lederman y Antink (2013), siempre que el diseño de las actividades sea adecuado, lo que pasa ineludiblemente por una adecuada formación del profesorado.

Conclusiones

El presente estudio de revisión aporta, por una parte, una perspectiva del desarrollo de la investigación sobre la metodología IBSE en el área de DCE, centrada en las publicaciones de las revistas españolas; por otra, se recogen las principales implicaciones educativas referidas a dicha metodología. Así, podemos concluir lo siguiente:

Primero. La producción científica sobre la metodología IBSE en las revistas españolas específicas de DCE es escasa, a pesar de que existen autores de otros países que han difundido algunos trabajos en el nuestro. Esto contribuye a que resulte complejo resaltar algún investigador o grupo de investigación con una producción reseñable en esta línea de

investigación. Además, hay que destacar el exiguo grado de colaboración en la realización de los artículos. No obstante, existe una evolución favorable en cuanto al volumen de artículos que abordan dicha temática en los últimos cinco años. Así, podríamos afirmar que la investigación en España sobre la metodología IBSE es incipiente.

Segundo. La atención dedicada a las diferentes etapas educativas es muy desigual, siendo la etapa de Educación Secundaria y la universitaria a las que se dirige mayor número de estudios, lo que podría estar condicionado por la trayectoria profesional de los autores y autoras, que ejercen o han ejercido como profesores de Secundaria. Consecuentemente, la etapa de Educación Primaria recibe poca atención por parte de la investigación en DCE y, en este caso, no se destina ningún estudio a la Educación Infantil.

Tercero. Existen más estudios de naturaleza teórica que empírica. El diseño más empleado para aquellos trabajos teóricos ha sido la experiencia didáctica y para los estudios empíricos se ha optado, generalmente, por un diseño de estudio de caso. Por tanto, una vía para promover la extracción de conclusiones más rigurosas y generalizables sería incrementar el número de estudios experimentales (desde el punto de vista cuantitativo) o emplear en mayor medida la investigación-acción (desde el punto de vista cualitativo).

Cuarto, y último. Las implicaciones educativas referentes a la metodología IBSE son alentadoras en cuanto a los efectos generados en el alumnado y profesorado en formación, pues en ambos posibilita una sólida alfabetización científica apoyada en actitudes y emociones positivas, y en una imagen de la ciencia renovada. Sin embargo, este enfoque de enseñanza tiene ante sí algunos retos importantes:

- Referentes al profesorado:
 - Mejorar el conocimiento de los futuros maestros sobre naturaleza de la ciencia.
 - Paliar las dificultades de estos en el desempeño de la metodología IBSE, que giran en torno a la inseguridad generada por lo descrito anteriormente y la falta de experiencia en la puesta en práctica de dicha metodología.
- Referentes al alumnado:
 - Promover un aprendizaje de las ciencias basado en hacer ciencia, en aras de corregir actitudes deterioradas, sensaciones y emociones negativas y concepciones erróneas sobre las ciencias.

De las conclusiones obtenidas parece desprenderse que la IBSE podría ser una buena estrategia de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, y también que queda mucho camino que recorrer. Son estudios como los presentados en este artículo los que pueden delimitar el camino a seguir. Dadas las limitaciones del mismo, pues se centra en investigaciones de ámbito nacional (España), la línea a seguir pasaría, en primer lugar, por ampliar el estudio al ámbito internacional, lo que se tiene previsto hacer en futuras revisiones.

Agradecimientos

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto «Diseño, evaluación y difusión de talleres basados en indagación para Educación Primaria (ref: PPJI_B-01)» financiado por la Universidad de Granada. Además hemos de agradecer a la Junta de Andalucía y al Fondo Social Europeo por la financiación del contrato nº 6161 destinado a la contratación de joven personal investigador, al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la concesión de la beca FPU15/04972 y al grupo de investigación HUM-613, por participar en su formación.

Anexo: www.didacticacienciasugr.es/docs/misc/Anexo-Rev-Sis-Nacional.pdf

Referencias bibliográficas

- Abril, A. M., Romero-Ariza, M., 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(1), 22-33.
- 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.
- Anderson, R.D. (1996). *Study of curriculum reform*. Washintong DC: U.S. Government Printing Office.

- Anta, C. & Pérez, J. M. (2007, noviembre, 21-23). *La producción científica sobre Didáctica de las Ciencias. IV Congreso Comunicación Social de la Ciencia*. Madrid: CSIC.
- 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.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278.
- Bevins, S. & Price Centre for Science Education, Sheffield Hallam University, Sheffield, UK, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17-29.
- Bisquerra, R. (Coord.) (2014). *Metodología de investigación educativa*. Madrid: La Muralla.
- Cañal de León, P. (1987). Un enfoque curricular basado en la investigación. *Investigación en la Escuela*, 1, 43-50.
- 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.
- Cortés, A.L., de la Gándara, M., Calvo, J.M., Martínez, M.B., Gil, M.J., Ibarra, J. & Arlegui, J. (2012). Expectativas, necesidades y oportunidades de los maestros en formación ante la enseñanza de las ciencias en la educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 155-176.
- 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, D. (2014). *De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica*. Ponencia a los XXVI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Huelva.
- Crawford, B.E. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 613–642.
- Crujeiras, B. & Puig, B. (2014). Trabajar la naturaleza de la ciencia en la formación inicial del profesorado planificando una investigación. *Educació Química*, 17, 55-61.

- Cuevas, P., Lee, O., Hart, J. & Deakort, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 337-357.
- Elliot, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.
- Eshach, H. & Fried M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.
- Forbes, C. T. & Davis, E. A. (2010). Curriculum design for inquiry. Pre-service elementary teachers' mobilization and adaptation of science curriculum materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 820-839.
- 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-Pérez D. (1990). *Un modelo de resolución de problemas como investigación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia – Lábor.
- Gil-Pérez D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- Greca, I. M., Meneses, J. A., & Díez, M. (2017). La formación en ciencias de los estudiantes del grado en maestro de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 231-256.
- Hazelkorn, E. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. Comisión Europea. http://ec.europa.eu/research_swafs_pdf_pub_science_education_KI-NA-26-893-EN-N
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. West Sussex, England: Cochrane Collaboration & Wiley.
- Keys, C.W. & Kennedy, V. (1999). Understanding inquiry science teaching in context: A case study of an elementary teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 10(4), 315-333.
- Krüger, N., Formichella, M. M., & Lekuona, A. (2015). Más allá de los logros cognitivos: la actitud hacia la escuela y sus determinantes en España según PISA 2009. *Revista de Educación*, 367, 10-35.
- 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.

- Lazonder, A.W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), 1-38.
- Linn, M. C., Davis, E.A. & Bell, P. (2004). *Internet environments for science education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lucero, M., Valcke, M. & Schellens, T. (2013). Teachers' beliefs and self-reported use of inquiry in Science Education in Public Primary Schools. *International Journal of Science Education*, 35 (8), 1407-1423.
- Martínez-Aznar, M. (2017). La enseñanza-aprendizaje de las ciencias: «entre indagación y problemas». Comunicación personal.
- 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.
- 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.
- 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.
- McDonald, S. & Butler Songer, N. (2008). Enacting classroom inquiry: Theorizing teachers' conceptions on science teaching. *Science Education*, 27, 45-60.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & 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(4), 474-496.
- Murphy, C., Neil, P. & Beggs, J. (2007) Primary science teacher confidence revisited: ten years on. *Educational Research*, 49(4), 415-430.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.
- Ofsted (2011). *Successful science: An evaluation of science education in England 2007 – 2010*. Manchester, UK: Ofsted.
- 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.

- Perales, F.J., & Ayerbe, J. (2016). El trabajo por proyectos y por resolución de problemas en Educación Ambiental: análisis y tendencias. Comunicación a los *XXVII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Badajoz (7-9 de Septiembre, 2016).
- Pro, A., & Rodríguez, (2010). Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 385-406.
- Reoyo, N., Carbonero, M. A., & Martín, L. J. (2017). Características de eficacia docente desde las perspectivas del profesorado y futuro profesorado de secundaria. *Revista de Educación*, 376, 62-86.
- Rocard, M. (Chair), Csermely, P., Jorde, D. Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Science Education now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. Comisión Europea. <https://sede.educacion.gob.es/publivera/PdfServlet?pdf=VP15136.pdf&area=E>
- Sotos-Prieto, M., Prieto, J., Manera, M., Baladia, E., Martínez-Rodríguez, R. & Basulto, J. (2014). Ítems de referencia para publicar Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: La Declaración PRISMA. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 18(3), 172-181.
- Vázquez, A. & Manassero, M.A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 274-292.
- Vílchez, J. M., & Bravo, B. (2015). Percepción del profesorado de ciencias de educación primaria en formación acerca de las etapas y acciones necesarias para realizar una indagación escolar. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33(1), 185-202.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), pp. 112-143.
- Yeomans, E. (2011). *Inquiry-based learning – what is its role in an inspiring science education?* En *Perspectives on Education: Inquiry-based learning* (p. 3). Wellcome Trust: Londres.

Información de contacto: David Aguilera Morales. Facultad de Ciencias de la Educación, Campus Universitario de Cartuja, C.P. 18071 (Granada), Granada. E-mail: david15@correo.ugr.es

Inquiry-based Science Education. A systematic review of Spanish production

La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española

DOI: 10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388

David Aguilera Morales
Tobías Martín-Páez
Víctor Valdivia-Rodríguez
Ángela Ruiz-Delgado
Leticia Williams-Pinto
José Miguel Vílchez-González
Francisco Javier Perales-Palacios

Universidad de Granada

Abstract

Due to the growing importance given to teaching based on inquiry both at the international and national level, this article aims to further work related to this line of research published between 2007 and 2017 in the Spanish area of Didactic of Experimental Sciences. We reviewed 1941 articles, including 55 criteria for the selection, all according to the guidelines of the PRISMA statement (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). The results show the most prolific authors, the evolution of scientific production, the educational stages considered, the types of studies, the designs and the educational implications of their application in the classrooms. In light of these, we can conclude that there are not many authors with an excellent production regarding this subject, because this research's line is still incipient in Spain. The attention devoted to the different educational stages by research in Didactic of Experimental Sciences is not equitable, with the most affected being the stages of Infantile and Primary Education. There are more articles of a theoretical

nature than empirical ones, given the lack of experimental studies that prove this teaching approach is patent. However, the educational implications derived from Spanish publications are similar to the international ones. Finally, we have to advocate for an increase in the number of studies aimed at evaluating the benefits of teaching based on inquiry in the different educational stages, focusing on the stages of Pre-school Education and Primary Education.

Keywords: Science education; teaching based on inquiry; educational implications; Spanish journals; systematic review.

Resumen

Ante la creciente relevancia otorgada a la enseñanza basada en indagación tanto en el ámbito internacional como nacional, este artículo pretende aunar aquellos trabajos referentes a esta línea de investigación publicados entre 2007-2017 en las revistas españolas del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Se han revisado 1941 artículos, incluyéndose 55 de ellos tras la aplicación de los criterios de selección establecidos, todo ello según las directrices de la Declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Los resultados muestran cuáles son los autores más prolíficos, la evolución de la producción científica, las etapas educativas consideradas, los tipos de estudios, sus diseños y las implicaciones educativas de su aplicación en las aulas. A la luz de estos, podemos concluir que no abundan autores o autoras con una excelsa producción referente a esta temática, pues esta línea de investigación es aún incipiente en España. Además, la atención dedicada a las distintas etapas educativas por la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales no es equitativa, siendo las grandes perjudicadas las etapas de Educación Infantil y Primaria. Existen más artículos de naturaleza teórica que empírica, dado que queda patente la falta de estudios experimentales que testen este enfoque de enseñanza. No obstante, las implicaciones educativas derivadas de las publicaciones españolas son similares a las internacionales. Finalmente, hemos de abogar por un incremento de los estudios dirigidos a evaluar los beneficios de la enseñanza basada en indagación en las diferentes etapas educativas, incidiendo en las etapas de Educación Infantil y Primaria.

Palabras clave: Enseñanza de las ciencias; enseñanza basada en indagación; implicaciones educativas; revistas españolas; revisión sistemática.

Introduction

Inquiry as strategy for the teaching and learning of the sciences is paving the way as a growing alternative in the face of the need to improve the

current form of teaching sciences in educational centres. Some of the objectives pursued with it are as follows:

- (1) Improving the image of science and attitudes towards it.
- (2) Contributing to scientific literacy.
- (3) Incentivising scientific professions.

It has undoubtedly been influenced by its use being recommended on the part of the Rocard Report (2007) and, more recently, the publication of the European Commission report: “Science Education for Responsible Citizenship” (Hazelkorn, 2015), which focuses heavily on this recommendation. Thus, it indicates that “Education policies and systems should: ...Support schools, teachers, teacher educators and students of all ages to adopt an inquiry approach to science education as part of the core framework of science education for all...” (p. 10).

Despite the importance given in recent times to this line of research, there are few studies that offer summaries of this subject. Specifically, in the last decade, we found four papers that revised inquiry-based teaching in the international sphere (Minner, Levy & Century, 2010; Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum, 2011; Furtak, Seidel, Iverson & Briggs, 2012; Lazonder & Harmsen, 2016), whereas at a national level, the work of Romero-Ariza (2017) is the only one available to us. Although the differences between the revision of Romero-Ariza (2017) and the aforementioned work are evident, given that the author carried out a narrative revision in which she comments on results obtained by other revision studies, in this case meta-analysis, which deal with the subject in question.

To expand on the information in this respect, this article reviews the research published between 2007 and 2017 in Spanish Magazines specifically focused on Experimental Science Teaching (EST), from the following research questions:

- (1) Who are the most prolific authors in this line of research? What level of collaboration exists?
- (2) How many articles deal with inquiry-based teaching? How have they evolved over time? In which countries have they been written?
- (3) What educational stages are being researched?

- (4) What type of studies are published on this subject? What designs do they have?
- (5) What educational implications do they set forth in relation to inquiry-based teaching?

Inquiry and science teaching

The first thing that should be defined in any study on inquiry is in what sense it is spoken about. As pointed out by Couso (2014), the term “inquiry” is “surprisingly polysemic in educational literature”. Therefore, when speaking about inquiry we can make reference to (Barrow, 2006, quoted by Couso, 2014):

- The ability to research scientifically, if we focus attention on the development of this cognitive capacity.
- The nature of scientific research, if we focalise on students understanding scientific methodology.
- Teaching-learning strategies whose objectives focus on students not only understanding scientific concepts, but also acquiring abilities “of” and “relating to” scientific inquiry.

The two initial meanings refer to content to teach, to scientific procedures in the first case and about science in the second; the third, in contrast, is a manner of carrying out inquiry. The latter case talks about IBSE, Inquiry-Based Science Education, or IBL, Inquiry-Based Learning.

However, a prior conceptual clarification becomes necessary to delimit this strategy and differentiate it from others that originate from different spheres of social and health sciences, with some common elements such as project-based teaching or problem-based learning. In figure I we have attempted to facilitate such a distinction, presenting a number of *definitions* on inquiry below¹:

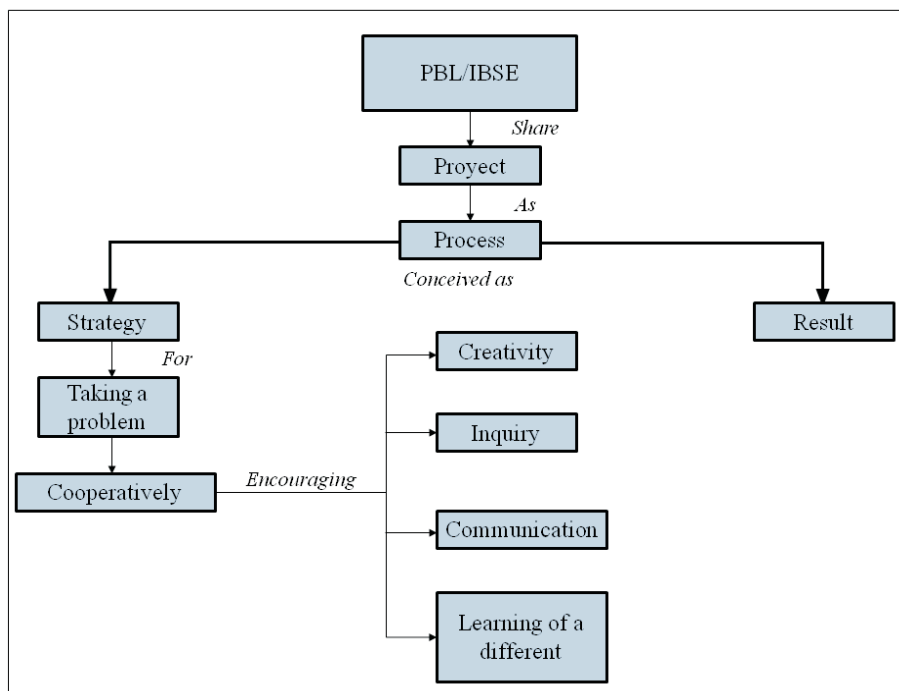
- “The intentional process of diagnosing problems, critiquing experiments, distinguishing alternatives, planning investigations, researching conjectures, searching for information, constructing

⁽¹⁾ The following paragraphs are adapted from Martínez-Aznar (2017).

models, debating with peers, and forming coherent arguments” (Linn, Davis y Bell, 2004, p. 4).

- “Appreciating the diverse ways in which scientists conduct their work; understanding the power of observations; knowledge of and ability to ask testable questions, make hypotheses; use various forms of data to search for patterns, confirm or reject hypotheses; construct and defend a model or argument; consider alternate explanations, and gain an understanding of the tentativeness of science, including the human aspects of science, such as subjectivity and societal influences” (Crawford, 2007, p. 614).

FIGURE I. Conceptual map. Source: adapted from Perales & Ayerbe (2016).



IBSE, upon which we focus our attention from this point on, is usually proposed as an alternative to traditional teaching. Its main characteristics are (Couso, 2014):

- It is organised in research environments, normally of the practical type.
- Students acquire a more active role than in traditional environments, and teachers acquire a more passive role (act as guides).
- A great deal of importance is afforded to attitude and motivation.
- Students, generally working in groups, ask questions and obtain data (or use available data).
- Students enjoy a lot of autonomy and capacity for decision-making.
- It is designed in stages that simulate scientific methodology.

Regarding the level of student autonomy, Windschitl (2003) differentiates between the proposals focused on the “confirmation of experiences” discussed beforehand in the classroom and those set out as “open inquiry” (students decide on what to investigate and how to do it), as well as tackling “structured inquiry” strategies (the teacher provides both the question and the procedure to resolve it) and “guided inquiry” (the teacher provides the question and the students decide how to resolve it), each of them having an influence on students’ different scientific skills to a greater or lesser extent (Table I).

TABLE I. Inquiry models and skills performed by students. Source: Bevins & Price (2016).

Inquiry models	Inquiry skills grouped into dimensions				
Level	1. Scientifically orientated questions	2. Priority to evidence	3. Explanations from evidence	4. Explanations connected to knowledge	5. Communicate and justify
3. Open	Formulate questions	Determine that which constitutes evidence and seek it	Formulate explanations after grouping evidence	Examine other resources for formulating explanations on work	Look how to formulate logical arguments to communicate explanations
2. Guided	Select questions and ask new ones	Orientated so that they seek certain information	Guided in the process of formulating explanations from evidence	Directed towards areas and sources of scientific knowledge	Orientated towards strategies for developing communication

I. Structured	Clarify or specify questions assigned to them	Receive data and are asked to analyse them	Provided with examples of how to use evidence to formulate explanations	Given possible connections with scientific knowledge	Given guidelines to use in order to focus communication
0. Confirmation / verification activities	Give response to questions provided by others	Receive data and are explained how to analyse them	Receive explanations on their results	Precise connection between knowledge indicated to them	Receive specific steps and procedures for communication

In the Spanish sphere we can find precedents to this line of research, specifically in the works of D. Gil and collaborators, and the IRES (*Investigación y Renovación Escolar*) network. In the first case, specifically focused on science teaching and learning, Gil (1990, 1993) commits to the model of problem solving by research, establishing an analogy between science research and the resolution of problems, where the novice researcher (student) works under the direction and supervision of the lead researcher (teacher), using the open problems' effect (preferably qualitative). In the second case, the proposal has a more transverse focus, considering research as an integrating didactic principal (Cañal, 1987), which should encourage the scientific spirit and the skills specific to scientific methodology in the apprentice; this should impregnate the most characteristic elements of the school curriculum such as objectives, content, communication relationships, etc.

Inquiry in the classroom

In relation to its implementation in the classroom, the stages of an IBSE proposal are, in harmony with scientific research, the following (Martínez-Chico, 2013):

- (1) Identify problems or questions of a scientific nature (whose responses can be confirmed or rejected through evidence).
- (2) Issue hypotheses as possible responses to the problem or question (justified explanations).

- (3) Seek evidence that confirms or refutes the hypothesis (through experiments or searches for information).
- (4) Analyse and interpret results.
- (5) Extract conclusions and communicate them.

Although IBSE admits different interpretations (Romero-Ariza, 2017) that depend on the conception of inquiry itself and previous teaching experiences (Windschitl, 2003), which is a fact that makes research, and even debate on inquiry, difficult (Yeomans, 2011), all coincide on two aspects (Couso, 2014):

- The authenticity of scientific methodology must be brought to the classroom.
- Students must be involved and motivated.

All of this paints a scenario where the questions to take into account and carry out are complex and, therefore, difficult to tackle, with this situation postulating itself one of the reasons why inquiry-based strategies do not yet enjoy a significant presence in science classrooms, with others being maintained, such as: lack of teacher preparation (Forbes & David, 2010; Lucero, Valcke & Schelles, 2013), scarcity of resources, time limitations, extensive curriculum and parental pressure (Anderson, 1996) or the conception of inquiry itself, and the way of implementing it in the classroom (Cuevas, Lee, Hart & Deakort, 2005; McDonald & Butler Soger, 2008).

In addition to this, there is the fact that the scientific knowledge of teachers in practice and training is generally fragmented, superficial and weak (Murphy et al., 2007) and, moreover, they display a certain rejection of science and low levels of confidence (Vázquez & Manassero, 2008). Thus, in particular, some limitations detected in trainee teachers for the implementation of inquiry activities are related to the choice of the question to research, the design and the execution of the investigation (Lucero et al., 2013; Crujeiras & Puig, 2014).

Once we have established the concept understood in this paper as inquiry (IBSE), its main characteristics and some of the principle barriers to these strategies reaching the classroom, what would still remain to be studied is whether those that have been implemented have had the desired impact. Although there are authors who consider inquiry to be the best method for science teaching and learning (Bevins & Price, 2016), or that

“teaching strategies that actively engage students in the learning process through scientific investigations are more likely to increase conceptual understanding than are strategies that rely on more passive techniques” (Minner, Levy & Century, 2010, p. 493), there are also those who assert that this is not the case (Cobern et al., 2010). In fact, there are studies that negatively correlate methodologies of inquiry in the classroom and academic performance in PISA tests (Areepattamannil, 2012; McConney, Oliver, Woods-McConney, Schibeci & Maor, 2014, quoted by Romero-Ariza, 2017).

In this regard, it can be pointed out that there are few cases to analyse, as has been described. Nevertheless, some results are worth mentioning. In a recent study that analyses meta-analyses measuring the extent of the effect of this methodology in comparison to more traditional ones, it is asserted (Romero-Ariza, 2017) that:

- “[...] the number of activities focused on promoting the capacity for thinking, reasoning and developing evidence-based arguments is a positive indicator of the understanding of scientific ideas on the part of students exposed to inquiry-based learning (p. 291).
- [...] unguided inquiry does not facilitate learning, whereas important benefits are obtained when the process is duly assisted by the teacher (p. 292).
- [...] the size of the moderated effect on the learning of concepts and a greater impact on the development of inquiry skills [...] (p. 292).
- [...] the size of the effect of the inquiry depends on the type of inquiry activities that have taken place in the classroom, on the level of guidance or support offered by the teacher and the type of learning result measured (p. 292). ”

To shed light on this matter, this paper contains a systematic review of the articles published over the last decade in Spanish experimental science magazines, following the methodology described below:

Method

The systematic review presented in this work has been carried out in accordance with:

- (1) The definition provided by Higgins & Green (2008), which is conceived as the review of one or more clearly formulated questions, using systematic and explicit methods for identifying and selecting the investigations referring to it, and analysing the data of those studies included in the review.
- (2) The PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) statement, whose purpose is the evaluation of the quality of systematic reviews and meta-analyses (Sotos-Prieto, Prieto, Manera, Baladia, Martínez-Rodríguez & Basulto, 2014).

The search began at the beginning of October 2017, and was carried out on the main Spanish magazines specific to the field of Experimental Science Teaching. *Enseñanza de las Ciencias* (hereafter, EC), *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (REEDC), *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC), *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales* (DCES) and *Alambique*. We reviewed the numbers published between 2007 and 2017 (both inclusive), except for the special EC editions published in 2009 and 2013, as they were communications presented in the VIII and IX International Congresses on Research into EST, respectively.

Article selection procedure

The articles were selected independently by five of the authors of this study, and this was carried out via the reading of the title, abstract and keywords of each work. We included qualitative and quantitative studies, as well as experiences and teaching proposals as long as one of their topics dealt with inquiry-based teaching topics (or, failing this, research-based teaching). In this regard, the inclusion criteria we employed were:

- (1) Articles published in Spanish magazines specialised in the field of Experimental Science Teaching.
- (2) Articles published between 2007 and 2017, both inclusive.
- (3) Works that alluded, either in their title, abstract or keywords, to inquiry-based teaching.
- (4) Studies that showed educational implications that made reference to IBSE.

The selection process for the works was carried out in two stages. Firstly, each one of the five authors charged with the task independently reviewed the magazine allocated to them, detailing the number of articles published per year and that of those selected from each magazine. Then, two of the authors dedicated to this task reviewed the five magazines for a second time, this time as a group, obtaining a consensus of 91%. The disagreements obtained in the second stage were consensually resolved by both researchers.

Data extraction procedure

In order to analyse and extract the data from the articles, we followed the same procedure outlined in the previous section. Thus, the selected works were distributed amongst the same five authors charged with the selection, for which they carried out the process independently. Once the data extraction was finalised based on the following items: (a) author/s and year, (b) educational stage, (c) type of study, (d) methodological design and (e) educational implications, they were reviewed jointly by the same two authors responsible for the final selection, obtaining a consensus of 84% with regards to the initial data extraction. The disagreements were resolved consensually by both researchers.

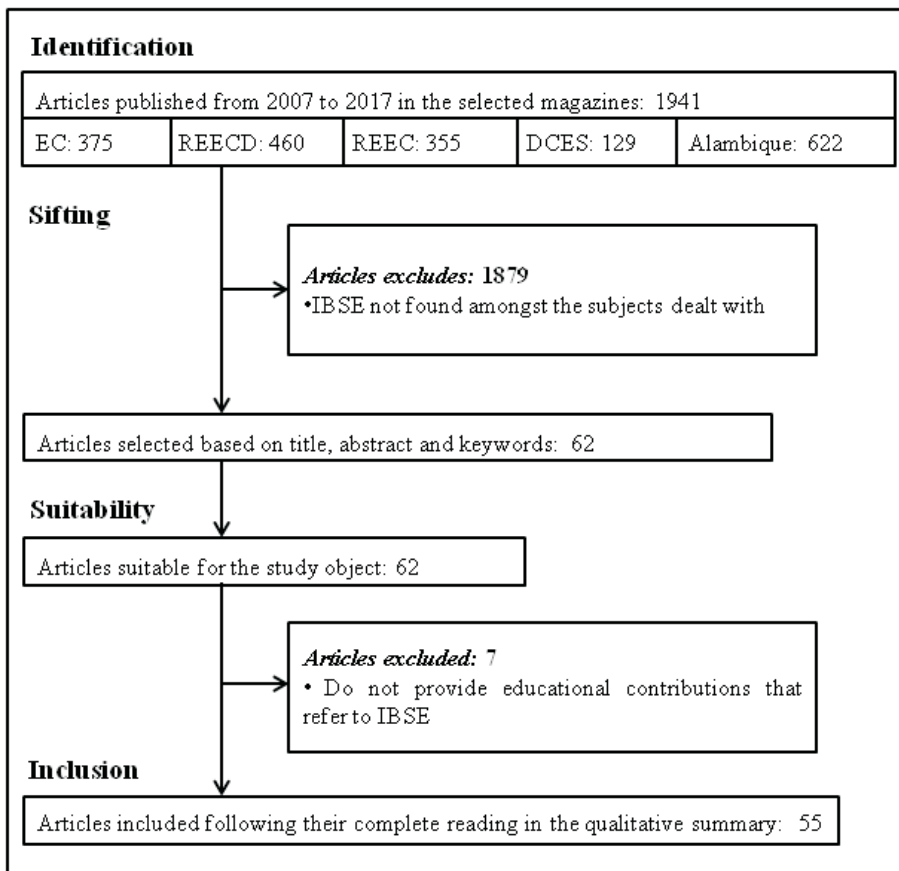
Results and Discussion

Following the PRISMA statement recommendations, we have created the flowchart in Figure II, which shows the selection and inclusion process followed in this study, according to the actions of identification, sifting, appropriateness and inclusion.

There was a review of 1941 articles published between 2007 and 2017 in the Spanish EST-specific magazines. Following the reading of the title, abstract and keywords of each study and the application of the three first inclusion criteria, 62 articles were selected, with a total of 1879 having been excluded that did not deal with (at least explicitly in the parts analysed) IBSE. The end of the selection process was carried out through the complete reading of the 62 preselected articles, of which 7 were excluded for not fulfilling the fourth inclusion criterion. Finally, a

sample of 55 works remained, representing scarcely 3% of the reviewed works. With this complete, we proceeded to provide a response to the research questions.

FIGURE II. Flowchart in accordance with the PRISMA statement.

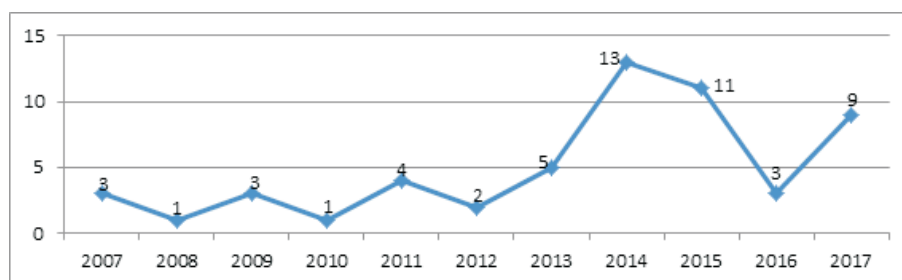


Evolution of the production of articles in Spain on IBSE

How much research into IBSE is carried out? If we compare the number of articles obtained with that of other similar works, such as the 130 studies

included in the review of Minner et al. (2010) or the 164 selected by Alfieri et al. (2011), we can state that the production of works published in national magazines that refer to IBSE is lower than the international figures, given that this encompasses a much more extensive geographical scope, as it includes articles written in English and, normally, from foreign countries and magazines. The distribution of this production is presented in Graphic I.

GRAPHIC I. Evolution of the production of articles in Spain on IBSE.



According to what Graphic I shows, the fluctuation of articles referring to IBSE published in Spain is evident. However, a certain increase in production is perceived, which is endorsed by the fact that 75% (N=41) of the selected articles have been published in the last five years. This could respond to the recommendations on the employment of IBSE issued both at an international (Ofsted, 2011; NRC, 2012) and national level (Couso, Jiménez, López-Ruiz, Mans, Rodríguez, Rodríguez & Sanmartí, 2011).

Of the total number of works selected, 84% were developed in Spain, with the remaining 16% originating from Central and South American countries. Thus, the authors of the nine works published in Spain but written outside the country belong to educational institutions in Brasil (5), Columbia (1), Argentina (1) and Bolivia (1). In this sense, it is important to note that no work has been found in which educational institutions from different countries collaborate.

Who, on what educational stage and how is research on IBSE carried out?

Who researches IBSE? We have identified 82 authors among the 55 articles selected, which represents a collaboration index of 1.49. Contributing to this fact is the number of studies by a single author, which occurs in 33% (N=18) of the included articles, being lower than the average obtained for Social Sciences in Spain (2 authors per work), and that established in Science Teaching (1.81) (Anta & Pérez, 2007). Taking a closer look at the analysis of who researches IBSE, we present Tables II and III.

TABLE II. List of authors and number of works published on IBSE

Classification	No. authors	Percentage
Authors with 1 work	58	71%
Authors with 2 works	15	18%
Authors with 3 works	4	5%
Authors with 4 works	4	5%
Authors with 5 or more works	1	1%
Total	82	100%

As can be observed in Table II, 71% of authors have only one work attributable to them, whereas a mere 11% boast three or more. In this regard, we could state that this line of research lacks big producers (always basing ourselves on the publications in Spanish EST-specific magazines), given that the most productive, J. Domènech Casal, has published a total of 8 articles in the time period analysed. Furthermore, the number of authors to have participated in the creation of 3 or more works stands at 9 (Table III). This situation, together with the scarce number of articles on IBSE produced in Spain, could point to Spanish educational research into IBSE being at an initial stage, as only 3% of the articles published in the magazines analysed between 2007 and 2017 focus on this line of investigation.

TABLE III. Authors with the highest production in Spain on IBSE

Author	No. Articles
J. Domènech Casal	8
M. Martínez Chico R. López-Gay Lucio-Villegas M. R. Jiménez Liso B. Crujeiras Pérez	4
A. García Carmona C. Ferrés Gurt M. Romero Ariza I. M. Greca	3

On what educational stage is IBSE research carried out? We find the responses to this question in Table IV. Regarding the educational stage researched, works have been identified on: Primary Education, Secondary Education, University and Graduates (referring to ongoing professional training). However, the attention given to each educational stage is far from equitable, with Secondary Education covering almost 50% of the studies included in the review, and the rest distributed amongst Primary Education (12%), University (29%) and Graduates (4%). We also find works that fail to specify the educational stage on which the study was based or, where appropriate, to which it is directed in the case of the teaching proposals (2%), and others in which it does not proceed to speak about the educational stage as they are literature review studies (7%). Accordingly, we can make reference to the conclusions drawn by Pro & Rodríguez (2010), given that EST focuses once again on the Secondary Education stage, with a marginal or negligible number of studies on the Early Childhood and Primary Education stages, which could be due to the professional careers of the authors of the selected studies, as many of them have been or are Secondary Education teachers. This goes against the recommendations that come to use from other lines of research, which attribute many benefits to beginning scientific education in initial school years (Eshach & Fried, 2005).

The results obtained show that the presence of IBSE methodology is almost non-existent in Spanish science classrooms (Cortés et al., 2012). This is undoubtedly due in principle to the fact that teachers are unsure of how to implement the process and methods habitually used by scientists in the classroom and maintain, on many occasions, inappropriate

concepts regarding what IBSE is, such as identifying inquiry as straying from curricular planning (Keys & Kennedy, 1999).

TABLE IV. What educational stages is IBSE research carried out on?

Item	Variables	N	Percentage
Educational stage	Primary Education	7	12%
	Secondary Education	26	46%
	University	16	29%
	Graduates (ongoing training)	2	4%
	Not specified	1	2%
	Not relevant	4	7%
Type of study	Empirical study	23	42%
	Theoretical study	32	58%
Design	Experimental	6	11%
	Ex post-facto	3	5%
	Case study	12	21%
	Ethnographic	1	2%
	Research-action	2	4%
	Literary review	4	7%
	Teaching experience	23	41%
	Teaching proposal	5	9%

Regarding how IBSE research is carried out, we have focused on two dimensions: study type and design. For study type, it is observed that almost 60% (N=32) are theoretical works which describe teaching experiences or proposals, or present a theoretical contribution through narrative literary reviews. In consequence, the number of empirical studies selected scarcely exceeds twenty. As regards design, the most repeated corresponds to that concerning the description of a teaching experience (N = 23), whereas the empirical design most used is the case study (N= 12). In addition, the number of studies with experimental design is extremely reduced; their presence barely exceeds 10% of the articles selected.

In the light of these studies, attention should be drawn to the scarcity of empirical studies referring to IBSE methodology and published in Spanish EST magazines, given that it has a significant impact on the nature of the results and educational implications obtained, on the whole resulting from sensations or opinions lacking the rigour and systematicity necessary for their possible replication and generalisation. In this regard, it is worth pointing out that it would be necessary to implement IBSE methodology in classrooms, but affording the methodological rigour, systematicity and reflection, in order to increase the number of empirical studies in this line of research. This could be done either via an experimental evidence-based design, which allows the quantifying of effects (Bisquerra, 2014), or via qualitative designs such as the case study or action research, which are no less rigorous and have the positive aspect of improving the quality of teaching practice (in science teaching, in this case) from this practice itself (Elliot, 1993).

What educational implications are demonstrated regarding IBSE?

The educational implications reflected by each of the selected articles are summarised in Table V, in which each work appears referenced via the number assigned to it in the *Annex*. We have thus used six criteria to classify them, referring to: (1) skills, (2) emotions, motivation and attitudes, (3) knowledge acquisition and transfer, (4) nature and image of science, (5) teachers and (6) student difficulties.

TABLE V. Summary of educational implications linked to IBSE.

Referring to	N*	Educational implications
Competencies	3 7 3 8	Promotes student autonomy (6, 7, 23). Encourages cooperative work amongst students (1, 6, 18, 22, 23, 24, 43). Develops language skills (16, 23, 43). Favours the development of skills relating to scientific methodology (12, 13, 16, 18, 22, 33, 45, 48).
Emotions, motivation and attitudes	4 15 2 1 1	Creates positive attitudes towards science (6, 24, 33, 44). Increases motivation and satisfaction towards science learning (6, 11, 14, 16, 23, 30, 34, 35, 36, 37, 43, 46, 48, 52, 55). Students value the employment of this methodology positively (32, 45). Increases student self-esteem regarding science learning (24). Does not affect student motivation and emotional state.
Knowledge acquisition and transfer	11 5 9 5 1 1 4 2 6 1	Improves the acquisition of content (7, 12, 14, 15, 16, 23, 30, 38, 41, 42, 46). Helps to achieve significant learning (10, 14, 15, 50, 52). Encourages reflection and critical thinking during the teaching-learning process (6, 10, 11, 17, 21, 22, 24, 46, 55). Fosters active participation of students (24, 33, 34, 49, 55). Increases dialogue between teacher and students (5). Takes students' interests and previous ideas into account (11). Favours the identification and modification of mistaken ideas for those adapted to scientific knowledge (15, 24, 47, 50). Helps to manifest the different current social-scientific problems and adapts to the needs of students, where uncertainty generated by highly accelerated change dominates (25, 26). Allows students to become aware of the usefulness of scientific knowledge in their daily lives (14, 28, 29, 43, 44, 46). Facilitates the transfer of ideas and knowledge from one context to another (15).
Nature and image of science	4 3	Contributes to a closer presentation of the production, development and impact of scientific knowledge (53, 4, 5, 35). Allows the modification of negative ideas about the image of science and affords value to scientific work (14, 29, 31).
Teachers	9 2 2 1 3 2 1 1	Training future IBSE teachers could affect future educational innovation, improving their knowledge on this teaching strategy and generating more confidence and better teacher performance (9, 27, 31, 38, 39, 40, 41, 48, 49). Requires more dedication on the part of the teacher than traditional teaching (33, 36). The role of the teaching guide during the inquiry process is essential (19, 48). University teachers consider the employment of IBSE in initial teacher training as a priority (39). Teachers in initial training positively value this teaching strategy (1, 3, 51). Teachers in initial training find it difficult to design teaching sequences based on inquiry (3, 51). Trainee teachers have little idea of how to create, validate and evolve scientific knowledge, do not know basic techniques or procedures via which scientific knowledge is developed, with all of this affecting the image they may transmit (54). NPTAI is a useful instrument for teachers, as it is a training evaluation tool that permits the identification of student difficulties during the inquiry process (20).
Student difficulties	3 1 1 2 1	Lacks a clear model of scientific activity to be able to correctly carry out the dynamic of inquiry (6, 8, 28). Has difficulties formulating researchable questions (21). Show difficulties extracting and interpreting results, and giving a hypothesis (2). Both oral and written expression and the identification of problematic situations are, generally, student weaknesses (6, 36). Tackling inquiry activities is complex when they have little experience related to this type of teaching approach (19).

* Number of articles that obtain teaching implication.

The contribution made by the IBSE methodology to the development of skills (autonomy and initiative, teamwork, language skills and those referring to research) observed in many of the works selected in this review is ratified by Bevins & Price (2016), who state that one of the strengths of this teaching focus is the promotion and development of skills and capacities linked to science. Moreover, these same authors assert the following as benefits of IBSE: improvement in self-esteem; comprehension of content and motivation; effect of the application of the new learning in the ever more complex contexts that surround them.

In terms of attitude and emotions towards science, positive and negative results have been found, although on the whole the contributions collected show the effectiveness of IBSE in improving these variables (Areepattamannil 2012; McConney et al., 2014). In this same regard, the educational implications compiled point to an improvement in the acquisition of content on the part of students, and the favouring of significant learning, as a result of reflection, the evaluation of alternative ideas, reasoning (Pedaste et al., 2015) and the active participation of students (Bevins & Price, 2016); all of these actions are habitually promoted by the educational proposals and experiences analysed.

The effects generated by IBSE methodology described above, all of them positive, foster a classroom atmosphere that is relaxed, pleasant and, as a result, ideal for science learning (Abril, Romero-Ariza, Quesada & García, 2014). In turn, this agreeable benefit is key to the promotion of positive attitudes towards school and learning (Krüger, Formichella & Lekuona, 2015). Thus, given the deterioration of attitudes towards science experienced by the students of today (Vázquez & Manassero, 2008), we could consider this teaching focus as an appropriate means for its reversal.

There are, however, a number of aspects to consider in the putting into practice of this teaching focus, as we can see in those educational implications that refer to teachers (Table V). The role, therefore, taken on by the teacher during this teaching-learning process, his or her prior experience and knowledge on IBSE and its implication are determining factors in the effectiveness of this teaching strategy, converting the teacher into a capable professional (Reoyo, Carbonero & Martín, 2017). Such is the case that some authors have questioned the IBSE methodology, alleging that:

- (1) Students cannot learn by themselves through inquiry (Kirschner, Sweller & Clark, 2006), as there is evidence to suggest that better learning results are obtained through guided inquiry (Minner et al., 2010; Furtak et al., 2012; Lazonder et al., 2016).
- (2) Teachers lack preparation (Forbes & David, 2010), given the fragmented, shallow and unsound scientific knowledge available to them (Murphy et al., 2007).
- (3) The difficulties faced by teacher trainers in designing and executing inquiry-based sequences (Lucero et al., 2013; Crujeiras & Puig, 2014), a line along which there are already a number of training proposals to attempt to overcome such deficiencies (Martínez-Chico, Jiménez-Liso & López-Gay, 2015; Vílchez & Bravo, 2015; Greca, Meneses & Diez, 2017).

Finally, weighing up the educational implications that are more and less encouraging, we can state that inquiry-based teaching is an effective way of teaching and learning science, highlighting the increase in motivation/satisfaction in terms of learning science and the acquisition of content on the part of students ($N = 15$ y $N = 11$ respectively) as the most relevant implications. Lederman, Lederman & Antink (2013) coincide on this point, as long as the activity design is appropriate, which is necessarily arrived at through relevant teacher training.

Conclusions

This review paper provides, on the one hand, a perspective of the development of research on IBSE methodology in the field of EST, focusing on publications in Spanish magazines; on the other hand, it compiles the main educational implications referring to this methodology. We can thus conclude the following:

First. Scientific production on IBSE methodology in EST-specific Spanish magazines is scarce, despite the existence of authors from other countries who have disseminated a number of studies in Spain. This adds to the complexity of highlighting a researcher or research group with noteworthy production along this line of investigation. Attention should also be drawn to the meagre degree of collaboration in the production of the articles. Notwithstanding this, there has been a favourable evolution

in terms of the volume of articles that tackle this subject in the last five years. We could therefore argue that research in Spain on IBSE methodology is incipient.

Second. Attention paid to the different educational stages is very unequal, with the highest number of studies focusing on secondary education and university, which could be conditioned by the professional trajectory of the authors, who work or have worked as secondary school teachers. In consequence, EST research pays little attention to the primary education stage and, in this case, we have found no study with a focus on early childhood education.

Third. There are more theoretical than empirical studies. The most frequent design used for these theoretical works has been teaching experience, with the case-study design generally being used for empirical studies. As a result, a channel for promoting the extraction of more rigorous and generalizable conclusions would be an increase in the number of experimental studies (from the quantitative point of view) or a greater use of action research (from the qualitative perspective).

Fourth and last. The educational implications referring to IBSE methodology are encouraging in terms of the effects generated in students and teachers in training, as both enable a solid scientific literacy based on positive attitudes and emotions, and on a rejuvenated image of science. This teaching focus, however, faces a number of important challenges.

- Regarding teachers:
 - Improving knowledge of future teachers on the nature of science.
 - Reducing their difficulties in carrying out IBSE methodology, difficulties which are related to the insecurity created by the aforementioned points and the lack of experience putting this methodology into practice.
- Regarding students:
 - Promoting science learning based on doing science, in the interest of correcting deteriorated attitudes, negative feelings and emotions and false assumptions regarding science.

The results obtained seem to suggest that IBSE could be a good teaching-learning strategy for science, and that there is also a long path to tread. Studies such as those presented in this article may show the

way. Given its limitations, as it focuses on research in a national sphere (Spain), the line to follow would be to firstly widen the study to the international sphere, which is the intention in future reviews.

Acknowledgements

This study falls within the project “Design, evaluation and dissemination of workshops based on inquiry for Primary Education (ref: PPJI_B-01)” funded by the University of Granada. We also wish to express our thanks to the Autonomous Government of Andalusia and the European Social Fund for providing the funding for contract no. 6161, destined towards the contracting of young research personnel, to the Ministry of Education, Culture and Sport for the award of grant FPU15/04972, and to the HUM-613 research group for participating in their training.

Annex: www.didacticacienciasugr.es/docs/misc/Anexo-Rev-Sis-Nacional.pdf

Bibliographical references

- Abril, A. M., Romero-Ariza, M., 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(1), 22-33.
- 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.
- Anderson, R.D. (1996). *Study of curriculum reform*. Washintong DC: U.S. Government Printing Office.
- Anta, C. & Pérez, J. M. (2007, November, 21-23). *La producción científica sobre Didáctica de las Ciencias*. IV Congreso Comunicación Social de la Ciencia. Madrid: CSIC.
- 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.

- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278.
- Bevins, S. & , G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17-29.
- Bisquerra, R. (Coord.) (2014). *Metodología de investigación educativa*. Madrid: La Muralla.
- Cañal de León, P. (1987). Un enfoque curricular basado en la investigación. *Investigación en la Escuela*, 1, 43-50.
- 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.
- Cortés, A.L., de la Gándara, M., Calvo, J.M., Martínez, M.B., Gil, M.J., Ibarra, J. & Arlegui, J. (2012). Expectativas, necesidades y oportunidades de los maestros en formación ante la enseñanza de las ciencias en la educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 155-176.
- 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, D. (2014). *De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica*. Ponencia a los XXVI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Huelva.
- Crawford, B.E. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44, 613-642.
- Crujeiras, B. & Puig, B. (2014). Trabajar la naturaleza de la ciencia en la formación inicial del profesorado planificando una investigación. *Educació Química*, 17, 55-61.
- Cuevas, P., Lee, O., Hart, J. & Deakort, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 337-357.
- Elliot, J. (1993). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Madrid: Morata.
- Eshach, H. & Fried M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.

- Forbes, C. T. & Davis, E. A. (2010). Curriculum design for inquiry. Pre-service elementary teachers' mobilization and adaptation of science curriculum materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 820-839.
- 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-Pérez D. (1990). *Un modelo de resolución de problemas como investigación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia – Lábor.
- Gil-Pérez D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- Greca, I. M., Meneses, J. A., & Díez, M. (2017). La formación en ciencias de los estudiantes del grado en maestro de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 16(2), 231-256.
- Hazelkorn, E. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. Comisión Europea. http://ec.europa.eu/research_swafs_pdf_publication/science_education_KI-NA-26-893-EN-N
- Higgins, J. P. T., & Green, S. (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. West Sussex, England: Cochrane Collaboration & Wiley.
- Keys, C.W. & Kennedy, V. (1999). Understanding inquiry science teaching in context: A case study of an elementary teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 10(4), 315-333.
- Krüger, N., Formichella, M. M., & Lekuona, A. (2015). Más allá de los logros cognitivos: la actitud hacia la escuela y sus determinantes en España según PISA 2009. *Revista de Educación*, 367, 10-35.
- 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.
- Lazonder, A.W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), 1-38.
- Linn, M. C., Davis, E.A. & Bell, P. (2004). *Internet environments for science education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lucero, M., Valcke, M. & Schellens, T. (2013). Teachers' beliefs and self-reported use of inquiry in Science Education in Public Primary Schools. *International Journal of Science Education*, 35 (8), 1407-1423.

- Martínez-Aznar, M. (2017). La enseñanza-aprendizaje de las ciencias: «entre indagación y problemas». Comunicación personal.
- 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.
- 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.
- 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.
- McDonald, S. & Butler Songer, N. (2008). Enacting classroom inquiry: Theorizing teachers' conceptions on science teaching. *Science Education*, 27, 45-60.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & 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(4), 474–496.
- Murphy, C., Neil, P. & Beggs, J. (2007) Primary science teacher confidence revisited: ten years on. *Educational Research*, 49(4), 415-430.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.
- Ofsted (2011). *Successful science: An evaluation of science education in England 2007 – 2010*. Manchester, UK: Ofsted.
- 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.
- Perales, F.J., & Ayerbe, J. (2016). El trabajo por proyectos y por resolución de problemas en Educación Ambiental: análisis y tendencias. Comunicación a los XXVII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Badajoz (7-9 de Septiembre, 2016).
- Pro, A., & Rodríguez, (2010). Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 385-406.

- Reoyo, N., Carbonero, M. A., & Martín, L. J. (2017). Características de eficacia docente desde las perspectivas del profesorado y futuro profesorado de secundaria. *Revista de Educación*, 376, 62-86.
- Rocard, M. (Chair), Csermely, P., Jorde, D. Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Science Education now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. Comisión Europea. <https://sede.educacion.gob.es/publventura/PdfServlet?pdf=VP15136.pdf&area=E>
- Sotos-Prieto, M., Prieto, J., Manera, M., Baladia, E., Martínez-Rodríguez, R. & Basulto, J. (2014). Ítems de referencia para publicar Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: La Declaración PRISMA. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 18(3), 172-181.
- Vázquez, A. & Manassero, M.A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 274-292.
- Vílchez, J. M., & Bravo, B. (2015). Percepción del profesorado de ciencias de educación primaria en formación acerca de las etapas y acciones necesarias para realizar una indagación escolar. *Enseñanza de Las Ciencias*, 33(1), 185–202.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), pp. 112-143.
- Yeomans, E. (2011). *Inquiry-based learning – what is its role in an inspiring science education?* En *Perspectives on Education: Inquiry-based learning* (p. 3). Wellcome Trust: Londres.

Contact address: David Aguilera Morales. Facultad de Ciencias de la Educación, Campus Universitario de Cartuja, C.P. 18071 (Granada), Granada. E-mail: david15@correo.ugr.es