

Resultados e implicaciones de una propuesta para promover el desarrollo de las destrezas científicas en un aula de Biología de bachillerato

Juan Antonio Ansón¹ y Beatriz Bravo Torija²

¹I.E.S Torre de los Espejos, España. ²Departamento de Didácticas Específicas. Universidad Autónoma de Madrid, España. Emails: jaanson@educa.aragon.es, beatriz.bravo@uam.es.

Resumen: En este trabajo se describe una experiencia realizada por 16 alumnos de 1º de bachillerato, con el objetivo de promover el desarrollo de las destrezas científicas implicadas en la resolución de tres actividades de indagación. Se identifica y describe el nivel de adquisición alcanzado por los estudiantes en cada una de las destrezas científicas, y se discuten las dificultades encontradas. Las actividades realizadas se enmarcan dentro de la indagación dirigida. En estas actividades, el profesor formula la pregunta a investigar y los alumnos han de: 1) reconocer el objetivo del estudio; 2) diseñar el experimento; 3) realizar la recogida y análisis de datos; y 4) establecer las conclusiones en base a estos. Los resultados mostraron que si bien los alumnos eran capaces de reconocer el objetivo a investigar, identificar y describir las variables a investigar y de seleccionar las técnicas e instrumentos en base a éstas, encontraron dificultades en la búsqueda y selección de información, la interpretación y discusión de sus resultados y la formulación de conclusiones.

Palabras clave: diseño experimental, destrezas científicas, indagación, bachillerato.

Title: Results and implications of a proposal to promote the development of scientific skills in a higher secondary biology classroom.

Abstract: In this work, we describe an experience carried out with 16 11th grade students, with the aim of promoting the development of the scientific skills involved in solving three inquiry-based activities. We identify and describe the level of students' attainment in each scientific skill, and discuss the difficulties encountered by them. The activities carried out in this study can be classified such as directed inquiries. In these activities, the teacher raises the question and the students should: 1) recognize the objective of the study; 2) design the experiment; 3) collect and analyse the data; and 4) establish the conclusions. The results showed that although the students were able to recognize the objective to investigate, to identify and describe the variables and to select the techniques and instruments based on them, they found difficulties finding and selecting information, interpreting and discussing the results from the experiment and establishing conclusions.

Keywords: experimental design, scientific skills, inquiry, higher secondary education.

Introducción

En los últimos años, la indagación escolar ha sido reconocida como un elemento clave en el aprendizaje de las ciencias, atribuyéndole objetivos como la mejora en la adquisición de los conocimientos y destrezas propias de las ciencias, y en el interés de los alumnos por éstas (Nuffield Foundation, 2008). Pero para alcanzar estos objetivos, es necesario que se de oportunidades al alumnado para formular preguntas, realizar hipótesis, planificar y diseñar investigaciones y analizar y discutir los datos obtenidos (Kelly, 2014). Por todo lo anterior, en el aula no nos podemos limitar a realizar experiencias que únicamente demuestren o comprueben un conocimiento abordado previamente, sino que hemos de diseñar actividades donde los estudiantes tengan que pensar como científicos (Yeh, Jen y Hsu, 2012).

Los estudios previos que se han realizado en este sentido se han dirigido principalmente a los niveles de Educación Primaria y Secundaria Obligatoria (1 a 4º de ESO), y en formación de profesorado (Crujeiras y Jiménez Aleixandre, 2014; Cuevas, Lee, Hart y Deakort, 2005; D'Costa y Schuleter, 2013; Högström, Ottander y Benckert, 2010; Vílchez-González y Bravo-Torija, 2015). Pocos son los que han trabajado la indagación científica en el Bachillerato (Arnold, Kremer y Mayer, 2014; Tortosa Moreno, 2013). En este artículo describimos una experiencia realizada en 1º de Bachillerato, cuyo objetivo es promover el desarrollo de las destrezas científicas durante la resolución de tres actividades de indagación. En concreto, en la sección de metodología, se discute qué destrezas generales están implicadas en una indagación escolar, y se propone, en base al trabajo de Ferrés, Marbá y Sanmartí (2015), una herramienta que permite identificar el nivel de adquisición de cada una de estas destrezas por parte del alumnado. En los resultados se aplica esta herramienta a las indagaciones realizadas por los estudiantes, describiendo su desempeño y reconociendo el nivel de adquisición alcanzado. También se señalan las dificultades encontradas durante el proceso de resolución de las indagaciones propuestas. Finalmente, se presentan las conclusiones del estudio y se discuten sus implicaciones más relevantes.

Fundamentación teórica

El interés por la ciencia ha disminuido notablemente en la última década, siendo cada vez menor el número de alumnos que cursan carreras científicas (European Commission, 2007). Esta realidad nos lleva a considerar qué ciencia estamos enseñando y para quién. Como apunta Acevedo (2004) la ciencia que se debería enseñar tendría que ser válida y útil para el alumnado, permitiendo formar ciudadanos que pudieran tomar decisiones sobre los problemas científicos actuales; sin embargo, lo que nos encontramos es una enseñanza todavía centrada en la adquisición de conocimientos, sin incorporar ideas acerca de cómo se ha obtenido (Caamaño, 2012). Un cambio en esta visión, supone un cambio en el interés de la enseñanza del ¿Qué queremos que sepan nuestros estudiantes? al ¿Qué queremos que sepan hacer? (Grandy y Duschl, 2007). Desde esta perspectiva, aprender ciencias implica aprender los conocimientos clave de la disciplina y los procesos por los que estos son construidos, evaluados y comunicados por la comunidad científica (Kelly,

2011; 2014). Promoviendo el *hacer ciencia* a la vez que se incrementa el *saber ciencia y el saber sobre ciencia*.

Dar oportunidades de *hacer ciencia* conlleva centrarse en procesos como la formulación de preguntas, la recogida y análisis de datos o la obtención de conclusiones en base a pruebas. Esto permite a los estudiantes: a) tener una experiencia directa sobre el fenómeno a estudiar; b) contrastar la "abstracción científica" con la realidad que se pretende describir; y c) reconocer la dependencia entre teoría y práctica (Fernández y Hueto, 2011). Las prácticas de laboratorio se presentan como un recurso apropiado para conseguir *hacer ciencia*, al permitir a los alumnos decidir qué hacer y cómo (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2014).

En este punto, consideramos importante señalar a qué hacemos referencia cuando hablamos de prácticas de laboratorio. Al igual que autores como Alake-Tuenter et al., (2012) distinguimos entre las prácticas de *confirmación de experiencias*, cuyo único fin es comprobar un conocimiento abordado en el aula, y las prácticas de *indagación*, que implican un razonamiento por parte de los estudiantes. En estas últimas, son los alumnos quienes toman las decisiones sobre cómo resolver el problema, incidiendo en la importancia de aspectos del trabajo científico como la planificación de la actividad experimental, el análisis de los resultados y la comunicación de las conclusiones (Gil y Valdés, 1996).

Realizar este tipo de prácticas de indagación promueve que los estudiantes generen explicaciones científicas de mayor nivel de complejidad y abstracción que en las actividades centradas en seguir un procedimiento pautado por el docente, como han mostrado estudios como los de Chen y She (2015) o Tortosa (2013). Minner, Levy y Century (2010) encontraron, tras una revisión sobre la influencia de la enseñanza por indagación en el aprendizaje de alumnado de 4 a 16 años, que existía una relación positiva entre la enseñanza, que promovía la responsabilidad y autonomía en el aprendizaje, y la mejora en la adquisición de conocimientos científicos. Además, las prácticas de indagación también contribuyen a un desarrollo de las destrezas científicas, como muestran los resultados obtenidos por Cuevas, Lee, Hart y Deakort (2005) al implementar dos actividades de indagación en un aula de Educación Primaria. Los autores observaron que, tras la realización de las actividades, los estudiantes mejoraban notablemente en destrezas como la identificación de preguntas, la planificación de experimentos o la obtención de resultados. Resultados similares fueron encontrados por D'Costa y Schuleter (2013) al comparar el desempeño en actividades de indagación de biología entre un grupo control de estudiantes y otro experimental. Los estudiantes del grupo experimental mejoraban su habilidad en destrezas concretas como la formulación de hipótesis o la identificación de variables.

En base a los resultados obtenidos en los estudios previos, estamos de acuerdo con Ferrés et al. (2015) al considerar que la implementación de actividades de indagación se presenta como un elemento de innovación hacia modelos de didáctica de ciencias centrados tanto en la comprensión del conocimiento científico, como en el desarrollo de destrezas propias de la disciplina. Sin embargo, aunque todas las actividades de indagación comparten dos características comunes, incluir una pregunta investigable

por los estudiantes e implicarles en el análisis de datos (Bell, Maeng y Ptersm, 2010), existe una variación respecto al papel del alumnado y el profesorado en su realización.

Dentro de las distintas clasificaciones sobre indagación encontradas en la literatura, en este trabajo nos basamos en la establecida por Windschitl (2003). Dependiendo del grado de implicación del profesor y de los estudiantes, este autor distingue entre cuatro tipos de indagación: 1) *la confirmación de experiencias* previamente discutidas en el aula; 2) *la indagación estructurada*, en la que el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla; 3) *la indagación guiada*, en la que el docente proporciona la pregunta y los alumnos deciden cómo resolverla, y 4) *la indagación abierta*, en la que tanto la pregunta como su resolución parten de los estudiantes. En la experiencia descrita en este artículo, las indagaciones son de tipo guiada o dirigida, al ser el docente quien propone las preguntas a investigar y los alumnos quienes las resuelven. Ellos han de tomar todas las decisiones, desde qué hipótesis formular hasta cómo resolverlas. Con este trabajo esperamos contribuir al conocimiento acerca de cómo los estudiantes de 1º de Bachillerato realizan indagaciones en el aula de ciencias, y las dificultades que encuentran. Un aspecto, que como se ha comentado en la introducción, ha sido menos abordado por la investigación educativa.

Metodología

Participantes

La experiencia fue realizada durante el curso 2012-2013 por 14 alumnos 1º de bachillerato (16 y 17 años), que cursaban la modalidad científica en un instituto rural.

Puesta en práctica de la experiencia y secuenciación

Para elegir el tema a investigar se realizó una puesta en común en la clase donde se dio a elegir a los alumnos en qué temas, de los vistos durante el curso, querían profundizar. Entre todos seleccionaron dos relacionados con las funciones de los seres vivos, en concreto con la nutrición y la relación, y uno conectado con el estudio de los microorganismos. En base a estos, el profesor proporcionó las siguientes preguntas de investigación:

A la función de nutrición: ¿Cómo influye la alimentación en el adiestramiento y el metabolismo de un roedor?

A la función de relación: ¿Qué cantidad de anestesia es la más efectiva para que un pez alcance la fase de anestesia total?

A los microorganismos: ¿Qué zonas de un instituto son las que están más sucias?

Se decidió que fuera el profesor quien proporcionara las preguntas, dado que una de las principales dificultades del alumnado al realizar una indagación, es seleccionar una pregunta que pueda ser investigable (Furman, Barreto y Sanmartí, 2013). El resto del proceso, desde la formulación de las hipótesis hasta la comunicación de las conclusiones, fue realizado por los alumnos. La clase se dividió en tres pequeños grupos,

constituidos por cuatro o cinco estudiantes. Las preguntas se distribuyeron en función del interés de cada grupo.

Las investigaciones se realizaron entre los meses de mayo y junio, en un total de 25 sesiones. Para la búsqueda de información y el diseño de la investigación se destinaron 11 sesiones de 50 minutos, mientras que para la recogida, análisis de datos y obtención de conclusiones se destinaron diez minutos al inicio de las 14 sesiones restantes.

Respecto a la búsqueda de información, dado que era la primera vez que los alumnos trabajaban con buscadores específicos como Scholar Google y PubMed, la sesión se realizó de forma conjunta en el aula de informática y bajo la supervisión del profesor. Se consideró relevante hacerlo de esta forma para que el docente pudiera atender las dudas que iban surgiendo a los estudiantes. El resto de las sesiones se realizaron en los grupos de trabajo, bien en el aula habitual o bien en el laboratorio, en función de las necesidades de los estudiantes. La participación desde casa también fue posible gracias al trabajo con la aplicación online Diigo, en la que se ponen en común las páginas web consultadas.

Recogida de datos y construcción de herramienta de análisis

Al finalizar su investigación cada grupo debía comunicar los resultados de su indagación elaborando un informe con formato de artículo científico. Dicho informe debía incluir: resumen con palabras clave, introducción, metodología, resultados y conclusiones. Los datos recogidos fueron los informes escritos de los estudiantes y las observaciones realizadas por el docente durante la experiencia.

Pasos	Destrezas científicas
1. Razonamiento del problema	- Identificación del objetivo de investigación - Emisión de hipótesis
2. Recogida de información	- Búsqueda de información - Identificación y selección de información relevante
3. Identificación de variables	- Identificación de variables asociadas al problema
4. Planificación de la investigación	- Utilización de técnicas e instrumentos de laboratorio - Planificación del grupo control - Consideración del número de réplicas
5. Registro, procesamiento y análisis de datos	- Conocimiento de la precisión de un instrumento - Registro de datos - Construcción de gráficas y tablas - Interpretación de datos y reconocimiento de pautas
6. Obtención y comunicación de conclusiones	- Establecimiento de conclusiones en base a los resultados - Identificación y selección de pruebas para respaldar la conclusión alcanzada

Tabla 1.- Secuencia de implementación del proyecto y destrezas implicadas en cada uno de los pasos de sus investigaciones.

Para diseñar la herramienta de análisis fue necesario determinar qué pasos estaban implicados en una indagación escolar, y qué destrezas científicas se ponían en juego en cada uno (Tabla 1). Para ello, nos basamos en el trabajo de Ferrés et al. (2015), quienes proponen un instrumento de evaluación de la competencia de indagación, e introducimos dos modificaciones. La primera modificación, sustituir el paso identificación de problemas investigables por razonamiento del problema, dado que en este caso la pregunta era formulada por el profesor y los alumnos debían identificar el objetivo de investigación y emitir sus hipótesis.

La segunda modificación añadir la recogida de información como un paso necesario en una indagación escolar. Incluimos este paso dado que la búsqueda y selección de información se considera imprescindible en toda investigación científica, ya que permite conocer el estado de la cuestión del fenómeno a investigar, y la metodología empleada en trabajos anteriores.

Para identificar el grado de adquisición de las destrezas científicas, utilizamos de nuevo el trabajo de Ferrés et al. (2015). Estas autoras identifican una secuencia de graduación ascendente en cada una de las destrezas científicas implicadas en una indagación, distinguiendo entre cuatro niveles de adquisición. Por ejemplo, en el paso *identificación de variables*, señalan como nivel inferior, o cero, aquel en que los alumnos no consideran las variables en el diseño experimental; y como nivel superior, o cuatro, aquel en que identifican y definen las variables en base al objetivo a investigar. Dado que en nuestro estudio no hay ningún grupo que se sitúe en el nivel cero, en la Tabla 2 se distingue entre tres niveles de adquisición en lugar de los cuatro propuestos por Ferrés et al. (2015).

Resultados

En este apartado se distinguen dos secciones, en la primera se detalla el desempeño de los estudiantes en el paso de *recogida de información*. En la segunda, se abordan los pasos de razonamiento del problema, identificación de variables, planificación de la investigación, registro y análisis de datos, y obtención de conclusiones de cada una de las indagaciones.

Desempeño de los estudiantes durante la recogida de Información

Una vez asignadas las preguntas de investigación, a cada grupo se le dio la libertad para realizar su propia búsqueda de información. Se observó que llevaban a cabo una búsqueda aleatoria, sin haber discutido previamente posibles criterios de selección o haber considerado la fiabilidad de las fuentes seleccionadas.

En cuanto a los criterios, los alumnos introducían la pregunta entera, por ejemplo ¿Cómo podemos medir la inteligencia de los ratones? o ¿Qué sitios son los más sucios de un instituto? Con lo que obtenían una información muy general, y por tanto no les era de utilidad. La mayor limitación que encontraron fue que no eran capaces de identificar qué palabra clave debían seleccionar para realizar una búsqueda efectiva de la información.

En relación a la fiabilidad de las fuentes, lo más común fue que todas las referencias que utilizaban fueran de artículos en español. La mayoría de ellas procedentes de blogs y páginas web de particulares o de foros especializados. A pesar de haberse dado instrucciones acerca de la

utilización de bases de datos específicas para las temáticas tratadas, ningún alumno recurrió a ellas en su primera búsqueda.

Pasos	Categorías-niveles de adquisición
- Razonamiento del problema	-1 Identifican objetivo de la investigación, pero no plantean hipótesis relacionadas con el problema -2 Identifican objetivo de la investigación, pero plantean hipótesis ambiguas o con errores -3 Identifican objetivo de la investigación y plantean hipótesis que encajan con el problema a investigar
- Recogida de información	-1 Realizan una búsqueda de información aleatoria, sin considerar criterios de selección ni fiabilidad de las fuentes -2 Realizan una búsqueda de información considerando tanto criterios como fiabilidad de la fuente -3 Realizan una búsqueda de información adecuada e identifican y seleccionan la información relevante
- Identificación de variables asociadas al problema	-1 Confunden variable dependiente y variable independiente -2 Identifican las variables, pero de forma imprecisa -3 Identifican y definen apropiadamente ambas variables
- Planificación de la investigación	-1 Seleccionan técnicas e instrumentos de medida que no permiten comprobar las hipótesis iniciales -2 Seleccionan técnicas e instrumentos adecuados, pero no considera ni la realización de controles ni de réplicas -3 Selecciona las técnicas e instrumentos adecuados y consideran tanto las réplicas como la muestra control
- Registro, procesamiento y análisis de datos	-1 Registran datos de forma incompleta, falta de precisión y problemas en el uso de los instrumentos. Tratamiento de datos incompleto, gráficos y tablas sin títulos -2 Registran datos con errores o imprecisiones y no establecen relación entre los datos y las hipótesis. Tratamiento de datos y confección de gráficos y tablas adecuadas. Dificultades o errores en la interpretación de los datos -3 Registran datos metódicamente y utilizan los instrumentos de forma adecuada. Buen tratamiento e interpretación de los datos, establecimiento de pautas y uso de gráficos y tablas
- Obtención y comunicación de conclusiones	-1 Establecen conclusiones, pero no las apoyan con los resultados obtenidos -2 Establecen conclusiones muy similares a los resultados, no hay reelaboración -3 Establecen conclusiones en base a los datos obtenidos, identificando y seleccionando los más adecuados

Tabla 2.- Niveles de adquisición de las destrezas implicadas en una indagación.

En base a las observaciones realizadas, consideramos que el nivel de adquisición de las destrezas de búsqueda y selección de información es bajo, ya que ninguno de los estudiantes fue capaz de: identificar qué información podría ser relevante en función de la pregunta a investigar;

fijar unos criterios de selección; o reconocer qué características debía de tener una fuente para considerarla fiable.

Tras finalizar la sesión, el profesor, junto con los alumnos, estableció una serie de criterios comunes acerca de qué informaciones podrían considerarse fiables. Entre los criterios escogidos destacan que la revista de donde se obtenía la información perteneciera a un área de conocimiento relacionada con su pregunta a investigar, y que los datos que se presentaban en los artículos se encontraran contrastados con otras investigaciones. También se discutió qué palabras podrían ayudarles para acotar su búsqueda en función del objetivo a investigar. Por último, se realizó una nueva búsqueda y se creó una cuenta en la aplicación *Diigo* para poner en común las referencias.

En esta segunda búsqueda los alumnos fueron capaces de localizar información relacionada con la planificación de cada uno de sus experimentos. Por ejemplo, el grupo de la influencia de la alimentación en el adiestramiento y el metabolismo de los roedores encontró información acerca de cómo medir el gasto metabólico de los roedores. Incluso pudo especificar el programa que utilizaría para ello. El grupo que tenía que averiguar qué zonas del instituto estaban más sucias identificó los tipos de microorganismos que eran más comunes en un centro escolar. Por último, el de la anestesia de los peces utilizó la información para relacionar las distintas fases de la anestesia con las características observables que presentaban los peces en cada una de ellas. También encontró información relacionada con los tipos de anestésico que se utilizaban y cómo se administraban.

Desempeño de los estudiantes desde el razonamiento del problema hasta la obtención de conclusiones

En esta sección se describe el desempeño de los estudiantes desde el razonamiento del problema, hasta la obtención de conclusiones, estableciendo para cada una de las indagaciones la misma estructura: 1) se presenta la pregunta a investigar; 2) se describe qué hicieron los grupos de trabajo en cada uno de los pasos, y las dificultades que encontraron; y por último 3) se presenta una tabla resumen en la que se muestra el grado de adquisición alcanzado en las distintas destrezas científicas puesta en práctica.

¿Cómo influye la alimentación en el adiestramiento y el metabolismo de un roedor?

En esta propuesta los estudiantes tuvieron que examinar cómo la dieta de dos tipos de roedores afectaba a su metabolismo y a su adiestramiento. En primer lugar, debían de identificar el objetivo del problema, así como posibles hipótesis que encajaran con este. Sin embargo, como muestra un fragmento del informe presentado, a pesar de que fueron capaces de identificar el objetivo, no llegaron a establecer hipótesis concretas: *"el proyecto consiste en investigar como la alimentación de dos tipos de roedores; ratón común (Mus musculus) y hámster ruso (Phodopus sugorus), afecta al metabolismo y al aprendizaje en cuanto a la obtención de comida"*. Por tanto, solo alcanzaron el nivel de adquisición inferior.

En cuanto a las variables a estudiar, fueron capaces de identificar y describir con precisión tanto las variables independientes como las dependientes, lo que les sitúa en un nivel de adquisición alto respecto a esta destreza científica. En relación a variables independientes, la primera escogida fue la especie de roedor. Los alumnos eligieron dos especies que consideraron fáciles de adquirir, el ratón común y el hámster. La segunda la alimentación, estableciendo los tipos de dietas que se les debía administrar a los roedores: *"El propósito será comprobar cómo afecta las dietas a la fisiología". Una de ellas se basó en bollería industrial rica en ácidos grasos saturados y con carencia en vitaminas, y la otra en una dieta basada en cereales y alimentos frescos*". Como variables dependientes seleccionaron el gasto metabólico y el tiempo en recorrer un laberinto. El gasto metabólico establecieron medirlo en función del tipo de alimento suministrado, y el tiempo que tardaron los roedores en recorrer el laberinto en función del tipo de estímulo que se les administraba.

En relación a la planificación de la investigación, los alumnos fueron capaces de seleccionar técnicas e instrumentos de medida adecuados para medir el tiempo empleado para recorrer el laberinto (cronómetro) y el peso de los roedores (báscula), pero encontraron dificultades para decidir cómo medir la tasa metabólica. Recurrieron a la información recogida durante su búsqueda, encontrando que una opción era considerar la cantidad de CO₂ espirado. Para medirlo se recurrió a un sensor de CO₂ comercial, ya que permitía recoger la información en forma de gráficas.

En cuanto al adiestramiento de los roedores, los alumnos decidieron construir un laberinto y se encargaron de su diseño y su fabricación. La elección de cómo instruir al animal para realizar el recorrido sí que fue objeto de debate. Para ello recurriendo de nuevo a la información consultada, optando por el método de estímulos, que consistía en depositar en la meta alimento del gusto del roedor como recompensa (Sonntag y Zawikowski, 2004).

En el registro de datos, un punto crucial es la toma de decisiones sobre qué número de medidas tomar. Dado que solo se disponía de 14 días para realizar el experimento, optaron por realizar un registro diario al comenzar la clase. Sin embargo, no tuvieron en cuenta ni la necesidad de realizar posibles pruebas control, ni el número de réplicas, ni la precisión de los instrumentos de medida, lo que limitó la toma de los mismos.

En cuanto a la primera variable a estudiar, el consumo metabólico en función del tipo de dieta suministrada. El programa asociado al sensor (Logger Lite 1.6.1) representaba gráficamente los datos de consumo de CO₂ en función del tiempo. Posteriormente, los alumnos debían de interpretar a partir de las gráficas suministradas cómo variaba la cantidad de CO₂ espirado en función del tipo de dieta administrada. Sin embargo, en lugar de establecer una relación entre estas variables, lo hicieron entre el peso de los organismos y su consumo, relación que no era objeto de su investigación, *"entre especies la diferencia [mayor consumo metabólico del hámster que del ratón] radica en el peso ya que el hámster al tener más masa también consume más rápido el O"*.

En cuanto a la segunda variable, el tiempo de recorrido del laberinto en función del estímulo administrado, los alumnos decidieron descartar el uso

de los ratones debido a que ninguno acababa el laberinto, y lo justificaron de la siguiente forma *"En cuanto al experimento del laberinto, los resultados obtenidos no son fiables ya que los ratones (Mus musculus), no reaccionaban a la recompensa vagando sin rumbo día tras día"*. En el hámster sin embargo observaron que al cabo de los días disminuía el tiempo del recorrido, pero no relacionaron esta disminución con los estímulos proporcionados. En su lugar, lo conectaron con el estrés sufrido por el animal, variable no considerada en el diseño inicial *"En el hámster sí se observó aprendizaje al ir disminuyendo los tiempos en completar el recorrido completo. En los días centrales del experimento es cuando más rápido alcanzó meta, posiblemente porque coincidía cuando menos estresado estuvo con el ir y venir de alumnos"*.

En base a lo anterior, podemos considerar que, aunque los alumnos realizaron una recogida de datos sistemática, incluso elaboraron tablas de forma adecuada, tuvieron dificultades para interpretarlas. Esto les sitúa en un nivel intermedio respecto a la adquisición de estas destrezas.

El último paso de su indagación, la obtención y comunicación de conclusiones, fue el que supuso mayores dificultades al alumnado, al no establecer relaciones entre la conclusión y los resultados obtenidos: *"Se ha demostrado que una mala dieta con déficit de vitaminas influye en el buen funcionamiento del cuerpo, acarreando consecuencias que pueden acabar con la vida del ratón"*, o al considerar otras variables que no se habían tenido en cuenta en la planificación de la investigación *"el estrés por ruidos, movimientos, y otros estímulos visuales como alumnos entrando y saliendo, afecta a la ejecución del recorrido por el laberinto"*. A pesar de ello, fueron capaces de reconocer algunas limitaciones de su estudio, llegando a realizar propuestas de mejora concretas: *"No se han extraído datos fiables en ratones ya que no respondían a estímulos para completar el laberinto planteado. Sería necesario más tiempo para hacer que lo memorizaran, y otro método, ya que el estímulo de la comida no ha servido"*.

Este es el grupo que más dificultades ha tenido en la etapa de razonamiento del problema. Los alumnos han sido capaces de identificar el objetivo de investigación, pero no de plantear hipótesis relacionadas con el mismo, y aunque llevan a cabo una planificación de la investigación, han tenido problemas para establecer sus conclusiones. Esto podría relacionarse con que, al no tener hipótesis de partida claras, no han podido contrastar e interpretar los resultados de forma adecuada. Esto, les ha podido llevar a establecer conclusiones que no estaban apoyadas en los datos obtenidos en su estudio.

En la Tabla 3 se resume el nivel de adquisición adquirido por los estudiantes de este grupo en las destrezas implicadas en la resolución de esta investigación.

¿Qué zonas de un instituto son las que están más sucias?

Para resolver esta investigación los alumnos debían de analizar en qué zonas del instituto era mayor la presencia de microorganismo, y qué tipos se podían encontrar. Este grupo reconoció el objetivo a investigar sin ninguna dificultad, como muestra el fragmento de su informe final, *"se quiere poner de manifiesto los tipos y cantidad de bacterias y hongos"*

existentes en un instituto de secundaria". Además, también planteó una hipótesis acorde al objetivo propuesto "las zonas más expuestas al contacto por personas serán más ricas en número y tipo de microorganismos". Por todo ello respecto al razonamiento del problema estos alumnos se encontrarían en el mayor nivel de adquisición.

Pasos	Categorías-niveles de adquisición
- Razonamiento del problema	-1 Identifican objetivo de la investigación, pero no plantean hipótesis relacionadas con el problema
- Identificación de variables asociadas al problema	-3 Identifican y definen apropiadamente ambas variables.
- Planificación de la investigación	-2 Seleccionan técnicas e instrumentos adecuados, pero no considera ni la realización de controles ni de réplicas
- Registro, procesamiento y análisis de datos	- 2 Registran datos con errores o imprecisiones y no establecen relación entre los datos y las hipótesis. Tratamiento de datos y confección de gráficas y tablas adecuadas. Dificultades o errores en la interpretación de los datos.
- Obtención y comunicación de conclusiones	-1 Establecen conclusiones pero no las apoyan con los resultados obtenidos

Tabla 3.- Niveles de adquisición de las destrezas implicadas en la indagación de los roedores.

Una vez formulada la hipótesis, identificaron tanto las variables independientes como las dependientes. Como independientes reconocieron el lugar de recogida de muestras y la temperatura a la que debían de mantener los cultivos, así como su tiempo de incubación. Como variables dependientes, la existencia o no de crecimiento de colonias y su tamaño. También tuvieron en cuenta el tipo de bacterias y de hongos que aparecían en los cultivos.

Para seleccionar los lugares donde debían recoger las muestras, se basaron en dos criterios, qué estuvieran en contacto continuo con personas, y que hubiera suciedad: "Las muestras se tomaron en lugares que pudieran haber estado en contacto continuo con la gente, como por ejemplo pomos de puertas (...) y también aquellos que pudieran presentar una gran concentración de suciedad como puede ser suelo por el pisoteo del alumnado". En base a estos dos criterios, los lugares seleccionados fueron: a) teclado de un ordenador; b) interruptor de la luz del laboratorio; y c) suelo del recibidor.

Para la temperatura, establecieron mantener los cultivos a unos 37°C, apartando la siguiente justificación "que simulará la temperatura corporal y permitirá un crecimiento óptimo de los microorganismos buscados". Respecto al tiempo de incubación decidieron que fuera entre 24-48h, ya que si se excedía ese tiempo existía riesgo de contaminación y deshidratación. Ambas situaciones se dieron durante el desarrollo de la investigación. Ser

capaz de identificar y describir las variables en función de la hipótesis planteada indica el mayor grado de adquisición de las destrezas implicadas en este paso de la indagación.

En cuanto a la planificación de la investigación, dada la concreción de las variables a investigar, no encontraron dificultades para decidir las técnicas e instrumentos a utilizar. Reconocieron la importancia de considerar el medio del cultivo que iban a utilizar, pero tuvieron problemas para determinar cuál sería el más adecuado para cada organismo. Por ello, en este paso se hizo imprescindible la ayuda del profesor, quien les presentó los tipos de medios y sus características. Tras ello, los estudiantes decidieron qué medios utilizar en base a las exigencias metabólicas de los microorganismos. El medio PC fue preparado por los alumnos. El resto, placas Rodac de manitol, saburo + cloranfenicol y McKonkey, fue suministrado por la Universidad de Zaragoza.

Dado que al inicio de la investigación se habían planteado identificar los tipos de microorganismos presentes en los cultivos, también realizaron distintas técnicas de tinción. Decidir el tipo de tinción adecuada para cada microorganismo permitió trabajar conceptos como los tipos de moléculas que se pueden encontrar en una célula y su clasificación. Tanto el montaje como la preparación de la muestra fueron realizados por los alumnos.

A pesar de que un paso imprescindible en el diseño de una investigación es la consideración de una muestra patrón y del número de réplicas a realizar, ni durante el desarrollo de la investigación ni en su informe escrito hicieron referencia a estos puntos. En base a estos resultados podemos considerar que estos alumnos alcanzan un nivel de adquisición medio respecto a la planificación de la investigación.

Además, en esta indagación se presenta un aspecto no considerado en la tabla 1 como es la necesidad de mantener los espacios esterilizados, en especial cuando se trabaja con muestras orgánicas. El profesor planteó qué condiciones se tendrían que dar para asegurar que el medio no se contaminara. Los alumnos decidieron limpiar con lejía las superficies y pasar un trapo con alcohol de 96°, previamente a la manipulación. La esterilización de las placas se hizo manteniéndolas en una olla en ebullición durante 5 minutos. A pesar de estas medidas, la mitad de las placas se contaminaron, lo que reflejó las dificultades de trabajar en condiciones de esterilidad.

Respecto al registro de datos, este se realizó por medio de una tabla donde se hacía referencia al lugar de la muestra y al crecimiento y número de colonias. Esta recogida se caracterizó por su imprecisión, debido principalmente a dos factores: a) no se recogieron muestras de todos los espacios señalados en la tabla; y b) la mitad de las placas se contaminaron, con lo que se descartaron. Además, debido al gran crecimiento de algunas de las colonias, los alumnos tuvieron dificultades para cuantificarlas.

Los errores en el registro de datos influyeron a su vez en su análisis, limitando el mismo. En el informe solo se presentaron las fotografías de las distintas colonias y la tabla de datos incompleta. No existió ningún tipo de reelaboración de los datos presentados, ni de identificación de pautas en los mismos. Por lo que consideramos que, en cuanto a recogida, procesamiento

y análisis de datos, estos alumnos se encontrarían en el nivel inferior de adquisición.

En el último paso, obtención y comunicación de conclusiones, los alumnos presentaron dos conclusiones. Ambas contrastaban la hipótesis inicial con los resultados obtenidos, aunque de forma general, como se muestra en su informe: "Se esperaba que el interruptor y los pomos estuvieran muy sucios, sin embargo, el experimento reveló que las muestras más contaminadas eran las tomadas en la cara, el grifo y (...) el suelo" o "la placa que más variedad de colonias presentó fue la placa del medio PC con muestras de suelo (...) cumpliéndose así nuestra hipótesis de partida". A pesar de haber tenido en cuenta tanto el tipo de colonia, como su tamaño y número, estos datos no son utilizados para justificar sus conclusiones. Lo que les sitúa en el nivel inferior de adquisición en las destrezas implicadas en la obtención y comunicación de conclusiones.

Pasos	Categorías
- Razonamiento del problema	-3 Identifican objetivo de la investigación y plantean hipótesis que encajan con el problema a investigar
- Identificación de variables asociadas al problema	-3 Identifican y definen apropiadamente ambas variables.
- Planificación de la investigación	- 2 Seleccionan técnicas e instrumentos adecuados, pero no considera ni la realización de controles ni de réplicas
- Registro, procesamiento y análisis de datos	-1 Registro de datos de forma incompleta, falta de precisión y problemas en el uso de instrumentos. Tratamiento de datos incompleto, gráficos y tablas sin títulos.
- Obtención y comunicación de conclusiones	-1 Establecen conclusiones pero nos las apoyan con los resultados obtenidos

Tabla 4.- Niveles de adquisición de las destrezas implicadas en la indagación de los microorganismos.

En la tabla 4, se resume el grado de adquisición alcanzado por este grupo para las distintas destrezas en función de su desempeño a lo largo de su investigación. Es de destacar la dificultad encontrada por estos alumnos en el registro y tratamiento de información, siendo superior a las de los otros dos grupos. Esto es debido a una falta de planificación en el diseño de la investigación, que a su vez podría relacionarse con el conocimiento que este alumnado posee acerca de los microorganismos, en concreto acerca de su crecimiento y de las técnicas utilizadas para medirlo. La influencia que ha podido tener el contenido científico que se maneja en cada una de las investigaciones en el desempeño de los alumnos se discute en el apartado de implicaciones.

¿Qué cantidad de anestesia es la más efectiva para que un pez alcance la fase de anestesia total?

En esta última investigación el interés se centró en estimar la cantidad de anestésico más efectiva para que la carpa común (*Carassius auratus auratus*) alcanzara la fase de anestesia total en el menor tiempo posible. Al igual que en el grupo anterior, los alumnos reconocieron el objetivo a investigar y plantearon una hipótesis inicial. En concreto, fueron capaces de precisar que cantidad de anestesia sería la adecuada para esta especie "Según los trabajos previo al respecto [anestesia de peces] se debería obtener una completa anestesia entre los 30-50 Partes por millón tal y como indica el trabajo de Grzegorz et al. (2006)". Por tanto se encontrarían en un nivel alto de adquisición en las destrezas implicadas en el razonamiento del problema.

En cuanto a la definición de variables, tras la búsqueda de información, encontraron que los factores que podían influir en la acción del anestésico eran la temperatura del medio, el peso del pez y la exposición al agente anestésico. En base a esta información, consideraron que las variables que mantendrían constantes serían: a) la temperatura del agua; b) el pH del agua; c) la especie de pez (carpas doradas); y d) las concentraciones de aceite de clavo, decidiendo utilizar concentraciones de 10, 40, 60 y 90 ppm. Como variables dependientes consideraron: i) el tiempo que las carpas cambiaban de una fase de anestesia a otra en relación a la concentración de anestésico; y ii) el tiempo de recuperación.

En su diseño decidieron el número de carpas a utilizar, estableciendo que serían cuatro. Eligieron ese número ya que planificaron someter a cada una de ellas a una concentración de anestésico diferente. Tras esto consideraron la forma más efectiva de administrar la anestesia a los peces, decidiendo sumergirlo en dos peceras de seis litros. De las dos peceras, una se mantenía solo con agua, que sería la utilizada para la recuperación del animal, y a la otra se le añadía el anestésico. Para controlar la temperatura y el pH del agua se recurrió a un termómetro y un pH metro respectivamente, y para el tiempo a un cronómetro.

Una vez decididos los instrumentos a utilizar, describieron cómo llevarían a cabo el procedimiento. En primer lugar, sumergirían los peces en el tanque con anestesia, con una concentración distinta cada vez, y en segundo, anotarían el tiempo en que alcanzaban cada una de las fases de la anestesia. Para identificar estas fases, los alumnos consideraron que la mejor forma sería observando las diferencias en su comportamiento. Tras leer varios artículos decidieron identificar la entrada en las distintas fases de manera cualitativa, atendiendo a:

Fase I: pérdida de equilibrio

Fase II: pérdida de movimiento corporal.

Fase III: caída al fondo sin ningún movimiento y ritmo opercular lento.

Fase IV: pérdida total del tono muscular sin operculación.

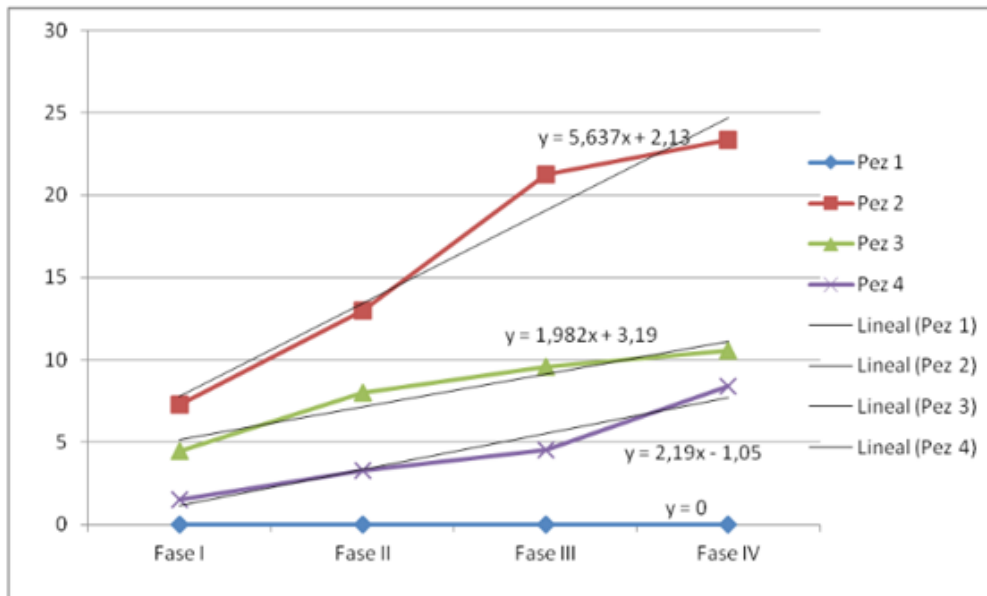
De nuevo, aunque fueron capaces de seleccionar las técnicas e instrumentos de medidas que respondían a su objetivo de investigación, no tuvieron en cuenta ni el uso de muestras control, ni el número de réplicas que debían de realizar para considerar fiable el resultado obtenido.

En cuanto al registro de datos, este se realizó de forma sistémica. Cada vez que se sumergían los peces se tomaban datos tanto del momento que alcanzaban cada una de las fases de anestesia, como del tiempo que tardaban en recuperarse. Después de una primera toma de datos, se dieron cuenta de que no habían considerado un aspecto importante en el diseño como era el peso de las carpas. Tras pesar cada una de ellas, encontraron que tenían un peso distinto, y reconocieron que la masa podía influir en el tiempo que tardaba en hacer efecto la anestesia. Por ello, decidieron someter a todos los peces a la misma concentración de anestesia 90 ppm.

Recogieron los resultados obtenidos en una tabla que presentaron al profesor en su informe escrito, pero no establecieron ninguna pauta en ellos. Si lo hubieran hecho, hubieran reconocido que uno de los datos no presentaba el mismo patrón que el resto. La tabla mostraba claramente como a medida que se utilizaban carpas con un peso inferior, el tiempo que tardaba en hacer efecto la anestesia también disminuía. Esta pauta se cumplía en tres de las cuatro muestras, no ocurría así en una de ellas que a pesar que era la segunda en masa, alcanzaba las fases III y IV antes que la de menor masa. No podemos afirmar, dado que no se realizaron entrevistas a los estudiantes, si estos no reconocieron la pauta o si la observaron pero la ignoraron ya que no encajaba con el patrón general. Para próximas implementaciones sería necesario realizar entrevistas en los casos en que se dieran este tipo de situaciones, ya que los alumnos tienen distintas respuestas a los datos conflictivos o anómalos, destacando las que ignoran los datos que no encajan con sus teorías (Chinn y Brewer, 1993).

Tanto las tablas como las gráficas construidas por los alumnos fueron elaboradas de forma adecuada (Figura 1). En todas ellas se relacionaba el tiempo con las fases de anestesia por las que atravesaban los peces. Lo que no aparece es ninguna interpretación de los datos, ni ninguna relación entre estos y las hipótesis planteadas. Esta observación nos lleva a considerar que, si bien los alumnos no tienen dificultades para construir este tipo de representaciones, sí que presentan limitaciones en su interpretación, punto que se aborda en detalle en el apartado de implicaciones. Estos problemas situarían a este grupo en un nivel medio de adquisición de las destrezas propias de este paso de la indagación.

En la obtención y comunicación de conclusiones se muestran las dificultades que estos alumnos tienen para distinguir entre resultados y conclusiones. Mientras que en el apartado de resultados solo aparecían las gráficas y las tablas (Figura 1), en el de conclusiones aparecen referencias a los resultados: *"En la tabla 1 se observa que en la línea de tendencia que presenta el pez 2 está muy por encima de la media, esto puede ser debido a que este pez es el que menos pesa."*. Aunque son capaces de identificar una pauta en los datos, no la utilizan para establecer ninguna conclusión en relación a la cantidad de anestesia necesaria para alcanzar la fase IV en el menor tiempo posible. En el resto de conclusiones se observa un comportamiento similar *"el pez número 1 no alcanzó las fases de anestesia al resultar 10 ppm poca cantidad para producir algún efecto"*.



	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Tiempo de recuperación
Pez 1	2,06	3,3	7,3	9,55	16
Pez 2	2,06	3,3	4	6,54	12,5
Pez 3	2,06	3,3	4	5,15	20,6
Pez 4	2,06	3,3	6,54	8,24	15,06

Figura 1.- Ejemplo de gráfica y tabla realizadas por este grupo de estudiantes.

Pasos	Categorías
- Razonamiento del problema	-3 Identifican objetivo de la investigación y plantean hipótesis que encajan con el problema a investigar
- Identificación de variables asociadas al problema	-3 Identifican y definen apropiadamente ambas variables.
- Planificación de la investigación	-2 Seleccionan técnicas e instrumentos adecuados, pero no considera ni la realización de controles ni de réplicas.
- Registro, procesamiento y análisis de datos	-2 Registran datos con errores e imprecisiones y no establecen relación entre los datos y las hipótesis. Tratamiento de datos y confección de gráficas y tablas adecuadas. Dificultades o errores en la interpretación de los datos.
- Obtención y comunicación de conclusiones	- 2 Establecen conclusiones muy similares a los resultados, no hay ninguna reelaboración de los mismos

Tabla 5.- Niveles de adquisición de las destrezas implicadas en la indagación de los peces.

En resumen (tabla 5) encontramos que estos estudiantes han sido capaces de identificar adecuadamente el objetivo de investigación, así como de plantear las hipótesis a investigar y las variables a medir. Sin embargo, han encontrado problemas al planificar la investigación, ya que no han considerado ni el uso de una muestra patrón, ni el número de repeticiones que deberían realizar para que su estudio tenga la fiabilidad suficiente. Una dificultad también detectada en los grupos anteriores. En el registro e interpretación de datos han tenido problemas al relacionar los datos con las hipótesis, lo que les ha llevado a que en las conclusiones simplemente citaran los resultados obtenidos.

Conclusiones

En este artículo se ha descrito una experiencia llevada a cabo en 1º de Bachillerato cuya finalidad era promover el desarrollo de las destrezas científicas mediante la realización de actividades de indagación. Una vez discutido el desempeño de los estudiantes en las indagaciones realizadas, y considerado el nivel de adquisición alcanzado, encontramos que estos han sido capaces de: 1) reconocer el objetivo a investigar, incluso dos de los tres grupos fueron capaces de establecer las hipótesis de partida de forma correcta; 2) identificar y describir las variables dependientes e independientes en base a su objetivo; 3) seleccionar las técnicas e instrumentos adecuados para comprobar las hipótesis iniciales. En concreto, en relación a la identificación y descripción de variables es de destacar que a diferencia de otros estudios que mostraban que los alumnos tenían dificultades para definir e identificar apropiadamente las variables dependientes e independientes (D'Costa y Schlueter, 2013), en este trabajo los alumnos alcanzan el máximo nivel de adquisición en estas destrezas.

Las principales dificultades se han encontrado en el registro e interpretación de datos y en la obtención de conclusiones en base a los resultados obtenidos. En concreto, encontramos que aunque los estudiantes eran capaces de construir las tablas y las gráficas en base a los datos obtenidos, presentaban dificultades para interpretarlos, y para utilizarlos en la justificación de sus conclusiones. Esto llevo a que, en el caso de los roedores y los microorganismos, propusieran conclusiones no justificadas en base a sus resultados, y en el grupo de los peces a que citaran los resultados pero no los conectaran con ningún tipo de conclusión.

Por último, también quedan patente los problemas que presentan los estudiantes en la búsqueda y selección de información, un paso que no se había tenido en cuenta en estudios como el de Ferrés et al. (2015). Por ello, sugerimos la necesidad de incluirlo como un paso previo en cualquier indagación escolar, ya que la capacidad de los estudiantes para identificar las palabras clave o para determinar la fiabilidad de un tipo concreto de fuente es muy limitada, lo que hace necesario dedicar tiempo en el aula a este proceso.

Implicaciones educativas

En este apartado se discuten las limitaciones encontradas al implementar la propuesta, en relación a dos factores concretos: la distribución del tiempo

y la posible influencia del conocimiento científico en el desempeño de los estudiantes, y se señalan algunas implicaciones educativas.

Acerca de la distribución del tiempo, dado que era la primera vez que se realizaba este tipo de trabajos, quizá hubiera sido necesario haber dedicado un mayor número de sesiones al diseño del experimento. Estudios como el de Crujeiras (2014) han mostrado que dedicar un tiempo considerable a la planificación de la experimentación, permite a los estudiantes realizar un mayor número de prácticas epistémicas y mejorar en sus resultados experimentales. En próximas implementaciones se podría dedicar una sesión a que cada grupo elaborara su diseño experimental y otra a que fuera presentado y discutido con el resto de los grupos, abordando de forma explícita aspectos tan importantes como la fiabilidad y replicabilidad de las muestras.

En relación a la posible influencia del contenido científico, el conocimiento que tengan los estudiantes acerca del fenómeno a estudiar determina cómo realizan la investigación. Por ello, en el futuro nos planteamos incorporar la coordinación entre el conocimiento conceptual y las pruebas empíricas como otra de las destrezas a valorar. Consideramos, en base a los resultados obtenidos, que es necesario tratar de forma explícita cómo las investigaciones siempre se enmarcan dentro de un marco teórico y de qué forma este marco determina tanto el objetivo a investigar como la interpretación de los datos (Kelly, 2011). Para favorecer este tipo de reflexiones, una propuesta sería realizar la misma indagación en los distintos grupos de clase, y considerar como el conocimiento sobre lo que se está investigando lleva a cada grupo a plantear distintas hipótesis, realizar distintos diseños o interpretar los resultados de diferentes formas. Además, consideramos que para realizar actividades de indagación es necesaria la realización de tareas previas que permitan a los estudiantes adquirir las destrezas básicas necesarias para llevar a cabo una indagación. Por ejemplo, en el caso concreto de la elaboración e interpretación de gráficas sería importante dedicar al menos una o dos sesiones a trabajar ejemplos concretos de estos tipos de representaciones, discutiendo qué información proporcionan y su utilidad.

Distintas propuestas han aparecido en este sentido, entre ellas destacamos la de Fernández-López (2009), quien plantea preparar a los alumnos a lo largo de todo un año, dedicando cada trimestre a un aspecto específico de la indagación. Este autor propone comenzar con la identificación de variables, continuar con la recogida y análisis de datos, para al finalizar el curso realizar su propio proyecto de investigación. Nosotros coincidimos en su propuesta, a la que añadiríamos una nueva dimensión, la del metaconocimiento. Al igual Kelly (2014) creemos que para que los alumnos comprendan la importancia de los distintos procesos implicados en una indagación, deben promoverse ambientes donde se reflexione sobre cómo las decisiones tomadas condicionan tanto el diseño como la puesta en práctica de cada uno de los grupos. Lo que también contribuiría al aprendizaje sobre ciencia, un aspecto menos trabajado en las aulas (Fernández et al., 2002).

Agradecimientos

Al proyecto EDU2015-66643-C2-2-P financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y al Grupo de Investigación BEAGLE, perteneciente al Instituto de Investigación de Ciencias Ambientales (IUCA). A los alumnos y alumnas participantes en el estudio.

Referencias bibliográficas

Acevedo, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1, 1, 3-16.

Alake-Tuenter, E., Biemans, H. J. A., Tobi, H., Wals, A. E. J., Oosterherrt, I., y Mulder, M. (2012). Inquiry-Based Science Education Competencies of Primary School Teachers: A literature study and critical review of the American National Science Education Standards. *International Journal of Science Education*, 34, 17, 2609-2640.

Arnold, J. C., Kremer, K., y Mayer, J. (2014). Understanding Students' Experiments- What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 36, 16, 2719-2749.

Caamaño, A. (2012). La investigación escolar es la actividad que mejor integra el aprendizaje de los diferentes procedimientos científicos. En E. Pedrinaci (Coord.), *11 Idea Clave. El desarrollo de la competencia científica* (pp. 127-146). Barcelona: Graó.

Chinn, C. A., y Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1, 1-49.

Chen, C. T., y She, H. C. (2015). The effectiveness of scientific inquiry with/without integration of scientific reasoning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 1, 1-20.

Cuevas, P., Lee, O., Hart, J., y Deakort, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 3, 337-357.

Crujeiras, B. (2014). *Competencias e prácticas científicas no laboratorio de química: participación do alumnado de secundaria na indagación* (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela: A Coruña.

Crujeiras, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). *Desarrollo de la competencia a través de la planificación de investigaciones en el laboratorio de química*. Comunicación presentada en 26 Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Huelva.

D'Costa, A., y Schlueter, M. (2013). Scaffolded instruction improves student understanding of the scientific method and experimental design. *The American Biology Teacher*, 75, 18-28.

European Commission. (2007). *Science Education Now: A Renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussels: European Commission.

Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Capachuz, A., y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 477-488.

Fernández, L. (2009). Los proyectos de investigación del alumnado para la adquisición de las competencias básicas. *Aula de Innovación Educativa*, 186, 19-22.

Fernández, R., y Hueto, M. A. (2011). El currículo de Biología en el Bachillerato. En P. Cañal (Ed.), *Biología y Geología, Complementos de Formación Disciplinar* (pp. 167-182). Barcelona: Graó.

Ferrés, C., Marbá, A., y Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12, 1, 22-37.

Furman, M., Barreto, M. C. y Sanmartí, N. (2013), El proceso de aprender a plantear preguntas investigables. *Educació Química*, 14, 1-16.

Gil, D., y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 2, 155-163.

Grandy, R., y Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a conference. *Science & Education*, 16, 141-166.

Högström, P., Ottander, C. y Benckert, S. (2010). Lab work and learning in secondary school chemistry: the importance of teacher and student interaction. *Research in Science Education*, 40, 4, 505-523.

Kelly, G. J. (2011). Scientific literacy, discourse and epistemic practices. En C. Linder et al. (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 61-73). New York: Routledge.

Kelly, G. J. (2014). Inquiry teaching and learning: philosophical considerations. En M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1363-1380). Dordrecht: Springer.

Minner, D. D., Levy, A. J., y 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.

Nuffield Foundation (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London: The Nuffield Foundation.

Sonntag, C., y Zawikowski, E. (2004). The Effects of Caffeine on the Wheel Activity of House Mice (*Mus domesticus*). Recuperado de <http://depts.alverno.edu/nsmt/archive/ZawSonn.htm>.

Tortosa Moreno, M. (2013). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de las Ciencias*, 31, 1, 189-211.

Vílchez-González, J. M., y 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, 112-143.

Yeh, Y., Jen, T., y Hsu, Y. (2012). Major strands in scientific inquiry through cluster analysis of research abstracts. *International Journal of Science Education*, 34, 18, 2811-2842.