

Diseño y uso de herramientas para el análisis del desarrollo de la Competencia Científica en el contexto de una Secuencia de Enseñanza Aprendizaje en Educación Secundaria

Jorge Pozuelo Muñoz 

Dpto. Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza. Grupo BEAGLE (S27_23R) de referencia del Gobierno de Aragón, de investigación en didáctica de las ciencias experimentales, Instituto IUCA. España. jpozuelo@unizar.es

Esther Cascarosa Salillas 

Dpto. Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza. Grupo BEAGLE (S27_23R) de referencia del Gobierno de Aragón, de investigación en didáctica de las ciencias experimentales, Instituto IUCA. España. ecascano@unizar.es

[Recibido: 25 Abril 2023. Revisado: 17 Julio 2023. Aceptado: 22 Septiembre 2023]

Resumen: La competencia científica del alumnado de educación secundaria se evalúa cada tres años a través de las pruebas PISA. Los resultados de los últimos tres informes muestran carencias en dicha competencia, que debería desarrollarse en las aulas a través de una enseñanza de las ciencias, competencial y contextualizada. Sin embargo, todavía son pocos los/as docentes que orientan así su docencia, en muchos casos debido a la falta de conocimiento sobre cómo plantearla y, en otros muchos, a la falta de herramientas para evaluar el aprendizaje del alumnado a través de competencias. En esta investigación, hemos diseñado una secuencia de enseñanza aprendizaje específica, en la que se utiliza como instrumento vehicular una estación meteorológica, con el objetivo de desarrollar la competencia científica a través de indagación guiada. Para evaluar el desarrollo de dicha competencia, se han diseñado dos rúbricas *ad hoc*, que pueden ser de utilidad para otros docentes y/o investigadores. Se recogieron datos a través de grabaciones de audio y vídeo a lo largo de un curso académico. Los resultados se analizaron a través de las rúbricas diseñadas a tal efecto, y se concluyó que la secuencia diseñada facilita en gran medida el desarrollo de la competencia científica, concretamente favorece que el alumnado sea competente, por un lado, en la evaluación y diseño de investigaciones científicas y en la interpretación de pruebas y datos y, por otro lado, favorece la profundidad en su conocimiento procedimental y epistémico.

Palabras clave: Secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA); Competencia científica; Rúbrica; Estación meteorológica.

Design and use of tools for the analysis of the development of scientific competence in the context of a teaching-learning sequence in secondary education

Abstract: The scientific competence of secondary school students is evaluated every three years through the PISA tests. The results of the last three reports show deficiencies in this competence, which should be developed in the classroom through a competence-based and contextualized teaching of science. However, there are still few teachers who guide their teaching in this way, in many cases due to lack of knowledge on how to approach it and, in many others, due to the lack of tools to assess student learning through competencies. In this research, we have designed a specific teaching-learning sequence, in which a weather station is used as a vehicular instrument, with the aim of developing scientific competence through guided inquiry. To assess the development of said competence, two ad hoc rubrics have been designed, which may be useful for other teachers and/or researchers. Data was collected through audio and video recordings throughout an academic year. The results were analyzed through the rubrics designed for this purpose, and it was concluded that the designed sequence greatly facilitates the development of scientific competence, specifically favors the students to be competent, on the one hand, in the evaluation and design of scientific

investigations and in the interpretation of tests and data and, on the other hand, favors the depth of their procedural and epistemic knowledge.

Keywords: Teaching-learning sequence; Scientific competence; Rubric; Wather station

Para citar este artículo: Pozuelo Muñoz, J. y Cascarosa Salillas, E. (2023). Diseño y uso de herramientas para el análisis del desarrollo de la Competencia Científica en el contexto de una Secuencia de Enseñanza Aprendizaje en Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(2), 2301. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2301

Introducción

Una vez cada tres años, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) evalúa la competencia científica del alumnado de enseñanza secundaria, a través de pruebas cuyos resultados se recogen en los informes PISA. Estos resultados sirven para comparar el desarrollo de dicha competencia entre los/as estudiantes de los países miembros de la organización. Si nos fijamos en el ámbito de las Ciencias, España no es uno de los países que mejores resultados obtiene, de acuerdo a los últimos tres informes PISA publicados (OCDE, 2016, 2019 y 2022).

Buscando respuestas, los expertos coinciden en que se dan varias circunstancias que justifican estos resultados. Por un lado, la docencia en este país dista de basarse en el desarrollo de la competencia científica (Muñoz y Charro, 2023). Para que esto fuera así, la docencia debería anclarse en el desarrollo de secuencias de enseñanza aprendizaje contextualizadas (Caamaño, 2018) y que se basen en el desarrollo de prácticas científicas (Muñoz et al., 2020). Autores como Sanmartí e Hinojosa (2015) coinciden en que este tipo de metodología ayuda al desarrollo de la competencia científica en el aula, mediando directamente entre la motivación del alumnado y los conocimientos que se deben trabajar en el aula (Cascarosa-Salillas et al., 2021). Por otro lado, hay una falta de herramientas específicas que permitan la evaluación de esta competencia, lo que dificulta que los docentes integren este tipo de enseñanza en las aulas (Ferrés-Gurt et al., 2014; Osborne et al., 2016).

En este trabajo, se ha diseñado una secuencia de enseñanza aprendizaje con el objetivo principal de evaluar el desarrollo de la competencia científica, a través del análisis de tres sub-competencias y de los conocimientos puestos en juego, durante el desarrollo de la misma, que se basa en el uso de una estación meteorológica como contexto en el cual se implementa herramientas como las diseñadas para desarrollar y evaluar la competencia científica para trabajar las ciencias en el aula de educación secundaria. Para ello, se diseñó e implementó una secuencia de actividades específica, se diseñaron herramientas de evaluación del desarrollo de la competencia científica y con ellas se recogieron datos en el aula durante un curso académico. Todo ello con la finalidad de dar respuesta a la pregunta de investigación que guía este trabajo: ¿En qué medida es válida la secuencia de enseñanza aprendizaje diseñada para desarrollar la competencia científica en el alumnado?, que hemos planteado responder a través de dos objetivos parciales: Evaluar cómo favorece la secuencia de enseñanza-aprendizaje el desarrollo de las sub-competencias científicas y, valorar de qué forma la secuencia favorece el uso del conocimiento científico.

Marco teórico

Competencia Científica

Desde hace algunos años, el término *competencia científica* se usa de manera equivalente al término *alfabetización científica*, entendiendo que, una persona alfabetizada científicamente también es científicamente competente (Pedrinaci et al., 2012; Pedrinaci, 2013). Las bases de la alfabetización científica vienen estableciéndose desde la segunda mitad del siglo XX, cuando los expertos comenzaron a solicitar una educación en ciencias entre la población, que les permitiera desarrollarse plenamente en la sociedad (Romero-Ariza, 2017; Woods-McConney et al., 2014). Actualmente, y centrando el término en el contexto educativo, la OCDE (2016; 2019; 2022) requiere como objetivo fundamental el desarrollo de la competencia científica entre el alumnado. Varios autores indican que esta competencia científica debe desarrollarse en las propias aulas de ciencias, a través del desarrollo de los contenidos y procedimientos que marca el currículo escolar, haciendo uso de las prácticas científicas (indagación, argumentación y modelización) y teniendo en cuenta el contexto de aprendizaje del alumno (Chamizo e Izquierdo, 2005; García Carmona, 2020). Para evaluar esta competencia científica a nivel internacional, el Programme for International Student Assessment (OCDE, 2016; 2019; 2022) evalúa cada tres años los conocimientos y habilidades en materias de ciencia, lectura y matemáticas. En relación a la competencia científica, PISA evalúa si el alumnado es capaz de usar los valores y la información que posee y comprende la naturaleza del conocimiento científico (Rosales Ortega et al., 2020), así se premia la aplicación del conocimiento frente a la memorización (Gallardo-Gil et al., 2010). Para ello, una de las herramientas que utiliza el proyecto PISA es el uso de contextos en sus preguntas, de esta manera, se analiza la forma que tienen los estudiantes de aplicar conceptos a la vida diaria (OCDE, 2009).

La evaluación del desarrollo de la competencia científica, se puede llevar a cabo a través del análisis del desarrollo de tres sub-competencias (explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar experimentos y preguntas científicas e interpretar datos y pruebas científicas) que son consecuencia del desarrollo de conocimientos científicos (de contenido, procedimental y epistémico) (ver Figura 1).



Figura 1. Componentes de la competencia científica (Elaborado a partir de OCDE, 2016).

Sub-competencias científicas

A continuación definimos las tres sub-competencias, vinculándolas a trabajos de investigación publicados en los últimos años, de manera que se pueda recoger aquí una especie de base de datos donde se vinculen sub-competencias con investigaciones concretas y facilitar así al lector/a la búsqueda de información al respecto:

C1) Explicar fenómenos científicamente

Esta competencia hace referencia a la capacidad de reconocer, ofrecer y evaluar explicaciones para una cierta gama de fenómenos naturales y tecnológicos. Depende en gran medida del conocimiento de estas ideas o teorías, es decir, del conocimiento del contenido, sin embargo, también requiere una comprensión del camino recorrido para llegar a dicho conocimiento y los métodos utilizados (conocimiento procedimental) y un entendimiento del papel que juega el propio conocimiento en la justificación de dicho conocimiento (conocimiento epistemológico). Según PISA (OCDE, 2016; 2019; 2022), esta sub-competencia requiere de una serie de habilidades, que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Habilidades de la competencia científica de *explicar fenómenos* (extraída de OCDE, 2016).

Explicar fenómenos científicamente
Reconocer, ofrecer y evaluar explicaciones para una gama de fenómenos naturales y tecnológicos que demuestran la capacidad de:
<ul style="list-style-type: none"> • Recordar y aplicar el conocimiento científico adecuado. • Identificar, utilizar y generar modelos explicativos y representaciones. • Hacer y justificar predicciones adecuadas. • Ofrecer hipótesis explicativas. • Explicar las implicaciones potenciales de conocimiento científico para la sociedad.

Varios trabajos actuales recogen investigaciones sobre el desarrollo de la explicación de fenómenos científicamente. Blanco y Díaz (2017) analizan el nivel de desempeño de dicha sub-competencia a lo largo de una actividad de modelización en el aula en torno a un proceso de sedimentación. Para ello, utilizan la rúbrica usada en la prueba PISA (OCDE, 2008) y concluyen que, a pesar de que el análisis del desempeño a través de rúbrica “ayuda a comprender el grado de competencia de los estudiantes”, la rúbrica utilizada por PISA no es suficiente para evaluarla debido a que está muy orientada hacia respuestas “tipo test” y no favorece el análisis de explicaciones de los estudiantes.

Por otro lado, Blanco y Lupión (2015) desarrollan una propuesta de nueve unidades didácticas para trabajar la competencia científica en relación a temas de consumo, salud o medioambiente.

C2) Evaluar y diseñar la investigación científica

Para alcanzar esta competencia el alumnado debe ser capaz de describir y evaluar investigaciones científicas y proponer formas de abordar ciertas cuestiones de forma científica. Según PISA (OCDE, 2016; 2019, 2022), esta competencia requiere más que un conocimiento del contenido de la ciencia, una comprensión de la forma en la que se establece el conocimiento científico y el grado de confianza de este, es decir, un conocimiento procedimental y epistémico de la ciencia (OCDE, 2016; 2019; 2022). Las habilidades que requiere esta competencia se recogen la tabla 2.

Tabla 2. Habilidades de la competencia científica de *evaluar y diseñar una investigación científica* (extraída de OCDE, 2016).

Evaluar y diseñar la investigación científica
<p>Describir y evaluar las investigaciones científicas y proponer formas de abordar las cuestiones científicas que demuestran la capacidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar la cuestión explorada en un estudio científico dado. • Distinguir cuestiones que podrían investigarse científicamente. • Proponer una forma de explorar científicamente una pregunta determinada. • Evaluar formas de explorar científicamente una pregunta determinada. • Describir y evaluar cómo los científicos aseguran la fiabilidad de los datos, y la objetividad y la generalización de las explicaciones.

En relación a esta sub-competencia, Crujeiras-Pérez (2017) analiza el desarrollo de la indagación con futuros docentes de educación secundaria, como práctica científica que ayuda a desarrollar la sub-competencia de evaluar y diseñar una investigación científica.

C3) Interpretar datos y pruebas científicas

Esta competencia requiere del análisis y la evaluación de datos, demandas y argumentos en cierta variedad de representación para poder ofrecer conclusiones de carácter científico adecuadas. Al igual que la competencia anterior, el conocimiento del contenido es necesario, pero son de gran importancia el conocimiento procedimental y epistémico. De esta forma se espera que un ciudadano alfabetizado científicamente, además de saber representar los datos que tienen, deben comprender las incertidumbres inherentes a la toma de datos y la propia medida (conocimiento procedimental). Ahora bien, el alumnado también debe saber juzgar si estos datos son apropiados, adquiriendo un papel importante la argumentación y la crítica en el proceso (conocimiento epistémico). Así, esta competencia incluye el acceso a la información y la evaluación de los argumentos y pruebas científicas (Kuhn, 2010; Osborne, 2010). Las habilidades que requiere esta competencia se recogen la tabla 3.

Tabla 3. Habilidades de la competencia científica de *interpretar datos y pruebas científicamente* (extraída de OCDE, 2016).

Interpretar datos y pruebas científicamente
<p>Analizar y evaluar los datos científicos, las demandas y los argumentos en una variedad de representaciones y sacar las conclusiones pertinentes, lo que demuestra la capacidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transformar los datos de una representación a otra. • Analizar e interpretar los datos y sacar conclusiones pertinentes. • Identificar los supuestos, las pruebas y los razonamientos en los textos relacionados con la ciencia. • Distinguir entre los argumentos que se basan en la teoría y las pruebas científicas, y las basadas en otras consideraciones. • Evaluar los argumentos y pruebas científicas de diferentes fuentes (por ejemplo, periódicos, Internet, revistas).

Con respecto a esta sub-competencia, autores/as como Blanco y Lupión (2015), Crujeiras y Jiménez (2015), Crujeiras et al. (2020) y Muñoz y Charro (2018) analizan la interpretación de datos y pruebas científicamente desde actividades en las que por ejemplo se desarrolla la práctica de la argumentación en el aula de ciencias.

En los últimos años se han publicado también trabajos de investigación que abarcan el estudio del desarrollo de varias de las sub-competencias al mismo tiempo. Por ejemplo, Franco-Mariscal et al. (2017) diseñaron actividades para el desarrollo de la competencia científica en un marco relacionado con la salud. Dichos autores plantean actividades vinculadas a cada una de las sub-competencias y analizan el alcance de las mismas a través

del estudio de los objetivos concretos marcados inicialmente para cada una, ofreciendo así ejemplos concretos de la evaluación de las sub-competencias y dando un papel fundamental al contexto de la actividad.

Por otra parte, Muñoz y Charro (2023) han generado una investigación que ha abordado distintas habilidades en relación a las sub-competencias propuestas por PISA. Este trabajo facilita y orienta a los maestros y maestras en el abordaje de las sub-competencias y su evaluación en las aulas.

Demanda cognitiva y evaluación de la competencia científica

La evaluación en PISA se lleva a cabo a partir de lo que se conoce como demanda cognitiva en la evaluación de la alfabetización científica y las tres sub-competencias a adquirir. Es importante no confundir demanda cognitiva con la dificultad de una pregunta. La dificultad, en PISA, se valora según el conocimiento científico de una población en función de las respuestas acertadas, mientras que la demanda cognitiva considera el tipo de proceso mental requerido para responder correctamente las preguntas (Rosales Ortega et al., 2020). Por ello, se distingue entre el tipo de conocimiento que necesitan frente a la demanda cognitiva que exigen.

Secuencia de Enseñanza Aprendizaje

Una secuencia de enseñanza aprendizaje (SEA a partir de ahora) es un conjunto de actividades diseñadas con un fin concreto, que se consigue como consecución del desarrollo de estas actividades (Crujeiras y Cambeiro, 2018). En la enseñanza de las ciencias, la SEA es el instrumento metodológico que dirige la enseñanza y también el aprendizaje (Lijnse y Klaassen, 2004). A partir de un objetivo concreto, debe estar estructurada en actividades con objetivos parciales, que permitan al estudiante establecer puntos de anclaje del conocimiento (actividades y sesiones) y siempre debe diseñarse de la manera más contextualizada posible de forma que el alumno encuentre utilidad en su manera de proceder, lo que además invita a la motivación hacia el aprendizaje (Caamaño, 2012; Cobern et al., 2010; Couso, 2020; Guisasola et al., 2021). De acuerdo a Ferrés-Gurt (2017) esta SEA debe contener preguntas investigables por el alumnado, que permitan el desarrollo de las prácticas científicas (indagación, argumentación y modelización).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, este trabajo de investigación se contextualiza en un aula real de ciencias, donde el objetivo es trabajar las ciencias a través de una secuencia de enseñanza aprendizaje, diseñada para desarrollar la competencia científica en alumnos de educación secundaria. Y, para evaluar el desarrollo de esta competencia científica, se han diseñado herramientas *ad hoc* que pueden ser de utilidad para docentes e investigadores, a través de su uso directo o adaptado.

Metodología

La investigación se ha desarrollado, a lo largo de un curso escolar, con un grupo de 16 alumnos/as de 1º de Bachillerato (de los cuales 8 son alumnas), en la asignatura de Cultura Científica (para la elección del curso y la materia se han tenido en cuenta el número de alumnos/as y la posibilidad de máxima dedicación al proyecto), a través de una situación surgida de una necesidad del propio centro y que derivó en dos preguntas que los estudiantes debían resolver por indagación libre: ¿qué estación meteorológica compramos para el instituto? (Actividad 2) y ¿en qué ubicación del centro la instalamos? (Actividad 3). Se formaron 4 grupos de trabajo (G1, G2, G3 y G4) que, de manera independiente, debían llegar a conclusiones sobre las preguntas a resolver en cada actividad a través de

indagación guiada por el profesor en sesiones, y que al final, ponían en común entre los grupos para llegar a una respuesta única. Previa a estas dos actividades, se inició a los alumnos en la investigación y posteriormente se realizó una actividad final para recoger las conclusiones sobre las actividades. La secuencia de enseñanza aprendizaje diseñada constó de cuatro actividades, desarrolladas a través de 11 sesiones tal como se muestran de manera esquemática en la figura 2. A lo largo del desarrollo de dicha secuencia de actividades, se pretenden evaluar las sub-competencias desarrolladas (ver Tabla 4 de resultados) y también los conocimientos científicos (de contenido, procedimentales y epistémicos) detallados en la Tabla 6 de resultados. En el Anexo I se puede consultar la SEA en mayor detalle.

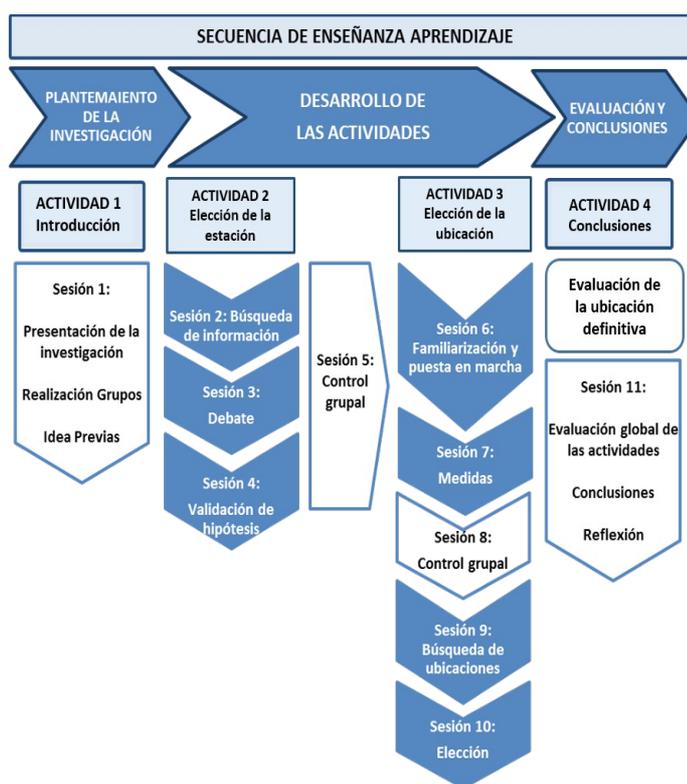


Figura 2. Secuencia de enseñanza aprendizaje (Elaboración propia).

Para recoger y analizar los datos obtenidos en el desarrollo de la SEA que permitan concluir sobre el desarrollo de la competencia científica, se han utilizado distintos instrumentos (entrevista semiestructurada profesor-investigador-alumnado, observaciones directas, informes escritos del estudiantado, cuestionarios y grabaciones de audio y vídeo de las sesiones). No obstante, en la mayoría de las ocasiones se cuenta con más de un instrumento para la misma sesión, lo que facilita la triangulación tanto del método, como de los datos (Aguilar y Barroso, 2015).

Evaluación del desarrollo de la competencia científica

Tal como se ha comentado en el marco teórico, el desarrollo de la competencia científica a lo largo de la SEA, se puede analizar a través del estudio de tres sub-competencias: (a) explicar fenómenos científicamente; (b) evaluar y diseñar una investigación científica; (c) e interpretar información y evidencias científicas. A su vez, estas competencias necesitan de ciertos conocimientos que pueden ser clasificados en: de contenido, procedimentales y epistémicos (OCDE, 2016; 2019; 2022). Esta clasificación propuesta para la evaluación en

el marco PISA, permite relacionar algunos tipos de conocimientos con la sub-competencia científica que desarrollan en mayor medida. Así, cabe esperar que el conocimiento de contenido facilitará, por ejemplo, en mayor medida la sub-competencia asociada a explicar fenómenos científicamente. Los conocimientos procedimental y epistémico facilitarán más las prácticas científicas de evaluar y diseñar una investigación e interpretar datos y pruebas científicamente (OCDE, 2016). Por otro lado, las prácticas científicas favorecen la búsqueda de pruebas, la discusión sobre su validez o la reconstrucción de estas (Milar, 1998), lo que permite trabajar la naturaleza de la ciencia (Lederman, 2006) o las ideas sobre ciencia (Millar, 1998).

Para realizar esta evaluación se han elaborado dos rúbricas, teniendo en cuenta las características de la SEA, una asociada a conocimientos y otra asociada a sub-competencias. En su diseño se ha incluido la demanda de aprendizaje recogido en las pruebas PISA 2015, 2018 y 2021 (OCDE, 2016; 2019; 2022) y que es analizada por Rosales Ortega et al. (2020).

Para evaluar la competencia científica se ha diseñado, a partir de la bibliografía, una herramienta que separa las tres sub-competencias científicas en tres dimensiones diferentes. A su vez, se ha atendido a la demanda cognitiva para evaluar dichas competencias. De esta forma, cada grupo puede alcanzar un nivel de profundidad del conocimiento según la demanda cognitiva que requiera para alcanzarlo. Al nivel alcanzado según demanda de aprendizaje le ha sido asociada una puntuación (que va desde 1 a 6 por los 6 niveles). Esta puntuación permite cuantificar los resultados de cada uno de los grupos según las tres sub-competencias y los tres contenidos y con ello analizar si la SEA es válida para el desarrollo de la competencia científica.

Resultados

A continuación, se analiza el desarrollo de la competencia científica a partir de las sub-competencias y los contenidos científicos, presentando en primer lugar, la rúbrica diseñada *ad hoc* para el análisis de cada uno de las dos partes.

Competencia científica

La rúbrica diseñada para evaluar cómo la SEA contribuye al desarrollo de las sub-competencias, de cuáles y en qué profundidad, se muestra en el tabla 4.

Tabla 4. Herramienta para evaluar las sub-competencias científicas según demanda de aprendizaje.

EVALUACION DE LAS sub-COMPETENCIAS CIENTIFICAS							
Sub-competencias y dimensiones asociadas		Demanda cognitiva					
		Recordar (1p)	Comprender (2p)	Aplicar (3p)	Analizar (4p)	Evaluar (5p)	Crear (6p)
C1. Explicar fenómenos científicamente	Conocimiento científico del problema	Recuerda el conocimiento científico asociado al problema	Comprende el conocimiento científico asociado al problema	Aplica al problema el conocimiento científico adecuado	Analiza la importancia de su conocimiento científico al problema	Valora si su conocimiento es suficiente para afrontar el problema	Amplia con conocimiento necesario para su problema
	Modelos o representación explicativa de un conocimiento e implicaciones para la sociedad y las personas	Conoce los modelos explicativos asociados a su problema	Comprende el papel de los modelos explicativos asociados a su problema y su implicación en la sociedad	Aplica los modelos explicativos a la resolución de su problema	Analiza el papel de los modelos explicativos en su problema y sus implicaciones sociales	Evalúa la suficiencia en conocimientos explicativos para afrontar su problema	Combina sus modelos explicativos con otros modelos que puedan ayudar a su problema
	Predicciones, hipótesis y relaciones causales o correlaciones simples	Conoce las bases de los métodos científicos	Interpreta el papel de las predicciones y el planteamiento de hipótesis	Emite predicciones o hipótesis adecuadas para un problema pero sin justificarlas	Estudia la viabilidad de una hipótesis usando pruebas	Evalúa pronósticos e hipótesis científicas apoyado en pruebas	Genera argumentos para apoyar o refutar hipótesis
C2. Evaluar y diseñar la investigación	Objetivos de un estudio y metodología	Conoce distintas formas de investigar científicamente	Identifica los objetivos en una investigación dada	Aplica al diseño de la investigación la tipología de los objetivos	Analiza distintas formas de explorar científicamente las preguntas	Decide por una metodología acorde a los objetivos que busca alcanzar	Diseña la investigación cumpliendo con la metodología escogida y acorde a los objetivos
	Cuestiones investigables	Identifica cuestiones investigables científicamente	Comprende las diferencias entre qué cuestiones son o no investigables científicamente	Aplica al diseño de su investigación cuestiones investigables científicamente	Analiza si las cuestiones de una investigación son o no investigables científicamente	Argumenta si una cuestión es o no investigable científicamente	Diseña una investigación donde todas las cuestiones son investigables científicamente y argumenta el por qué explicando posibles métodos a seguir
	Trabajo de los científicos	Describe procedimientos de trabajo de los científicos	Comprende los métodos de trabajo de los científicos	Aplica a su propia investigación su conocimiento sobre el trabajo de los científicos	Analiza cómo aplicar el trabajo de los científicos a su propia investigación	Evalúa si su investigación encaja con los estándares del trabajo de los científicos	Diseña la investigación atendiendo a los principales quehaceres de los científicos (cuestiones investigables, veracidad, cooperación, publicación)

Tabla 4. Continuación.

EVALUACION DE LAS sub-COMPETENCIAS CIENTIFICAS							
Sub-competencias y dimensiones asociadas		Demanda cognitiva					
		Recordar (1p)	Comprender (2p)	Aplicar (3p)	Analizar (4p)	Evaluar (5p)	Crear (6p)
C3. Interpretar Datos y pruebas científicamente	Datos y representación	Recuerda procesos de tomas de datos y representaciones	Relaciona la tipología de los datos con su representación	Obtiene datos y los representa dentro de una investigación científica	Describe tendencias en los datos sin extraer conclusiones	Evalúa los datos comparando con investigaciones que puedan asemejarse	Emite conclusiones basadas en los datos obtenidos
	Validez de datos	Conoce métodos de validación y evaluación de datos (replicabilidad, error...)	Interpreta la validación de datos como síntoma de consistencia en una investigación	Aplica distintos métodos de validación de datos en una investigación	Extrae el significado de los resultados de la validación de datos de una investigación	Evalúa la validez de los datos (replicabilidad, incertidumbres, error)	Genera conclusiones sobre si un grupo de datos son o no válidos dentro de una investigación
	Argumentos y pruebas	Conoce y recuerda el valor de los argumentos y pruebas en una investigación científica	Identifica pruebas y argumentos en una investigación científica	Utiliza argumentos pero sin basarse en pruebas o datos	Analiza las pruebas y argumentos mostrados dentro de una investigación científica	Valida o no las pruebas y argumentos encontrados o emitidos sobre una investigación científica	Emite argumentos propios basados en pruebas científicas

Tras aplicar la rúbrica a lo largo de todo el desarrollo de la SEA, en la tabla siguiente se muestran las sub-competencias desarrolladas por cada grupo y el nivel de demanda cognitiva alcanzado.

Hemos codificado los datos recogidos en la tabla anterior, presentando los resultados por grupos, de esta forma se puede ver el alcance de cada uno de los grupos según cada dimensión de las tres sub-competencias, siendo el nivel máximo de desarrollo de cada sub-competencia de 18 puntos (6 puntos máximo por cada una de las tres dimensiones asociadas a cada una de las tres sub-competencias).

Tabla 5. Desarrollo de las sub-competencias científicas por grupos.

Sub-competencias y dimensiones asociadas		EVALUACION DE LAS SUB-COMPETENCIAS					
		Demanda cognitiva					
		Recordar (1p)	Comprender (2p)	Aplicar (3p)	Analizar (4p)	Evaluar (5p)	Crear (6p)
C1. Explicar fenómenos científicamente	Conocimiento científico del problema	G3	G2	G1, G4			
	Modelos o representación explicativa de un conocimiento e implicaciones para la sociedad y las personas	G3, G2		G1, G4			
	Predicciones, hipótesis y relaciones causales o correlaciones simples	G3			G4, G2		G1
C2. Evaluar y diseñar la investigación	Objetivos de un estudio y metodología		G3		G1, G2	G4	
	Cuestiones investigables	G3		G4	G2, G1		
	Trabajo de los científicos			G2, G3	G1	G4	
C3. Interpretar Datos y pruebas científicamente	Datos y representación		G3			G4, G2	G1
	Validez de datos		G3	G2, G4	G1		
	Argumentos y pruebas		G3		G2	G4	G1

Analizando los resultados recogidos en la tabla 5 y en la figura 3, se observa que los grupos 1 y 4, han desarrollado con mayor profundidad las sub-competencias científicas analizadas con la rúbrica diseñada a tal efecto. La puntuación en el desempeño de las dimensiones suma 40 puntos en el caso del G1 y 36 en el G4, mientras que el G2 tiene una puntuación representativa del desarrollo de las sub-competencias de 30 puntos y el G3 de 15 puntos.

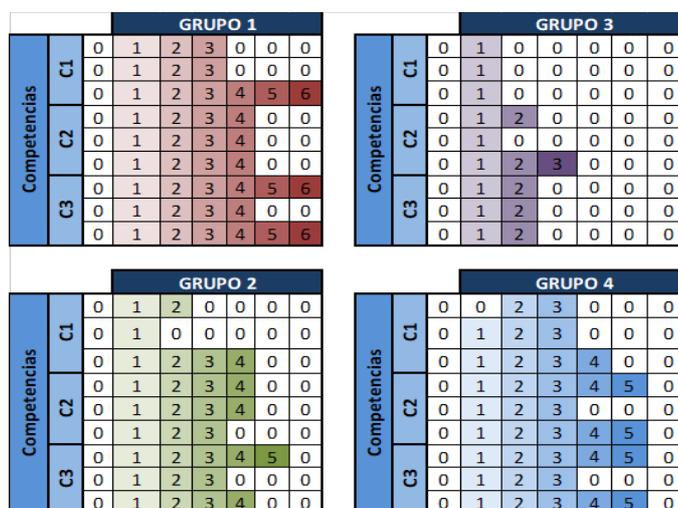


Figura 3. Resultados codificados de las sub-competencias científicas por cada grupo.

Dentro de cada sub-competencia, unos grupos desarrollan más unas dimensiones y otros otras distintas. Por ejemplo, el G1, ha desarrollado la sub-competencia de *explicar fenómenos científicamente* a través del uso de predicciones, hipótesis y relaciones causales o correlaciones simples. Por ejemplo, en la elección de la estación meteorológica, el grupo ha elegido la estación meteorológica estableciendo relación entre los rangos de medición de la estación con las características climatológicas de la zona: <<el rango de medición de la temperatura debe estar entre -10°C y 50°C, ya que en nuestra ciudad las temperaturas pueden ir desde los -3 hasta los 40°C>>. Y, en mayor medida, este G1 ha desarrollado la competencia de *interpretar datos y pruebas* ya que ha recogido datos y sobre estos ha buscado argumentos y evidencias que fundamentaran esos datos. Por ejemplo, ha identificado un error en una de las propuestas de ubicación de la estación: <<colocamos la estación cerca del suelo, pero la temperatura medida era demasiado alta probablemente porque el suelo radiaba calor, por eso es necesario un lugar elevado para que la medida sea fiable>>. La demanda cognitiva desarrollada en esta sub-competencia va más allá de comprender y analizar, estos alumnos evalúan y proponen soluciones.

El G4, al igual que el G1, desarrolla la sub-competencia de *interpretar datos y pruebas*. Por ejemplo, ha comprobado que la estación medía correctamente algunas de las magnitudes realizando pruebas controlada (para comprobar el funcionamiento del pluviómetro ha añadido cantidades conocidas de agua o ha medido la temperatura en una habitación en distintos puntos para comprobar que la presencia de un radiador influía en dicha medida). Aunque no desarrolla tanto la sub-competencia de *explicar fenómenos*, si lo hace en la de *evaluar y diseñar la investigación* a través del planteamiento de objetivos claros y seguir una metodología de trabajo, por ejemplo, al realizar pruebas de medida antes de buscar directamente la ubicación, y también en la fundamentación basada en el análisis de trabajos o información científica existente, por ejemplo, consultando en la web los datos de estaciones meteorológicas cercanas.

Ponderando al 100% las competencias trabajadas a lo largo de la SEA por cada grupo (ver Figura 4), se puede observar la proporción interna (en cada grupo) del desarrollo de cada sub-competencia. Esto nos permite afirmar que, en general, la SEA ha favorecido el desarrollo de las sub-competencias 2 y 3 frente a la 1.

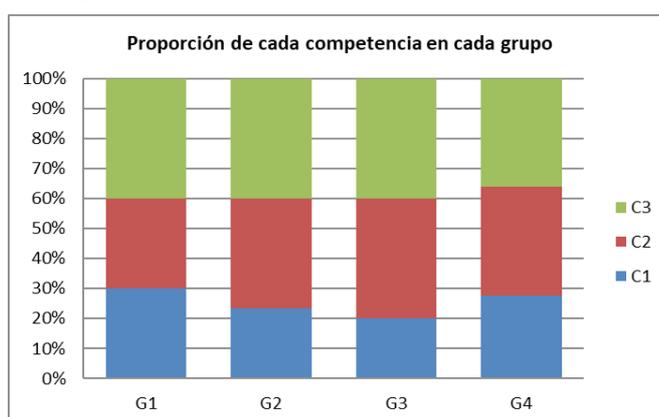


Figura 4. Desarrollo proporcional de cada sub-competencia en los grupos.

A continuación, se realiza un análisis de los resultados agrupados en competencias. En la figura 5, se han representado los resultados ponderados al tanto por ciento.

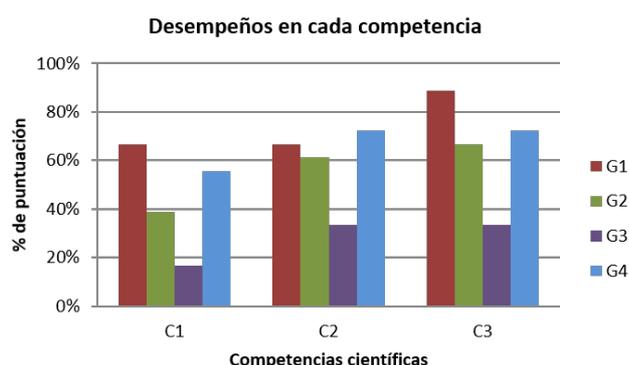


Figura 5. % de desarrollo de cada sub-competencia en los grupos.

A partir de esta representación se puede observar que, las sub-competencias 2 y 3 han sido las más desarrolladas a lo largo del desarrollo de la SEA. Es decir, el alumnado en mayor medida, ha diseñado y evaluado metodologías de recogida y de análisis de datos científicos, más que interpretar fenómenos.

Conocimiento científicos

Para analizar los contenidos científicos que se han puesto en juego a lo largo del desarrollo de la SEA, se ha diseñado la rúbrica justificada y elaborada a partir de la bibliografía sobre la cuestión, que agrupa los contenidos científicos en tres modalidades: de contenido, procedimental y epistémico. A su vez, en cada tipo de conocimiento científico se han tenido en cuenta tres dimensiones asociadas a esta SEA. Este tipo de conocimiento se ha centrado en las magnitudes físicas trabajadas en la investigación. Por otro lado, y al igual que se ha hecho con las competencias científicas, se ha tenido en cuenta la demanda cognitiva requerida para utilizar en mayor o en menor medida los distintos conocimientos. Así se establecen 6 niveles de demanda cognitiva (ver tabla 6).

Tabla 6. Herramienta para evaluar los conocimientos científicos según demanda de aprendizaje.

EVALUACION DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTIFICOS							
Conocimientos científicos y dimensiones asociadas		Demanda cognitiva					
		Recordar (1p)	Comprender (2p)	Aplicar (3p)	Analizar (4p)	Evaluar (5p)	Crear (6p)
De contenido	Magnitudes físicas fundamentales asociadas al problema	Conoce las magnitudes físicas fundamentales asociadas al problema	Entiende la influencia de dichas variables en la resolución del problema	Aplica al proyecto su conocimiento sobre las magnitudes físicas asociadas	Analiza las características de las magnitudes para tomar decisiones	Contrapone sus decisiones a las propiedades de las magnitudes físicas	Toma decisiones argumentadas en su conocimiento sobre las magnitudes físicas
	Leyes y teorías físicas asociadas a las magnitudes	Conoce algunas leyes asociadas a las magnitudes trabajadas	Comprende algunas de las leyes asociadas a las magnitudes trabajadas	Aplica a la toma de decisiones las leyes físicas que conoce	Analiza las leyes físicas que conoce para justificar sus resultados	Evalúa sus resultados utilizando las leyes físicas	Argumenta utilizando sus conocimientos sobre leyes físicas

	Sobre meteorología	Conoce o recuerda algún fenómeno meteorológico concreto	Comprende la importancia de los fenómenos atmosféricos locales a la resolución del problema	Aplica los conocimientos meteorológicos a la resolución del problema	Analiza los fenómenos meteorológicos para tomar decisiones	Evalúa su elección teniendo en cuenta los fenómenos meteorológicos asociados	Argumenta su posición haciendo referencia a fenómenos meteorológicos conocidos
Procedimental	Variables y control de variables	Cita algunas variables involucradas	Diferencia el tipo de variables	Aplica el conocimiento sobre variables al problema	Analiza la implicación de las variables y las controla	Evalúa el uso que hace de las variables	Crea experiencia para conocer cómo afectan las variables al problema
	Medición, incertidumbres, replicabilidad y representación de datos	Recuerda los procedimientos de la toma de medidas	Comprende la dependencia de los resultados del proceso de toma de medidas	Aplica a un diseño experimental sus conocimientos de medición	Analiza los datos obtenidos (con ayuda de representación de datos en tablas o gráficos)	Evalúa el proceso de toma de medidas comparando con otros datos	Mejora su sistema de medición y prueba su replicabilidad
	Diseño experimental	Recuerda diseños experimentales que pueden ser aplicados al problema	Comprende las características básicas del diseño experimental	Aplica el diseño experimental que conoce a su propia experiencia	Analiza las etapas y procesos de su diseño experimental	Evalúa la idoneidad del diseño experimental para su problema	Adapta y rediseña la experiencia para mejorar resultados
C3. Interpretar Datos y pruebas científicamente	Naturaleza de la ciencia y la tecnología (observaciones, objetivos, compromisos...)	Conoce los pilares básicos de la ciencia (basada en pruebas, compromiso de veracidad...)	Comprende la diferencia entre ciencia y tecnología (la ciencia explica el mundo natural y la tecnología genera soluciones a necesidades)	Aplica estos principios básicos al planteamiento del problema (basarse en pruebas, dar datos reales, combinar ciencia y tecnología)	Analiza el problema planteado utilizando sus conocimientos sobre ciencia y tecnología	Evalúa que un trabajo científico cumpla con los requisitos mínimos que dicta la epistemología de la ciencia	Crea un sistema de apoyo a su investigación para cumplir con los conocimientos epistemológicos de la ciencia
	Toma de datos y error. Influencia en el conocimiento	Conoce el carácter intrínseco del error en cualquier medida de toma de datos	Comprende la relación entre el proceso de toma de datos y el error cometido	Aplica al proceso de toma de datos factores que disminuyan el error	Analiza los resultados de una investigación teniendo presente el error cometido	Evalúa un trabajo científico desde la perspectiva del error cometido	Crea argumentos en favor o en contra de un trabajo científico haciendo referencia al proceso de toma de datos y el error cometido
	Uso de la ciencia y la tecnología para abordar problemas	Recuerda problemas sociales y de la vida que han sido resueltos por la ciencia	Comprende el papel de la ciencia y la tecnología en la resolución de problemas sociales	Aplica esta perspectiva de la ciencia a la resolución de problemas que encuentra en su vida	Analiza situaciones de la vida real que pueden ser resueltos con ayuda de la ciencia y la tecnología	Evalúa el papel que la ciencia y la tecnología tiene y ha tenido dentro de la resolución de problemas	Aporta posibles de corte científico-tecnológico a la resolución de problemas sociales

Tabla 7. Desarrollo de los conocimientos por grupos.

		EVALUACION DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTIFICOS					
		Demanda cognitiva					
		Recordar (1p)	Comprender (2p)	Aplicar (3p)	Analizar (4p)	Evaluar (5p)	Crear (6p)
C1. De contenido	Magnitudes físicas fundamentales asociadas al problema		G3			G2, G4	G1
	Leyes y teorías físicas asociadas a las magnitudes	G3	G1, G4, G2				
	Sobre meteorología		G3, G2		G1, G4		
C2. Procedimental	Variables y control de variables		G3			G4	G2, G1
	Medición, incertidumbres, replicabilidad y representación de datos		G3		G1, G4	G2	
	Diseño experimental			G3		G2, G4	G1
C3. Epistémico	Naturaleza de la ciencia y la tecnología (observaciones, objetivos, compromisos...)			G3		G1,G2	G4
	Toma de datos y error. Influencia en el conocimiento		G3			G2	G1, G4
	Uso de la ciencia y la tecnología para abordar problemas		G3		G2	G4, G1	

En la figura 6 se muestra, a través de una escala de colores, la demanda cognitiva con la que ha sido usado cada uno de los contenidos científicos por cada grupo.

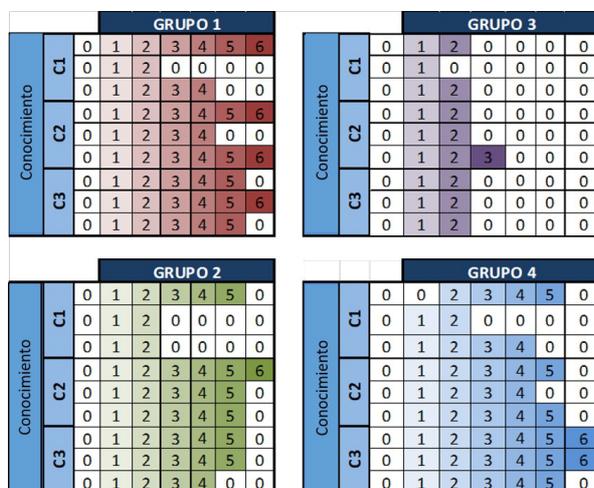


Figura 6. Resultados codificados de los conocimientos científicos por grupos.

A partir de estos resultados se procede a realizar un análisis equivalente al de las competencias científicas, de esta forma se realiza una comparativa entre los grupos y entre los contenidos, teniendo en cuenta el nivel máximo de demanda cognitiva que cada grupo ha alcanzado.

Se observa que los grupos G1 y G4 son los que en mayor profundidad han desarrollado cada uno de los tres conocimientos, obteniendo una puntuación de 48 y 42 respectivamente, seguidos del G2 con 39 puntos. Sin embargo, el grupo 3 se ha quedado lejos de desarrollar los conocimientos al mismo nivel de profundidad. En el conocimiento del contenido, estos grupos destacan en el conocimiento de las magnitudes físicas, teniendo presentes sus conocimientos sobre las mismas a la hora de tomar decisiones. Por ejemplo, los tres grupos proponen ubicaciones que cumplen con los requisitos establecidos para cada variable. También destacan en conocimiento procedimental. Por ejemplo, G2 aprovecha un día ventoso para realizar distintas pruebas de la medición de la velocidad y dirección del viento con la estación meteorológica. Estas pruebas consisten en medir en distintas ubicaciones, observando que <<en el patio había una velocidad de 17 km/h y en la azotea de 6 km/h>>, todo ello debido <<a que el edificio creaba corrientes muy fuertes de viento>>. En cuanto al conocimiento epistémico, es G4 quien más conocimientos demuestra. Por ejemplo, proponen evaluar definitivamente la ubicación elegida a partir de la comparación con datos oficiales de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). Autores como Crujeiras et al. (2020) y Muñoz et al. (2020) investigaron sobre la argumentación en el alumnado como práctica vinculada a la manifestación del conocimiento epistémico del alumnado. Muñoz y Charro (2018) investigaron directamente la sub-competencia de interpretar datos y pruebas científicas, concluyendo todos en la dificultad del desarrollo del conocimiento epistémico del alumnado, lo que sustentaría los resultados obtenidos en este trabajo.

Por otro lado, se han representado porcentualmente el uso de estos conocimientos, correspondiendo el 100% al uso de dicho conocimiento al máximo nivel de demanda cognitiva dentro de cada grupo (ver figura 7), de manera que se puede observar en qué proporción se ha desarrollado cada conocimiento en cada uno de ellos. En este caso, la tendencia no es tan general como ocurría en el análisis de las sub-competencias científicas. Aquí se observa que solo en el G2, se puede concluir que el desarrollo del conocimiento C1, es menor que el C2 y C3. En el G4, parece que el conocimiento más desarrollado a lo largo de la SEA es el C3. En los grupos G1 y G3, el desarrollo de los tres conocimientos sería equivalente.

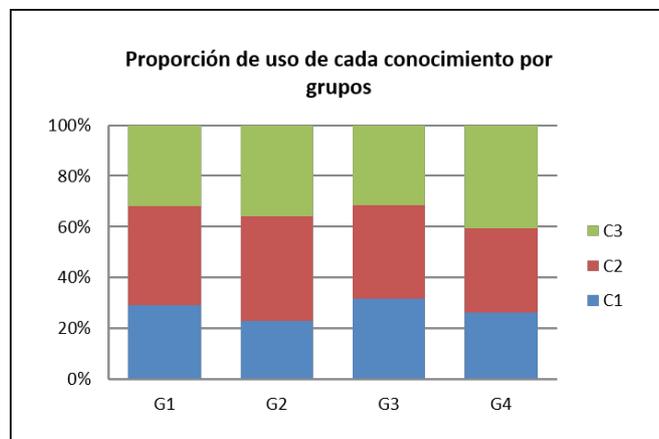


Figura 7. Desarrollo proporcional de cada conocimiento en los grupos.

Se analiza también el desarrollo del desempeño de cada conocimiento a lo largo de la SEA (ver Figura 8).

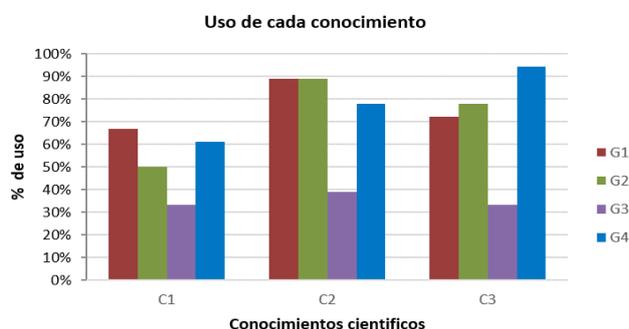


Figura 8. % de uso de cada conocimiento en los grupos.

Estos datos muestran que la SEA ha favorecido el uso de los conocimientos procedimental (C2) y epistémico (C3) frente al conocimiento del contenido (C1), en los cuatro grupos.

Observando estos resultados desde la perspectiva global de la SEA, se observa una tendencia similar a la que se viene estableciendo hasta ahora, en la que destacan el grupo 1 y 4. Sin embargo, el uso de los conocimientos científicos 2 y 3 por parte del grupo 2 lo ha colocado entre los grupos de mayor rendimiento en este aspecto.

Discusión y conclusiones

En esta investigación se ha evaluado la calidad de una SEA diseñada para el desarrollo de la competencia científica, utilizando como herramienta una estación meteorológica.

La competencia científica viene determinada por tres sub-competencias científicas (OCDE, 2016; 2019; 2022): explicar fenómenos científicamente; evaluar y diseñar una investigación científica; e interpretar datos y pruebas, vinculadas a conocimientos de contenido, procedimental y epistémico.

Para la evaluación del desarrollo de la competencia científica a lo largo de la SEA, se han diseñado y usado dos herramientas, la primera es una rúbrica para evaluar las tres sub-competencias científicas y la segunda es una rúbrica para evaluar los conocimientos científicos (Rosales Ortega et al., 2020).

En esta investigación se ha diseñado una secuencia de actividades, contextualizada, que persigue facilitar el desarrollo de las sub-competencias científicas del alumnado así como de conocimientos científicos específicos. Para evaluar el alcance de ambos, se han elaborado dos rúbricas *ad-hoc*.

Los resultados obtenidos muestran que la secuencia de enseñanza aprendizaje diseñada e implementada ha favorecido el desarrollo de las tres sub-competencias, aunque en mayor medida la segunda y tercera frente a la primera sub-competencia. Tal y como afirma Sanmartí (2020), el desarrollo de las prácticas científicas está vinculado a la búsqueda de pruebas, la discusión sobre su validez o la reconstrucción de dichas pruebas, tal como se concluye en esta investigación. Por otro lado, y aunque en menor medida, la primera competencia científica, explicar fenómenos científicamente, también ha sido desarrollada a lo largo de la secuencia. En este sentido, se puede afirmar que la utilización de la estación meteorológica como instrumento científico ha facilitado el desarrollo de las tres sub-competencias científicas, destacando la competencia científica de carácter más práctico,

como son la evaluación y diseño de una investigación o la interpretación de datos y pruebas científicamente.

En la rúbrica diseñada para la evaluación del conocimiento científico, establecen tres modalidades (OCDE, 2016; 2019; 2022): de contenido, procedimental y epistémico. El uso de cada uno de estos conocimientos no es exclusivo de cada competencia, ahora bien, el desarrollo de la segunda y tercera competencia necesita de un mayor uso de los conocimientos segundo y tercero a su vez, por lo que cabía esperar un mayor desarrollo y uso de los conocimientos procedimental y epistémico dentro de la secuencia, tal y como ha resultado. El conocimiento procedimental se entiende como un conocimiento de las pruebas (Gott et al., 2008; Millar, 1995), y el uso que se puede hacer de ellas (OCDE, 2016; 2019; 2022). La obtención de datos y el uso de estos como pruebas ha estado presente en varios momentos de la secuencia demostrando el desarrollo de este desempeño en el uso del conocimiento procedimental. El conocimiento epistémico requiere de la comprensión de las preguntas, de hipótesis o de los argumentos dentro de la ciencia (Rosales Ortega et al., 2020), facilitando la construcción de conocimiento científico (Duschl, 2007). En este sentido, el alumnado ha necesitado emitir hipótesis, obtener datos para verificarlas y después argumentar dichos resultados. Esto les ha permitido acercarse a la forma de trabajo de los científicos y a conocer en primera persona algunos de los métodos propios de la ciencia. Con ello, se puede afirmar que el uso de la SEA utilizando una estación meteorológica como instrumento, ha favorecido el desarrollo de los conocimientos científicos procedimental y epistémico, y aunque en menor medida también el conocimiento del contenido.

El tamaño de la muestra de estudio es una posible limitación, sin embargo al ser una muestra pequeña nos ha permitido realizar un análisis en profundidad, a través del análisis mediante rúbricas, que “ayuda a comprender mejor el grado de competencia de los estudiantes” (Blanco y Díaz, 2017, p. 518).

Habiendo identificado los resultados mostrados, consideramos que este trabajo puede continuar en un futuro próximo a través de la propuesta de mejora de implementar de nuevo la secuencia con nuevo alumnado y evaluar en concreto las prácticas de la indagación y de la argumentación, de manera que se lleve a cabo un análisis cualitativo que permita vincular dichas prácticas científicas con los resultados alcanzados en relación a las sub-competencias científicas.

Agradecimientos

Esta investigación se ha desarrollado dentro del contexto de la tesis doctoral de J. Pozuelo Muñoz, cuya directora de tesis ha sido E. Cascarosa Salillas. Ambos autores agradecen a todos y todas las participantes en el desarrollo del estudio su dedicación y generosidad. Los autores agradecemos también al grupo Beagle de referencia en investigación en didáctica de las ciencias experimentales y al Instituto IUCA de investigación en ciencias ambientales de Aragón, ambos de la Universidad de Zaragoza, su respaldo en esta investigación.

Referencias

- Aguilar, S. y Barroso, J. (2015). La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 47, 73-88.
- Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante, J. (2017) Análisis del nivel de desempeño para la explicación de fenómenos de forma científica en una actividad de modelización. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 505-520. <https://doi.org/10498/19504>

- Blanco A. y Lupión T. (2015). *La competencia científica en las aulas. Nueve propuestas didácticas*. Andavira Editora.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 70, 83-92.
- Caamaño, A. (2018). Enseñar química en contexto: Un recorrido por los proyectos de química en contexto desde la década de los 80 hasta la actualidad. *Educación química*, 29(1), 21-54. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63686>
- Cascarosa-Salillas, E., Pozuelo-Muñoz, J. y Feringán, B. (2021). Old instruments in the physics and chemistry cabinet al Goya Secondary School. Analysis of their didactic use in teaching physics today. *Culture and Education*, 33(3), 556-572. <https://doi.org/10.1080/11356405.2021.1949113>
- Chamizo, J. y Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto: Una reflexión desde la filosofía. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 46, 9-17.
- Cobern, W. W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undreiu, A., Loving, C. C. y Gobert, J. D. (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science & Technological Education*, 28(1), 81-96.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En *Enseñando Ciencia con Ciencia* (FECYT&Fundación Lilly). Penguin Random House.
- Crujeiras-Pérez, B. (2017) Análisis de las estrategias de apoyo elaboradas por futuros docentes de educación secundaria para guiar al alumnado en la indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 473–486. <https://doi.org/10498/19230>
- Crujeiras-Pérez, B. y Cambeiro, F. (2018). Una experiencia de indagación cooperativa para aprender ciencias en educación secundaria participando en las prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1201.
- Crujeiras-Pérez, B., Martín-Gámez, C., Díaz-Moreno, N. y Fernández-Oliveras, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 125-142 <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2888>
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385-401. <https://doi.org/10498/17598>
- Duschl, R. A. (2007). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Research in Education*, 32, 268-291.
- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 410-426.
- Ferrés-Gurt, C., Marbà-Tallada, A. y Sanmartí, N. (2014). 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.
- Franco-Mariscal, A.J., Blanco-López, A. y España-Ramos, E. (2014). El desarrollo de la competencia científica en una unidad didáctica sobre la salud bucodental. Diseño y análisis de tareas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 649-667.

- Franco-Mariscal, A.J., Blanco-López, A. y España-Ramos, E. (2017). Diseño de actividades para el desarrollo de competencias científicas. Utilización del marco de PISA en un contexto relacionado con la salud. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14(1), 38-53. <https://doi.org/10498/18845>
- Gallardo-Gil, M., Fernández-Navas, M., Sepúlveda-Ruiz, M. P., Serván, M. J., Yus, R. y Barquín, J. (2010). PISA y la competencia científica: Un análisis de las pruebas de PISA en el Área de Ciencias. *Relieve*, 16(2), 1-17.
- Gallardo Gil, M., Mayorga Fernández, M. J. y Sierra Nieto, J. E. (2014). La competencia de conocimiento e interacción con el mundo físico y natural': Análisis de las pruebas de evaluación de diagnóstico de Andalucía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 11(2), 160-180. <https://doi.org/10498/15973>
- García-Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia?. *Ápice. Revista De Educación Científica*, 4(2), 35-50. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- Gott, R., Duggan, S. y Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence and their role in open-ended practical investigations and scientific literacy*. Sociology: UK.
- Guisasola, J., Ametller, J. y Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: Una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1801-1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Kuhn, D. (2010). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 60(3), 299-312. <https://doi.org/10.1002/sce.20395>
- Lederman, N. G. (2006). Nature of science: Past, present and future. En S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Lawrence Erlbaum.
- Lijnse, P. L. y Klaassen, C. W. J. M. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614753>
- Millar, R. (1995). Investigating in the school science laboratory: Conceptual and procedural knowledge and performance. *Research Papers in Education*, 9(2), 207-248.
- Millar, R. (1998). *Beyond 2000: Science Education for the future*. King's college.
- Muñoz Campos, V., Franco-Mariscal, A. J. y Blanco-López, Á. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201
- Muñoz Martínez, J. I. y Charro Huerga, E. (2023). El desarrollo de Competencias Científicas a través de una línea de saberes: Un análisis experimental en el aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2101
- Muñoz, J. y Charro, E. (2018). La Interpretación de Datos y Pruebas Científicas vistas desde los Ítems liberados de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las*

- Ciencias*, 15(2), 2101.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2101
- OCDE. (2009). *El programa PISA de la OCDE. Qué es y para qué sirve*. Santillana.
- OCDE. (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD Publishing.
- OCDE. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework [PISA]*.
<https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>
- OCDE. (2022). *PISA 2021 Assessment and Analytical Framework [PISA]*.
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science. *Science*, 328(5977), 463-466.
<https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S. Y. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(6), 821-846.
<https://doi.org/10.1002/tea.21316>
- Pedrinaci, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra y competencia científica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 208-214.
- Pedrinaci, E., Caamaño i Ros, A., Cañal, P. y Pro Bueno, A. de. (2012). *El desarrollo de la competencia científica: 11 ideas clave*. Barcelona: Graó.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(2), 286-299.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Rosales Ortega, E. M., Rodríguez Ortega, P. G. y Romero Ariza, M. (2020). Conocimiento, demanda cognitiva y contexto en la evaluación de la alfabetización científica en PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 2302.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2302
- Sanmartí, N. (2020). Qué sabemos de la importancia del valor del error y de su gestión para el aprendizaje. En *Enseñando Ciencia con Ciencia* (FECYT&Fundación Lilly). Penguin Random House.
- Sanmartí, N. y Hinojosa, J. (2015). La autorregulación metacognitiva como medio para facilitar la transferencia en mecánica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 249-263.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i2.02
- Woods-McConney, A., Oliver, M., McConney, A., Schibeci, R. y Maor, D. (2014). Science Engagement and Literacy: A retrospective analysis for students in Canada and Australia. *International Journal of Science Education*, 36.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.871658>
- Yus Ramos, R., Fernández Navas, M., Gallardo Gil, M., Barquín Ruiz, J., Sepúlveda Ruiz, M. P. y Serván Núñez, M. J. (2013). La competencia científica y su evaluación. *Análisis de las pruebas estandarizadas de PISA. Revista de Educación*, 360, 557-576.

Anexo I

Descripción de la SEA y vinculación con las sub-competencias y conocimientos científicos

En primer lugar, se describen en detalle las actividades realizadas a lo largo de las 11 sesiones desarrolladas en la SEA, descritas esquemáticamente en la Figura 2 del artículo.

Tabla I.1. Resumen del “Planteamiento de la investigación”.

Sesión1
Participan todos los alumnos y alumnas del grupo
Parte 1. Presentación y reparto de grupos
Objetivos
Explicar en qué va a consistir la investigación - Requisitos externos impuestos sobre la estación: Presupuesto máximo, características mínimas y fecha límite para la consecución del proyecto - Objetivos que hay que alcanzar: Comprar e instalar una estación meteorológica para el centro - Metodología y funcionamiento con el que se va a desarrollar: Trabajo en grupos. Habrá sesiones donde estén todos los grupos y en otras que trabajen por separado. Establecer los grupos de trabajo - 4 grupos de 4 personas de elección libre
Parte 2. Identificación Ideas Previas
Objetivos
Identificar las ideas previas del alumnado - Se identifican a través de preguntas indagativas - Se establecen cuatro grupos de preguntas e ideas: sobre la forma de trabajo, sobre los parámetros físicos del problema, sobre los parámetros tecnológicos y otros - Identificar la ausencia o presencia de conceptos relevantes

Tabla I.2. Desarrollo de la actividad 2.

Sesión 2: Búsqueda de información
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
- Buscar información sobre estaciones meteorológica y elegir una estación - Contrastar información entre distintas fuentes de información - Identificar las variables más importantes en una estación meteorológica - Prever y relacionar las características de las estaciones con los factores físicos y tecnológicos implicados en su futura ubicación
Metodología y desarrollo
- Cada grupo busca la información sin contrastar información con otros grupos - Pueden usar las herramientas que consideren oportunas (también la web) - Deben recoger la información más relevante de la estación elegida en un informe que entregan al final de la sesión - El docente debe controlar el trabajo de los grupos identificando las estaciones que a priori van a escoger. Debe reconducir aquellas situaciones que supongan una estación poco o nada acorde a la necesidad impuesta. Anota en el cuaderno del profesor dichas intervenciones
Sesión 3: Presentación y debate
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
- Presentar la estación meteorológica elegida - Justificar la elección en base a pruebas según parámetros tecnológicos y parámetros físicos - Identificar desventajas en la elección propia y ventajas en otras elecciones - Tomar decisión sobre la estación más adecuada en base a pruebas expuestas en la sesión

Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - En primer lugar cada grupo presenta su estación describiendo las características y justificando su elección - En segundo lugar se abre un debate entre los cuatro grupos para elegir qué estación resulta la más apropiada - Finalmente los grupos deben decidir la estación más adecuada en base a las pruebas expuestas en clase - El docente debe guiar el debate, aunque no debe guiar la elección de la estación a la que él crea más oportuna
Sesión 4: Validación de hipótesis
Participantes: Cada grupo dedica dos horas de trabajo por separado
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Identificar las distintas partes de la estación meteorológica - Comprobar que cumple con los requisitos básicos establecidos con el problema inicial - Comparar y evaluar la decisión individual del propio grupo con la estación final comprada - Enfocar la elección a los siguientes pasos de la investigación (planificación)
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - La estación ya ha sido comprada por el centro - Se muestra la estación a cada grupo por separado y se les invita a que la manipulen. - El profesor debe guiar la sesión a que el alumnado compruebe las distintas partes de la estación y también a evaluar las características de esta según el manual que incorpora. - Finalmente se pide al alumnado que realice una valoración entre su elección y la elección conjunta. - Se indica al alumnado que debe hacer una recopilación de todo lo trabajado hasta el momento para ser expuesto en la siguiente sesión por cada grupo (sesión de control) - Se pide realizar una reflexión personal sobre el tema con carácter voluntario

Tabla I.3: Desarrollo de la sesión 5 de la secuencia.

Sesión 5: Sesión de control
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Recopilar toda la información del trabajo del grupo sobre la investigación (fuentes de información, estudio sobre las estaciones meteorológicas, decisiones propias) - Presentar la información haciendo usando un vocabulario científico - Identificar parámetros físicos y tecnológicos - Demostrar los aprendizajes relacionados con las magnitudes físicas que mide la estación meteorológica y el proceso de toma de datos de esta - Mostrar los siguientes pasos a realizar en la investigación
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - Cada grupo realiza una exposición con todo lo que han trabajado a lo largo de las sesiones anteriores. - Tras la exposición de cada grupo el profesor realiza preguntas que permitan extraer información sobre la comprensión del trabajo expuesto - Esta sesión sirve para evaluar el desarrollo del aprendizaje del alumnado dentro de la SEA

Tabla I.4. Objetivos y desarrollo de las sesiones correspondientes a la Actividad 3 de la SEA.

Actividad 3
Sesión 6: Familiarización y puesta en marcha
Participantes: Cada grupo dedica dos horas de trabajo por separado
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los instrumentos de medida de las magnitudes físicas de la estación meteorológica - Proceder a su montaje en caso de ser necesario - Relacionar cada instrumento de la estación con la magnitud que mide - Probar el funcionamiento de la estación
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - El grupo tiene total libertad para trabajar con la estación meteorológica. Para ello, indagan sobre lo que puede servir cada una de las partes de los instrumentos de medida. También proceden a realizar el montaje de las distintas partes de la estación si es necesario. - En esta sesión el docente debe estar presente para facilitar aquello que pueda ser solicitado por el alumnado
Sesión 7: Medidas con la estación
Participantes: Cada grupo dedica dos horas de trabajo por separado
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Poner en marcha la estación meteorológica y proceder a la configuración entre la terminal que muestra los datos que recoge la estación meteorológica - Comprobar el funcionamiento de cada uno de los instrumentos de medida de la estación - Realizar medidas controlando distintas variables para comprobar si la toma de medidas se encuentra en un rango de medidas coherente - Recoger las medidas por escrito para poder analizar los datos - Lanzar hipótesis sobre las características que debe tener el lugar donde instalar la estación meteorológica
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - Misma metodología que en la sesión anterior. El alumnado debe utilizar la estación, lograr configurarla y conectarla al dispositivo que muestra las medidas. También tiene que intentar tomar medidas de las distintas magnitudes - Puede mover la estación del laboratorio y llevarla a distintas ubicaciones para diseñar las pruebas que considere oportunas. - El profesor guía la sesión para que el grupo pueda conectar la estación y pueda tomar medidas.
Sesión 8: Sesión de control
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Recopilar toda la información del trabajo del grupo sobre la investigación - Presentar la información haciendo usando un vocabulario científico - Identificar los instrumentos de medida con las magnitudes físicas que mide - Demostrar los aprendizajes relacionados con las magnitudes físicas asociados al instrumento - Detalla los procedimientos en la toma de datos y el control de variables que ha realizado - Proponer hipótesis para la posible ubicación de la estación argumentando la propuesta
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - Cada grupo realiza una exposición con todo lo que han trabajado a lo largo de las sesiones anteriores. - Tras la exposición de cada grupo el profesor realiza preguntas que permitan extraer información sobre la comprensión del trabajo expuesto - Generar un debate previo sobre posibles lugares para instalar la estación meteorológica - Esta sesión sirve para evaluar el desarrollo del aprendizaje del alumnado dentro de la SEA
Sesión 9: Búsqueda de ubicaciones para la estación
Participantes: Cada grupo dedica dos horas de trabajo por separado
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Buscar información en fuentes bibliográficas que corrobore las hipótesis lanzadas en el debate

<ul style="list-style-type: none"> - Documentarse sobre posibles ubicaciones dentro del centro que cumplan con las características establecidas - Diferenciar entre factores tecnológicos y físicos para elegir la ubicación - Realizar pruebas de campo en distintas ubicaciones que cumplan con las condiciones previas, preferiblemente con la propia estación - Proponer al menos una ubicación definitiva para la estación
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - El alumnado debe poner en funcionamiento toda la información de la que dispone para poder decidirse por al menos una ubicación que cumpla con los requisitos que previamente ha establecido y “descubierto” - Preferiblemente el alumno debe analizar las características del lugar, compararlo con las posibles ubicaciones dentro del centro y después hacer la prueba experimental de que dichas ubicaciones son válidas, identificando errores y resolviéndolos. Con ello debe elegir una ubicación definitiva. - El docente debe guiar la sesión evitando las elecciones que puedan poner en riesgo la integridad del proyecto.
Sesión 10: Elección de la ubicación
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Presentar la ubicación o ubicación elegidas - Justificar la elección en base a pruebas según parámetros tecnológicos y parámetros físicos - Identificar desventajas en la elección propia y ventajas en otras elecciones - Tomar decisión sobre la ubicación más adecuada en base a pruebas expuestas en la sesión
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - En primer lugar, cada grupo presenta su elección describiendo las características y justificando su elección - En segundo lugar, se abre un debate entre los cuatro grupos para elegir la ubicación más apropiada - Finalmente se decide una ubicación para colocar la estación - El docente debe guiar el debate, aunque no debe guiar la elección de la ubicación a la que él crea más oportuna

Tabla I.5. Desarrollo de la sesión 11 de la SEA.

Sesión 11: Sesión de control
Participantes: Todos los grupos conjuntamente
Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> - Exponer las distintas formas en las que se podría evaluar la ubicación de la estación - Relacionar el proyecto con un trabajo de índole científica y asociarlo a otros contextos - Comprender el papel de la ciencia y la tecnología en nuestra vida diaria - Evaluar su papel y el de su grupo dentro de la actividad
Metodología y desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> - Previamente a la sesión el alumnado debe entregar un informe escrito que incluya una valoración personal - Se realiza mediante una reunión virtual en la que cada grupo va respondiendo a las preguntas que realiza el profesor - Se pone en valor a todo el grupo por su participación en el proyecto.

En segundo lugar, se vinculan las sesiones a las sub-competencias y conocimientos.

Tabla I.6. Desarrollo de los conocimientos por grupos.

SESIONES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C1. Explicar fenómenos científica- mente	Conocimiento científico del problema		x	x	x		x	x	x	x	x	x
	Modelos o representación explicativa de un conocimiento e implicaciones para la sociedad y las personas	x				x			x		x	
	Predicciones, hipótesis y relaciones causales o correlaciones simples	x			x					x		
C2. Evaluar y diseñar la investiga- ción	Objetivos de un estudio y metodología		x		x	x			x	x	x	
	Cuestiones investigables	x	x		x					x		
	Trabajo de los científicos					x	x	x	x	x	x	x
C3. Interpretar Datos y pruebas científica- mente	Datos y representación		x					x				
	Validez de datos					x		x			x	x
	Argumentos y pruebas			x	x	x			x		x	

En relación a los conocimientos:

SESIONES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C1. De conten ido	Magnitudes físicas fundamentales asociadas al problema	x	x	x		x	x	x				
	Leyes y teorías físicas asociadas a las magnitudes	x				x					x	x
	Sobre meteorología	x	x			x	x	x		x	x	x
C2. Proce dimen tal	VARIABLES Y CONTROL DE VARIABLES	x	x	x			x	x		x		
	Medición, incertidumbres, replicabilidad y representación de datos			x			x	x		x		
	Diseño experimental					x	x	x		x	x	
C3. Episté mico	Naturaleza de la ciencia y la tecnología (observaciones, objetivos, compromisos...)					x		x	x			x
	Toma de datos y error. Influencia en el conocimiento							x		x		
	Uso de la ciencia y la tecnología para abordar problemas	x				x	x	x			x	x