

Instrumentos de medida como núcleo del proceso de enseñanza-aprendizaje en la formación de maestros

Julia Hinojosa Lobato 

Departamento de Educación Lingüística, Científica y Matemática. Universidad de Barcelona. España. juliahinojosa@ub.edu

Neus Sanmartí Puig 

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales. Universidad Autónoma de Barcelona. España. neus.sanmarti@uab.cat

[Recibido: 8 noviembre 2023, Revisado: 28 diciembre 2023, Aceptado: 4 abril 2024]

Resumen: En este trabajo se presentan los primeros resultados de una propuesta de enseñanza-aprendizaje en relación con cómo enseñar ciencias partiendo de un instrumento para medir magnitudes y cómo aprenden de forma significativa las alumnas del grado de magisterio. Se pretende que las futuras docentes aprendan ciencia, sobre ciencia y cómo explicar la misma, haciendo y reflexionando sobre en qué está basado un instrumento, su diseño, construcción, y cómo lo aplicamos para indagar. Se promueve una actividad científica indagatoria e ingenieril que a través de la instrumentalización dé importancia a la argumentación y la modelización aplicando procesos de indagación. Se presentan también los primeros resultados basándose en los informes y las reflexiones metacognitivas realizados por las alumnas. Se han identificado algunas dificultades y fortalezas de la metodología.

Palabras clave: Formación de maestras; enseñanza-aprendizaje; instrumentos de medida; indagación; STEM.

Measurement instruments as the core of the teaching-learning process in teacher training

Abstract: This paper presents the first results of a teaching-learning proposal in relation to how to teach science using an instrument for measuring magnitudes and how female students of the teaching degree learn in a meaningful way. The aim is for future teachers to learn science, about science and how to explain it, by doing and reflecting on what an instrument is based on, its design, construction, and how we apply it to investigate. An inquiry-based scientific and engineering activity is promoted which, through instrumentation, gives importance to argumentation and modelling by applying inquiry processes. The first results are also presented based on the reports and metacognitive reflections made by the students. Some difficulties and strengths of the methodology have been identified.

Keywords: Teacher training; teaching-learning; measuring instruments; inquiry; STEM.

Para citar este artículo: Hinojosa, J. y Sanmartí, N. (2024). Instrumentos de medida como núcleo del proceso de enseñanza-aprendizaje en la formación de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(2), 2602. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2602

Introducción

En la formación de maestras y maestros, el paso de su visión de un aula con propuestas didácticas de tipo transmisivo a otra en la que se promueva que el alumnado se plantee preguntas e indague sobre cómo darles respuesta no es fácil ni rápido. Requiere cambios: a) conceptuales: qué se entiende por ‘investigar’, por una pregunta investigable, por prueba, por argumento... y, en general, por ciencia y sobre qué conocimientos-conceptos-ideas es importante promover aprender en la escuela; b) metodológicos: cómo ayudar a establecer relaciones entre los trabajos prácticos y las ideas teóricas, cómo evaluar, cómo gestionar la clase y el tiempo, etc.; y, c) actitudinales, entre otros los relacionados con la inseguridad que genera cualquier cambio. Todo ello, comporta cambiar rutinas que están

muy establecidas, ya que las docentes las han vivido en toda su etapa de aprendices y son las que han observado en las prácticas de sus compañeros de profesión.

En este artículo se explica una experiencia que tiene como finalidad poner en práctica, en el marco de la formación de futuras maestras (la muestra estudiada estaba formada muy mayoritariamente por chicas) del grado de magisterio de la Universidad de Barcelona, una estrategia didáctica en la que se pudiera aprender ciencia, sobre ciencia y cómo promover su aprendizaje de forma significativa. Es decir, que construyeran conocimientos clave de ciencia y de los procesos que utiliza la ciencia para generarlos, y de cómo se pueden aplicar. Para ello se ha realizado una experiencia STEM basada en el diseño, construcción y aplicación de un instrumento de medición de magnitudes físicas y químicas, como núcleo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

La característica distintiva de la experiencia es su carácter plural, que comporta que las estudiantes han de: experimentar, indagando, cómo van aprendiendo sobre unos saberes específicos de ciencia; planificar e implementar una secuencia pensando en una posible transferencia en el aula; y evaluar-regular, en diversos momentos, las decisiones que van tomando de forma continuada, ya sea entre ellas en el marco de los equipos de trabajo, o a través de tutorías. Algunas de sus ideas y reflexiones se recogen en este escrito con la finalidad de valorar puntos fuertes de la experiencia y posibles aspectos a mejorar.

Fundamentación teórica de la experiencia

Actualmente los currículos se orientan a promover alumnos que sean competentes en ciencias, entendiéndose por competencia la capacidad de actuar en base a saberes, en el marco de esta experiencia tanto de la ciencia como de la tecnología, de manera que requiere no sólo del conocimiento de conceptos y teorías, sino también de los procedimientos y prácticas comunes relacionadas con la investigación científica y cómo éstas permiten que la ciencia avance. Las personas competentes en el campo de las ciencias tienen un conocimiento de los conceptos y las ideas principales que forman la base del pensamiento científico y tecnológico, de cómo se ha obtenido este conocimiento y del grado en que se justifica mediante pruebas o explicaciones teóricas (OCDE-PISA, 2023). Este saber son capaces de utilizarlo al actuar, ya sea para fundamentar acciones que promuevan la sostenibilidad ambiental o prácticas saludables, o en el desarrollo y uso de ingenios tecnológicos.

El problema principal de la enseñanza de las ciencias sigue siendo que, a menudo, los conocimientos científicos se saben decir, pero no se saben aplicar. Si la ciencia es una actividad (es un saber hacer) y no sólo un conjunto de conocimientos, la ciencia escolar debería ser una «tecnociencia», puesto que no podemos disociar los contenidos teóricos del proceso de intervención técnica que los fundamenta (Izquierdo et al., 1999).

En los últimos años, se han promovido desde diferentes ámbitos los proyectos STEM (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). Como señala Couso (2017), la alfabetización STEM muestra la voluntad competencial de poner en uso el conocimiento de cada una de las familias de disciplinas incluidas en STEM. Es decir, trabajar conocimientos de las disciplinas implicadas de forma más o menos integrada y, sobre todo, incorporar de forma explícita competencias transversales importantes en este siglo XXI: resolver problemas y hacerlo de forma creativa y crítica. En definitiva, la visión de estar alfabetizado en STEM se relaciona con ser capaz de identificar y aplicar tanto los conocimientos clave como las formas de hacer, pensar y hablar de la ciencia, la ingeniería y

la matemática, con la finalidad de comprender, decidir y/o actuar ante problemas complejos, y para construir soluciones creativas e innovadoras. Y todo ello, aprovechando las sinergias personales y las tecnologías disponibles, de forma crítica, reflexiva y con valores (Aguilera et al., 2021). Sin embargo, tal como indican Bogdan y García-Carmona (2021), los docentes que aplican este tipo de proyectos no han tenido una formación teórico-práctica mínima ni han experimentado qué es aprender saberes en un marco STEM. En esa línea, la experiencia que se comparte en este artículo ha tenido como objetivo promover una mejor formación de las maestras de primaria, especialmente en cuanto a la interrelación entre ciencia y tecnología.

Como señala Osborne (2014), el objetivo principal de una práctica científica escolar es desarrollar el conocimiento y la comprensión de los estudiantes, y cómo dicha práctica debería contribuir a saber qué saben (metacognición) y a construir conocimientos fiables. Ello implica situar las habilidades de crítica y evaluación en el centro del aprendizaje de la ciencia. Si las ciencias (y la tecnología) son el resultado de una actividad humana compleja, su aprendizaje no puede serlo menos: debe concebirse también como actividad y para ello debe tener la meta, el método y el campo de aplicaciones adecuados al contexto escolar, conectando con los valores del alumnado y con el objetivo de la escuela, que es promover la construcción de conocimientos y su evolución (Acevedo-Díaz, 2004).

Las prácticas de laboratorio se suelen presentar al alumnado desde diferentes enfoques educativos (Caamaño, 2004). Pueden estar desvinculadas del conocimiento teórico y planteadas sólo como introducción a técnicas experimentales, o con la intención de que los alumnos elaboren teoría como si fueran personas científicas, como estrategia para demostrar conocimientos teóricos, o con la finalidad de que, partiendo del análisis de fenómenos, se estimule la relación entre la teoría y la práctica (Márquez et al., 2003). En esta última opción se parte de que el alumnado dispone de unos modelos teóricos, a menudo alternativos o en construcción, que los pone a prueba al buscar como interpretar los fenómenos que observa, y reflexiona sobre la idoneidad de los instrumentos que utiliza y de las acciones que lleva a cabo para obtener dichas pruebas. Es decir, está aprendiendo a hacer y a interpretar simultáneamente, y en este aprendizaje es fundamental poder hablar (y escribir) sobre ello y contrastar las diferentes formas de pensar, hacer y hablar, de forma que se promueva la autorregulación (Fazio y Gallagher, 2019).

En la propuesta que se analiza en este escrito, se ha optado por este planteamiento, ya que se pretende promover una fuerte relación entre teoría y práctica, situando en el centro de las propuestas el diseño de instrumentos y la recogida de datos para promover la discusión de las ideas, ya que el objetivo final es transformar lo práctico en teórico. La actividad y el conocimiento docente tienen características muy relacionadas con el conocimiento tecnológico y la llamada ciencia del diseño. Requiere enfrentarse a problemas prácticos, seleccionar técnicas y materiales que obedezcan a un propósito, seguir un ciclo de diseño-ejecución-valoración, utilizar como principal criterio de validez su eficacia en unas condiciones concretas (sin aspiración de universalidad), transformar el saber y no solo conocerlo o explicarlo, generar un conocimiento genuino basado en el científico, pero no reductible sólo a su aplicación, etc. (Martínez Chico, 2014; Izquierdo, 2007). En el caso específico del diseño y uso de instrumentos, se observa un fenómeno y los instrumentos son mediadores entre la recogida de datos y su interpretación teórica. No es una relación simple, ya que de alguna forma condicionan dicha interpretación porque orientan y fijan la mirada de los datos.

El papel de los instrumentos en la historia de la ciencia y en la génesis de muchos conceptos es absolutamente relevante. El concepto de célula se generó gracias al invento del microscopio; también es bien conocida la relación entre el telescopio y el desarrollo de nuestra idea sobre el sistema solar; por no hablar de la física de partículas que no existiría si no fuera por el gran instrumento que suponen los aceleradores de partículas y los detectores de las mismas. Actualmente se generan grandes programas de investigación en los que científicos e ingenieros de muchos países colaboran estrechamente y la separación entre ciencia y tecnología parece borrarse, creándose un nuevo campo de conocimiento conjunto al que se conoce como “tecnociencia” (Udias, 2004). En la escuela utilizamos los instrumentos en el marco de los procedimientos experimentales, pero no ayudamos a entender que sin inventarlos la ciencia avanzaría poco (Williams, 2000; Ramírez Cano y Mora Penagos, 2018; Leal y Cabrera, 2021).

Por tanto, en la formación de maestros es importante incidir en su papel porque, además, posibilitan al alumnado en la etapa de primaria, empezar a diferenciar y abstraer conceptos. Por ejemplo, los de tiempo, temperatura, calor, peso, o masa, resultan difíciles de promover en los primeros años escolares, en parte debido a que las maestras solo los relacionan con una definición compleja y, a menudo matematizada en la que, además, se sienten inseguras. Se utilizan en el aula, pero sin que se promueva su construcción, por lo que los niños los confunden o refuerzan sus ideas previas alternativas. El uso de instrumentos es, pues, una buena estrategia que posibilita una primera construcción de conceptos funcionales, y ayuda a establecer diferencias entre algunos de ellos. En este sentido se puede vincular en primera instancia el tiempo a lo que mide el reloj, la temperatura a lo que mide el termómetro (en cambio el calor no se mide con un termómetro), y el peso a lo que mide el dinamómetro diferenciándolo de la masa que es la magnitud que se mide con una balanza. Además, también se puede trabajar el concepto de función conectado a los instrumentos. Su uso permite pues, «hablar, discutir y escribir sobre los fenómenos en los que se puede intervenir» y así promover la construcción de la ciencia escolar (Izquierdo et al., 1999).

Esta experiencia se sitúa pues en la línea de trabajo e investigación orientada a una formación de maestros centrada en promover que “*vivan* experiencias de aprendizaje científico que sigan el mismo enfoque que se pretende que ellos mismos implementen en sus futuros alumnos” (Amat González et al., 2022), y así no solo mejorar sus conocimientos de ciencia y sobre ciencia, sino también afrontar y superar la inseguridad que muchos tienen cuando han de abordar la enseñanza de las ciencias en sus aulas (Haefner y Zembal-Saul, 2004).

Dinámica de la experiencia

Los objetivos de la actividad eran promover que las estudiantes de magisterio:

- Se situaran en el papel de aprendizajes de saberes científico-tecnológicos que desconocían, y vivenciaran que podían superar su inseguridad ante este tipo de conocimiento.
- Se pusieran en el papel de futuras maestras con el propósito de que sus alumnos aprendieran sobre el papel de los instrumentos en la ciencia, y pensaran en cómo planificarían su futura actuación como docentes para que el aprendizaje fuera significativo.
- Reflexionaran sobre los saberes de todo tipo a poner en práctica para que su

competencia profesional como futuras maestras fuera eficaz.

El proceso diseñado se fundamenta en 5 etapas:

- Variable estudiada y su conceptualización (Ciencia).
- Diseño, construcción y calibración del instrumento (Tecnología e ingeniería).
- Testeo y evaluación del mismo (Matemáticas).
- Aplicación a alguna actividad o pequeña indagación (Resolución de problemas).
- Reflexión metacognitiva sobre la actividad realizada y su relación con la actividad científica en aulas de primaria (Evaluación).

Inicialmente estas etapas se compartieron con las alumnas a través de un ejemplo, el del instrumento ‘termómetro’ que se construyó ante ellas, incidiendo especialmente en la metarreflexión del sentido de cada una de las fases de construcción a partir de exponer ideas y prácticas, conversar y dialogar.

La propiedad estudiada en este caso fue la de la dilatación/contracción de las sustancias en general y, en particular, la del alcohol cuando varía su temperatura. Se aprovechó para relacionarlo con el conocimiento que tienen las futuras maestras sobre la materia, sus propiedades y los cambios, que para la mayoría son mínimos.

Seguidamente se procedió a diseñar un dispositivo en el que la dilatación del alcohol fuera visible, se calibró y se puso a prueba. Paralelamente se fueron fundamentando las razones de las distintas acciones que se llevaban a cabo, relacionándolas con sus conocimientos de ciencias, matemáticas y tecnología, y promoviendo la reflexión sobre sus ideas previas y su regulación.

Finalmente, se les pidió que plantearan propuestas de situaciones en las que podría tener sentido construir y utilizar el termómetro en el marco escolar, por ejemplo, para ver cómo evoluciona la temperatura a lo largo del día en el patio, su diferencia en función de las zonas, etc. La reflexión comportó deducir que, posiblemente, a partir de comparar datos surgen ‘buenas’ preguntas sobre las que continuar el proceso de indagación y, además, posibilitó hablar sobre qué las caracteriza (Furman et al., 2013).

A partir de esta modelización con relación al termómetro, se solicitó a las alumnas que, en pequeños grupos, planificaran cómo construir otro instrumento, aplicando cada una de las diferentes etapas. Se incidió especialmente en promover la metarreflexión sobre cómo se iría planificando y ejecutando cada una de ellas, y en estimular su autorregulación. En concreto, se les pidió que dicha metarreflexión se relacionara con los siguientes aspectos:

Variable estudiada

En relación a la selección del instrumento, se animó a las futuras maestras a pensar y justificar el sentido de construirlo en un contexto escolar (educación primaria), cómo se podría generar en el aula la necesidad de su uso y cómo se compartirían con las criaturas los objetivos que pretendían que aprendieran a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje. En especial, se incidió en que plantearan propuestas para promover la construcción de los conocimientos de Ciencia relacionados con las variables a medir.

Para escoger los instrumentos sobre los que desarrollaron su trabajo, procedieron de dos formas: unos equipos primero escogieron el instrumento, aplicando el criterio de que fuera fácil de construir y no les generara muchos problemas, y después pensaron qué podrían indagar con él; otros se plantearon al inicio lo que querían indagar y seguidamente lo

relacionaron con el instrumento que posibilitaría llevar a cabo la recogida de datos. En todos los casos, antes de construirlo se consensuó con el docente, que dio un *feedback* para que la decisión fuera plausible.

Una vez escogido el instrumento, tuvieron que identificar la variable dependiente que lo caracteriza y como se podría medir en función de parámetros conocidos la variable independiente. Son términos que la mayoría de las estudiantes desconocía, pero a través del ejemplo compartido anteriormente del termómetro, empezaron a representárselos (el alcohol varía su volumen, variable dependiente, en función de la temperatura, variable independiente, y es sabido que lo hace de forma lineal). Al mismo tiempo se recordaron (y, de hecho, se ayudó a comprender) conceptos matemáticos sobre tipos de relaciones entre variables.

Diseño y calibración

Una vez identificadas y estudiadas (a un nivel inicial) las variables dependiente e independiente, así como su relación, cada equipo diseñó el dispositivo experimental que había de permitir mostrar la variación y, en definitiva, realizar la medición. De nuevo se relacionó con el instrumento termómetro, y se ayudó a tomar conciencia de que en ese ejemplo se necesitó un recipiente (un tubo muy fino) por el que este se pudiera mover libremente una cierta cantidad de alcohol.

En este momento, las alumnas tuvieron que poner a prueba su creatividad y saberes ingenieriles, ya que habían de diseñar el dispositivo experimental que les debía permitir realizar medidas fundamentadas en el conocimiento científico que está en la base de la variable seleccionada, y controlar las otras variables que podrían afectar a los resultados.

A continuación, se incidió en cómo llevar a cabo la calibración. Habían de utilizar el dispositivo en una serie de situaciones preestablecidas que darían significado al instrumento. Se recordó que, en el caso del termómetro, primero se colocó en una mezcla de agua y trozos de hielo para marcar el nivel alcanzado por el alcohol como 0 °C y después se procedió de la misma manera con agua hirviendo para marcar el nivel de los 100 °C (dos arbitrariedades consensuadas). En este caso, como se había hablado de que la dilatación es lineal, sólo fue necesario dividir la escala en cien partes iguales. La conexión entre este ejemplo y el instrumento que construyeron buscaba ayudar a las alumnas en su metarreflexión sobre qué van pensando y haciendo, y porqué lo piensan y hacen.

Testeo y evaluación

En esta etapa se tenía que probar el instrumento y ponerlo a prueba en diversas situaciones, según la etapa escolar en la que se podría aplicar, para comparar los resultados y realizar un cálculo de errores, y así acercar ciencia y matemáticas con la finalidad de evaluar su funcionalidad.

Cuando se relacionó con el ejemplo del termómetro, recordaron que nos ayudamos de un patrón (un termómetro comercial) que se utilizó para comparar las mediciones de la temperatura de distintos líquidos. Se incidió especialmente en la necesidad de los registros y la cuantificación, y así relacionar su acción con el componente empírico de la ciencia, que era un objetivo de su aprendizaje. Se persiguió que tomaran conciencia de que el conocimiento científico necesita de evidencias que se obtienen a partir de la repetición de observaciones y mediciones. Por lo tanto, lo que se afirma científicamente está conectado en última instancia con la experiencia sensorial.

Aplicación

Ya solo faltaba planificar una pequeña o gran actividad experimental, relacionada con los planteamientos iniciales del equipo sobre el sentido de proponer la construcción y uso del instrumento en el contexto escolar, reconociendo que se tenía que en cuenta la facilidad de su elaboración y su robustez, ya que no hay que olvidar que el último destinatario será el alumnado de primaria. En ese momento, el dispositivo era simplemente un instrumento de medida al servicio de la indagación que extendía los sentidos más allá de lo que se podía ver, tocar u oír.

Esta última etapa del proceso es muy importante, ya que no se trata de construir el instrumento meramente como una actividad manipulativa, tecnológica o artística, sino como un utensilio para realizar indagaciones que se puedan llevar a cabo, en buena medida, con ayuda del instrumento construido y que posibilitara la construcción de ideas de la ciencia significativas. Por tanto, se insistió en que el objetivo de aprendizaje en el aula no era la construcción del instrumento (aunque sí que podría haber subobjetivos relacionados con el proceso de construcción).

Metacognición

Para que nuestro alumnado visibilizara su pensamiento a través del desarrollo de las distintas acciones aplicadas a lo largo de la experimentación científica, se reflexionó acerca de diferentes rutinas de pensamiento. Como muestran Gil Puente y Manso Bartolomé (2022), existe una gran variedad de ellas y, por tanto, se considera fundamental saber elegir qué tipo de rutina utilizar para conseguir aquellos objetivos didácticos que se quieren alcanzar y movimientos de pensamiento a desarrollar en el alumnado.

Para estimular que las futuras maestras reflexionaran metacognitivamente sobre la actividad realizada, se las animó a preguntarse y responder por escrito sobre: ¿Qué he aprendido? ¿Cómo lo he aprendido? ¿Para qué me ha servido? ¿Qué dudas y nuevas preguntas se me han generado? y ¿En qué otros contextos o situaciones lo podré utilizar? (estas preguntas a lo largo del curso se convirtieron en una rutina de pensamiento metacognitivo)

Paralelamente, a lo largo del proceso aplicado, se fueron trabajando conocimientos del campo de la didáctica de las ciencias, especialmente los relacionados con: ¿cómo generar una situación contextualizada y competencial para que surja la necesidad de crear el instrumento y posibilite el aprendizaje de saberes significativos?; ¿cómo ayudar a aprender a decidir cuáles son las buenas preguntas, investigables?; ¿cómo diseñar alguna actividad para identificar las ideas previas y continuar aprendiendo a partir de ellas?; ¿qué materiales caseros se pueden utilizar?; ¿cómo ayudar a los alumnos y alumnas a gestionar las dificultades y errores que van apareciendo, y que puedan tomar decisiones para mejorar? (se insistió en que los instrumentos defectuosos a veces brindan la posibilidad de una reflexión que de otra manera sería imposible y a partir de la cual se aprende mucho); ¿cómo organizar el trabajo del equipo para que sea eficaz y eficiente, y en el que todos los miembros aporten?; ¿cómo conversar en gran grupo de forma que todos piensen en sus ideas y las contrasten con las que se expresan? ¿cómo identificar el progreso en el aprendizaje utilizando rúbricas más menos completas?, etc.

Es decir, la experiencia posibilitó hablar de muchos aspectos de su futura actividad como maestras, algunos de ellos ya introducidos en otros momentos de su proceso de formación y que posibilitó profundizar en ellos a partir de aplicarlos en un nuevo problema y contexto.

En el último curso en que se aplicó la experiencia se llevó a cabo, además, la presentación de los instrumentos en gran grupo y, en su marco, se promovió la coevaluación (cada grupo tenía que argumentar una fortaleza y una debilidad de las presentadas por sus compañeras, con propuestas sobre cómo mejorar).

Estudio exploratorio de las ideas expresadas por las futuras maestras

Contexto

La actividad se enmarca en la formación inicial de maestras de primaria de la UB, en Didáctica de Física y Química. Se inició en el contexto de la formación a distancia debido al COVID (curso 20-21), con la finalidad de promover que las alumnas, en sus casas, manipularan e indagaran con materiales a su alcance. Al comprobar que había generado buenas producciones y reflexiones, se ha continuado aplicando en los dos cursos siguientes en formato presencial.

Finalidad

La finalidad de este estudio exploratorio ha sido recoger las principales reflexiones de las estudiantes que posibilitan valorar el interés de la experiencia y los posibles aspectos en los que centrar su mejora.

Muestra

Se han analizado datos de estos tres cursos, aunque fundamentalmente se recogen las reflexiones de las alumnas del primer año (utilizamos el término alumnas, ya que solo había un alumno). En ese curso la muestra fue de 28 (27 alumnas y un alumno). Durante la pandemia, sin tanta presión curricular ni administrativa y de forma excepcional, se dispuso de más tiempo y las reflexiones siendo más pausadas fueron también más fundamentadas. Nos reunimos de forma *on-line* tantas veces como las alumnas demandaron (unas tres o cuatro veces por instrumento) y la elaboración de la experiencia se extendió unas tres semanas (4 horas por semana aproximadamente). Los recursos se pensaron para que los instrumentos se pudieran construir de forma muy casera.

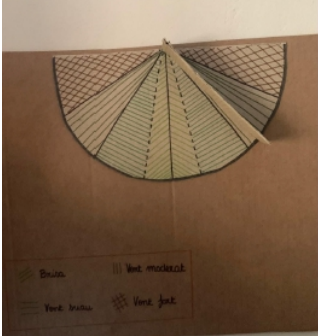
Cada alumna construyó su instrumento, aunque lo hicieron en el marco de grupos de trabajo, de 4, que tenían como objetivo común la construcción del mismo tipo de instrumento, y en los que compartían ideas, procedimientos y estrategias de construcción y de interpretación. En este primer curso, se construyeron 5 tipos de instrumentos (ver tabla 1) que surgieron de la propia iniciativa de las alumnas o de propuestas del docente. Dos de ellos, el reloj (1) y el anemómetro, se repitieron.

Datos

Se recogieron datos de dos fuentes:

1. Los informes escritos de los grupos de alumnas sobre la fundamentación, el diseño, la construcción, la calibración, la evaluación y la aplicación del instrumento, y sobre su aplicación didáctica como futuras maestras.
2. Las respuestas individuales a las cuestiones planteadas en el guion de trabajo propuesto, relacionadas con sus reflexiones metacognitivas.

Tabla 1. Diferentes instrumentos contruidos por las futuras maestras.

Instrumento	Basado en	Se mide	Fotografía	Ejemplos de aplicaciones
pHmetro (medidor/ indicador de pH)	Reacción química	Ácido-base	 (Arriba la de una alumna y abajo escala pH de Internet)	Determinación del pH de sustancias cotidianas de forma cualitativa
Báscula	Elasticidad	Fuerza		Para medir las cantidades de una receta en el aula de cocina
Anemómetro	Fuerza aerodinámica	Velocidad del aire		Medida del viento cualitativa de forma sistemática (estación meteorológica). Decidir si se puede jugar en el patio a pelota.
Reloj (1)	Movimiento uniforme (paso de la arena)	Tiempo		Tiempo para dar respuestas o exposiciones en clase
Reloj (2)	Movimiento uniforme (combustión)	Tiempo	 Quemando incienso	Tiempo de ejercicios de interiorización

Principales temas en los que centran las alumnas sus reflexiones

Se han analizado las principales ideas en las que inciden las alumnas en sus reflexiones alrededor de tres ejes:

- a) Eje del conocimiento en los campos del saber implicados en la experiencia y de cómo se generan (científico, tecnológico y matemático).
- b) Eje del conocimiento didáctico relacionado con el papel de los instrumentos en el aprendizaje de las ciencias y las necesidades de sus futuros alumnos y alumnas para que este aprendizaje sea significativo.
- c) Eje de la competencia profesional necesaria para que su práctica como futuras maestras sea eficaz.

Finalmente se han recogido algunos de los obstáculos y dificultades detectados para que el aprendizaje de alguna de las futuras maestras sea significativo.

Eje del conocimiento de los saberes implicados y en cómo se generan

- Con relación a la Ciencia.
 - Revisan sus conocimientos clave de Ciencia asociados a cada instrumento y los aplican para interpretar los fenómenos observados: “Lo que he repasado, y que tenía medio olvidado desde que lo estudié en la escuela, son las reacciones químicas y sus propiedades. Actualmente, tengo un modelo de la materia más claro con lo que puedo explicar qué ocurre en una reacción química, como es el caso de la práctica. En ésta, la disolución de alcohol y col lombarda reacciona con la sustancia que aplicamos, el jugo de limón, por ejemplo, y se produce un cambio en la estructura interna de la materia mediante la rotura y la formación de enlaces y la reordenación de átomos. Como resultado, se obtiene una materia que es diferente de los dos reactivos iniciales. En la práctica, el cambio es visible porque hay una variación en el color según su acidez”.
 - Explican fenómenos científicamente, “la contaminación impide la vida (de los peces) en algunas zonas porque los productos que se vierten al mar modifican su pH natural”.
 - Reflexionan sobre su proceso de indagación, “He aprendido a partir de la experimentación, de hacerme preguntas y de establecer relaciones entre lo que he experimentado y el modelo que hemos tratado durante las clases” y se puede reconocer como integran acciones y modelos.
 - Relacionan teoría y experimentos: “la experimentación me ha permitido relacionar la teoría estudiada con los resultados obtenidos durante la creación y aplicación del instrumento”.
 - Generan preguntas u objetivos investigables, que articulan claramente aplicaciones en las que el instrumento pasa a ser un utensilio para desarrollar la indagación: “utilizar el instrumento para medir si la saliva humana cambia de pH en determinadas situaciones”.
 - Interpretan datos y pruebas desde una perspectiva de comunidad científica (se discutió una noticia que declaraba que los alimentos con un pH más alcalino ayudan a combatir la Covid-19, en la que se exponían ideas sin fundamento, y

la criticaron a la luz de su nuevo conocimiento sobre el pH). Expresan: “el hecho de poner en común lo que habíamos hecho, plantear nuevas preguntas y comparar los resultados que había obtenido todo el mundo es algo muy enriquecedor y que sirve para profundizar mucho más en los aprendizajes”.

- Con relación a la Tecnología
 - Proponen soluciones técnicas más o menos creativas, adoptando compromisos muchas veces en aras de la sencillez, sostenibilidad y robustez, que tienen en cuenta, dado que su objetivo último es llevar a cabo la experiencia en aulas de primaria: “Por otra parte, consideramos que la elaboración de instrumento a partir de material reutilizado como puede ser una caja de zapatos, fácilmente disponible, es uno de los grandes aciertos de la propuesta. También, es fundamental que sea sencillo al construirlo y, al mismo tiempo, resistente, fácil de transportar y seguro.”
 - Exploran y evalúan formas de diseñar y fabricar el instrumento afrontando la solución de diferentes problemas técnicos: “Esto ha provocado que tuviéramos muchas dificultades para conseguir que funcionara de forma fluida, ya que por culpa de la humedad el reloj se paraba en algunos momentos (reloj hecho con azúcar). En consecuencia, hemos tenido algunos problemas durante el proceso de ajuste del instrumento, que finalmente solucionamos haciendo un mayor agujero en el tapón. Además, al no tratarse de un instrumento con una forma de embudo perfecto, también deberíamos tener en cuenta que hay más margen de error porque una parte del azúcar se queda en el tapón que separa a los dos cuellos de las botellas.”

Es decir, el diseño del instrumento se materializó en un artefacto que relacionó el conocimiento tecnológico con el científico, y promovió que cada estudiante reflexionara sobre los conocimientos en estos dos campos que fueron necesarios para poner en práctica su diseño. Es decir, el artefacto se convierte en un instrumento científico (Ramírez Cano y Mora Penagos, 2018).

- Con relación a las Matemáticas:
 - Evalúan y argumentan las posibles causas del error en función los conocimientos adquiridos: “El motivo del calcular de error es que la goma no es igual de elástica en todos sus puntos.”
 - Cuantifican los errores cometidos: “No es un reloj fiable para medir unidades de tiempo pequeñas (minutos) porque el error relativo es bastante elevado (error relativo del 11%). Para medir horas es relativamente preciso, porque nos permite hacernos una idea general del paso del tiempo.”
 - Utilizan las matemáticas como las personas científicas, y detectan la importancia de identificar patrones que verifican sus modelos: “He tenido que detectar patrones y comunicarlos construyendo respuestas coherentes con el conocimiento científico.”

Eje del conocimiento didáctico

- Reconocen la importancia didáctica del instrumento: “He tomado conciencia de la importancia del instrumento para que no se tratara tan sólo de una manualidad, sino que permitiera desarrollar y enseñar contenidos científicos curriculares.”

- Destacan variables del conocimiento didáctico que posibilita poner en práctica la actividad realizada: “Construir un instrumento puede ser sencillo, da muy buenos resultados y deja paso a procesos cognitivos complejos; permite a los alumnos relacionar, a partir de la experimentación, sus experiencias previas con nuevos conocimientos que son contextualizados, funcionales y significativos.”
- Inciden en la necesidad de la materialización como medio para apropiarse de los conceptos científicos e implica el aterrizaje de las ideas teóricas en soluciones concretas tomando en consideración los recursos disponibles (Simarro Rodríguez y Couso, 2022): “La mejor manera de alcanzar ciertos conocimientos es enfrentándose a éstos, utilizándolos y experimentando con ellos. ...considero que, si no hubiésemos tenido que elaborar la balanza, no habríamos adquirido los conocimientos esperados ni tampoco la visión completa del trabajo”. Como se observa, esta alumna casi parafrasea a Osborne y Dillon (2008) cuando proponen involucrar a los estudiantes a través de los fenómenos, algo que se logra mejor proporcionando oportunidades para vivenciar la indagación y realizar actividades manipulativas, y no a través de la transmisión de conceptos.
- Enfatizan el papel de la discusión/reflexión alrededor de la propia práctica para promover el aprendizaje: “Creo que es esencial entender la importancia de generar conversación con relación a los experimentos que se puedan hacer para promover que el alumnado reflexione sobre su propia práctica y sepa poner palabras a aquello sobre lo que ha experimentado.”
- Valoran la puerta abierta a la curiosidad que promueve la indagación: “Por otra parte, me gustaría hacer referencia a la segunda parte del experimento donde he dejado de utilizar sustancias que ya sabía si eran ácidas o básicas para comenzar a experimentar con otras que simplemente tenía curiosidad por poderlas clasificar. *La curiosidad es un aspecto clave para el aprendizaje profundo y, personalmente, pienso que no es tan importante lo que los maestros hacen que aprendamos sino reconocer aquellas oportunidades donde el alumnado tiene curiosidad y saberlas aprovechar [subrayado por la alumna].* En mi caso, me di cuenta que en este momento mi interés por el experimento era curiosidad pura y, es por eso, que decidí seguir experimentando con sustancias al azar para poder probar, sorprenderme, investigar, observar qué pasaba, etc.”
- Aprecian el valor del diálogo entre docente y estudiante como algo imprescindible en el proceso de enseñanza-aprendizaje: “Creo que el diálogo que genere el docente es imprescindible para llevar una práctica más allá y que ésta no se quede como un aspecto anecdótico”.

A partir de sus reflexiones, las futuras maestras muestran que los instrumentos son importantes en la construcción de conocimientos significativos, y desarrollan su capacidad para planear, organizar, ejecutar y autocriticar el trabajo de investigación que se han propuesto. Al mismo tiempo, reconocen el rol clave que tiene la comunicación oral y escrita, así como el trabajo en equipo (Leal y Cabrera, 2021).

Eje de la competencia profesional

Reflexionan sobre su práctica como maestras para que la actividad sea aplicable en su aula, y lo hacen a diferentes niveles:

- A nivel de eficacia: “Remarcar la importancia de hacer los experimentos en casa y, a ser posible, más de una vez antes de llevarlos a cabo en el aula con los alumnos.”
- A nivel de seguridad: “A nivel de seguridad, yo me quemé el dedo al utilizar silicona caliente, así que no considero que sea seguro que la utilicen los alumnos y alumnas de primaria. Puede que esta parte debería hacerla la maestra o buscar otra solución al uso de silicona caliente.”
- A nivel de autonomía: “El anemómetro de Eliana es mucho más factible para realizar en un aula, porque requiere mucho menos material y la construcción es mucho más sencilla que la de los otros dos, que requieren más tiempo y destrezas”. En general se ha evidenciado un buen nivel de autonomía para construir los dispositivos, siempre con la retroalimentación generada a partir de la discusión en grupo.

Algunos obstáculos y dificultades detectados

En unos informes se constata que algunas alumnas no han interiorizado la interrelación entre modelo teórico y la práctica, y se quedan únicamente en la manipulación instrumental: "Creo que esta práctica ha sido útil para mi propia adquisición de conocimiento, puesto que ahora soy capaz de decir si un producto es ácido o básico y comprobarlo con el instrumento de medida en función del color que adopta la disolución". Tampoco identifican el conocimiento didáctico que se promovió.

Incluso, en algunos casos, piensan más en posibles aplicaciones artísticas sin relación con los objetivos científicos y didácticos asociados al trabajo realizado: “Me pregunto, si a través de este instrumento encontramos diferentes colores, ¿se podrían hacer acuarelas naturales con estos colores y que se pudieran conservar?”.

Reflexiones finales y propuestas para avanzar

Los datos analizados muestran que poner en el centro de la propuesta didáctica el papel de los instrumentos de medida en la génesis del conocimiento científico, es algo concreto y manipulable que estimula el establecimiento de relaciones entre su diseño y las acciones aplicadas, y entre el pensamiento y la interpretación. Se ha mostrado como promueve en las alumnas pensar en las acciones que se llevan a cabo y cómo se hacen, en qué pruebas se recogen con el instrumento y su dependencia con el modelo teórico que lo fundamenta, y así comenzar a establecer relaciones entre todo ello. Los instrumentos científicos guardan por sí mismo un potencial que permite al estudiante interrogar la naturaleza de tal manera que esta se despliega de acuerdo con la manera en que se le interroga, al tiempo que permite cultivar una imagen de ciencia humana y contextualizada (Leal y Cabrera, 2021).

Según Worth et al. (2009), los estudiantes necesitan tener experiencia directa con los fenómenos que están estudiando, ya que esa experiencia los lleva a construir su comprensión del mundo que les rodea y las palabras por sí solas no son suficientes para cambiar sus ideas iniciales. La experiencia permitió comprobar que la elaboración del instrumento promovió el interés de las futuras maestras por su construcción, por explicar cómo funciona y para pensar en sus posibles aplicaciones (científicas y didácticas), yendo más allá de despertar una curiosidad pasajera, que en palabras ya históricas de Roger Cousinet (1967:161) no debe confundirse con interés: “La curiosidad es la atracción y el deseo por algo nuevo (...). Si el objeto de la investigación no corresponde a intereses profundos del alumnado, satisfará su curiosidad, pero su interés se desvanecerá rápidamente (...). La curiosidad no es un soporte o aliado del interés, sino su enemigo más

peligroso”. Cousinet explicaba que el interés se relaciona con mantener un objetivo a lo largo de un período de tiempo, a partir de *pensar* en diferentes aspectos posiblemente necesarios para alcanzarlo (ideas a activar, variables a tener en cuenta...), y de *actuar* (observar, manipular, investigar, y también, leer, preguntarse, conversar...). Las buenas preguntas del alumnado, las que despiertan las ganas de saber (por qué..., cómo se podría comprobar que..., qué pasaría si...) surgen mientras se está actuando, particularmente cuando se promueve hacerlo problematizando, incluso, si inicialmente no hay demasiado deseo por conocer (Garriga et al., 2012). A partir de la actividad realizada se pudo evidenciar que si bien al inicio no era una temática que motivara a las futuras maestras, poco a poco mayoritariamente se fueron implicando y, además, se sintieron bien al comprobar que habían sido capaces de llegar a elaborar un instrumento y de entender su fundamentación.

Uno de los retos que la experiencia ha puesto de manifiesto es la necesidad de evitar que los montajes sean complejos (y que su dificultad promueva que los alumnos, cuando se aplique en las aulas, se centren más en la construcción que en el pensamiento asociado al porqué de su funcionamiento y al objetivo de aprendizaje, así como en elementos más llamativos que distraen de percibir dicho objetivo (“los árboles no dejan ver el bosque”) o que no se pueden explicar (todo sucede por “arte de magia”). En este sentido, las futuras maestras reconocieron la importancia de la conversación e intercambio de puntos de vista, ya que en estos momentos se fomentaba la reflexión y el análisis sobre por qué hacen lo que hacen y sobre los resultados obtenidos y las dificultades encontradas. Hablar sobre todo ello les proporcionó oportunidades para profundizar en sus argumentos y evaluarlos, centrándolos no solo en el resultado (el instrumento construido) sino muy especialmente en el proceso. Como señalan Gómez Ruíz y Quesada Serra (2017), la regulación de las ideas y de las maneras de hacer y de hablar (y de sentir) se promueve a partir de dar y recibir una retroalimentación que ayude a reconducir aquello que no cumple con las propias expectativas.

En esta secuencia didáctica las alumnas se han puesto en la piel de una investigadora, de una ingeniera y de una maestra. Primero para saber en qué se fundamentaba el instrumento, después para construirlo y evaluarlo, y finalmente, para pensar en cómo aplicarlo en posibles actividades con su alumnado y en todo aquello que es necesario prever para implementarlas en el aula de manera que promueva un aprendizaje significativo. Aunque el análisis realizado de la experiencia tiene sus limitaciones y llegar a conclusiones bien fundamentadas requeriría comparar de forma más sistemática lo sucedido en los tres cursos, y las posibles condiciones para su aplicación y recogida de datos (tiempo disponible, características de cada grupo de alumnas, cambios curriculares, inconvenientes durante la pandemia de Covid-19, relación con lo que se trabaja en asignaturas paralelas...), se puede inferir que el diseño de esta secuencia STEM puede posibilitar a las futuras maestras aprender ciencia, sobre ciencia y sobre como promover su aprendizaje, así como disminuir su inseguridad para abordar temáticas que desconocen y, en un principio, valoran que no son capaces de enseñar (Haefner y Zembal-Saul, 2004). Como bien detectan Bogdan y García-Carmona (2021), revisar como se promueve la formación de los docentes en relación a la génesis y aplicación en las aulas de proyectos en la línea STEM, es una condición necesaria (aunque no suficiente) para que se pueda evaluar su validez.

Agradecimientos

Esta investigación se ha desarrollado en el marco del proyecto PID2022-138166NB-C22b financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Gobierno de España) y con el apoyo del grupo de investigación SGR ACELEC ref.2021 SGR 00647 (Generalitat de Catalunya).

Referencias

- Acevedo-Díaz, J.M. (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.
- Aguilera, D., Lupiáñez, J. L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2021). In Search of a Long-Awaited Consensus on Disciplinary Integration in STEM Education. *Mathematics*, 9(6), 597. <https://doi.org/10.3390/math9060597>
- Amat González, A., Martínez-Chico, M. y Jiménez-Liso, M. R. (2022). Formación de maestras por implementación de secuencias en su propio contexto de aula: red sistémica para el análisis de las entrevistas pre-post. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado. Continuación de La Antigua Revista de Escuelas Normales*, 97(36.1). <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.91928>
- Bogdan Toma, R. y García-Carmona, A. (2021). “De STEM nos gusta todo menos STEM”. Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Caamaño Ros, A. (2004). Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones: ¿una clasificación útil de los trabajos prácticos? *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 39, 8–19.
- Cousinet, R. (1967). *La escuela nueva*. Barcelona: Ed Miracle.
- Couso, D. (2017). Per a què estem a STEM? Un intent de definir l’alfabetització STEM per a tothom i amb valors. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, 34, 22-30. <https://raco.cat/index.php/Ciències/article/view/338034>
- Fazio, X. y Gallagher, T. L. (2019). Science and Language Integration in Elementary Classrooms: Instructional Enactments and Student Learning Outcomes. *Research in Science Education*, 49(4), 959–976. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9850-z>
- Furman, M., Barreto Pérez, M.C. y Sanmartí, N. (2013). El proceso de aprender a plantear preguntas investigables. *Educació Química*, 14, 1–16. <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.102>
- Garriga, N., Pigrau, T. y Sanmartí, N. (2012). Cap a una pràctica de projectes orientats a la modelització. *Ciències*, 21, 18–28. <https://raco.cat/index.php/Ciències/article/view/252512>
- Gil Puente, C. y Manso Bartolomé, A. (2022). Visibilizar el pensamiento a través de la enseñanza de las ciencias experimentales en Educación Infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1201

- Gómez Ruíz, M. A. y Quesada Serra, V. (2017). Coevaluación o Evaluación Compartida en el Contexto Universitario: La Percepción del Alumnado de Primer Curso. *Revista Iberoamericana De Evaluación Educativa*, 10(2). <https://doi.org/10.15366/rie2017.10.2.001>
- Haefner, L. A. y Zembal-Saul, C. (2004). Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1653–1674. <https://doi.org/10.1080/0950069042000230709>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 45–59. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4104>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125–138. <https://raco.cat/index.php/EnsenanzaCS/article/view/126338>
- Leal, A. y Cabrera, H. (2021). Estado del arte sobre los instrumentos científicos en la enseñanza de las ciencias (2009-2019). Un análisis bibliométrico. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 49, 311-332. <https://doi.org/10.17227/ted.num49-10271>
- Márquez, C., Roca, M. y Via, A. (2003). Plantejar bones preguntes: El punt de partida per mirar, veure i explicar amb sentit. En N. Sanmartí (Coord.), *Aprender ciència tot aprenent a escriure ciències*. Barcelona: Edicions 62.
- Martínez Chico, M. (2014). Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza [Tesis de doctorado]. Universidad Almería.
- OCDE-PISA (2023). PISA 2025 Science Framework (Draft). OCDE. https://pisa-framework.oecd.org/science2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. Informe Nuffield (Nuffield Foundation), UK.
- Ramírez Cano, J. W. y Mora Penagos, W. M. (2018). El diseño de instrumentos científicos como articulador de la educación en ciencias y la educación en tecnología. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Extraordinario). <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/8686>
- Simarro Rodríguez, C., y Couso, D. (2022). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(3), 147-164. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507>
- Udías, A. (2004). *Historia de la física: de Arquímedes a Einstein*. Madrid: Síntesis.
- Williams, P. J. (2000). Design: The Only Methodology of Technology? *Journal of Technology Education*, 11(2), 48–60. <https://doi.org/10.21061/jte.v11i2.a.4>
- Worth, K., Duque, M. y Saltiel, E. (2009). *Designing and implementing inquiry-based science units for primary education. The Pollen project*. <https://fondation-lamap.org/node/7986>