

Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación

Design and usability of IndagApp: an app for inquiry-based science education



- Iraya Yáñez-Pérez - *Universidad de Burgos, UBU (España)*
 Radu Bogdan Toma - *Universidad de Burgos, UBU (España)*
 Jesús Ángel Meneses-Villagrà - *Universidad de Burgos, UBU (España)*

RESUMEN

La indagación es una metodología didáctica que promueve el desarrollo de competencias científicas y el aprendizaje significativo de las ciencias. Sin embargo, su implementación en el contexto educativo español se enfrenta a diversas barreras, como la falta de recursos y formación docente. El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar la usabilidad de IndagApp, un recurso TIC que facilita la enseñanza de las ciencias por indagación con alumnado de 10 a 14 años de edad. Se utilizó un diseño de métodos mixtos convergentes, con un muestreo intencional compuesto por un panel de 14 expertos de distintas disciplinas. Los resultados cuantitativos mostraron una usabilidad elevada de la app, mientras que los cualitativos permitieron mejorar la interfaz del usuario, incluir estrategias de andamiaje y alinear el recurso con las demandas curriculares. A partir de este proceso se realizó una mejora de la app que, en su versión mejorada, consta de diez indagaciones que abordan contenidos centrales del nuevo currículo de la LOMLOE. Además, se han diseñado recursos de apoyo para su implementación, como programas-guía para el profesorado y fichas de clase imprimibles para el alumnado. En conjunto, este recurso se presenta como pertinente e innovador para la transposición didáctica de la indagación, brindando a la comunidad educativa e investigadora iberoamericana una herramienta valiosa para la enseñanza de las ciencias. Se propone el desarrollo de investigaciones que aborden el análisis del uso y la percepción de la usabilidad del recurso en potenciales usuarios del ámbito de la Educación Primaria y Secundaria.

Palabras clave: aprendizaje basado en simulación; aprendizaje móvil; app educativa; laboratorios virtuales; indagación científica.

ABSTRACT

Inquiry is a didactic methodology that promotes the development of scientific competencies and the meaningful learning of science. However, its implementation in the Spanish educational context faces various barriers, such as the lack of both resources and teacher training. The objective of this study was to design and evaluate the usability of IndagApp; an ICT resource that facilitates the teaching of science by inquiry with students aged 10 to 14. A convergent mixed methods design was used, with an intentional sampling composed of a panel of 14 experts from different disciplines. The quantitative results showed high usability of the app, while the qualitative ones allowed for improving the user interface, including scaffolding strategies and aligning the resource with the curricular demands. From this process, an improvement of the app was made, which in its improved version consists of ten inquiries that address the central contents of the new LOMLOE curriculum. In addition, support resources have been designed for its implementation, such as guide programs for teachers and printable class sheets for students. Taken together, this resource is relevant and innovative for the didactic transposition of inquiry, providing the Ibero-American educational and research community with a valuable tool for the teaching of science. Future research delving into the usage and perceived usability among potential users in Primary and Secondary Education is warranted.

Keywords: simulation-based learning; mobile learning; educational app; virtual labs; scientific inquiry.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza basada en la indagación desempeña un papel fundamental en la educación científica en todo el mundo, incluyendo España (Morales et al., 2018; Schwartz et al., 2023). Esta difiere de los métodos tradicionales enfocados en la transmisión explícita de conceptos y hechos, ya que promueve un aprendizaje activo que invita al alumnado a explorar y descubrir dichos conceptos mediante prácticas científicas (Aditomo y Klieme, 2020; Alzate y Guevara, 2021; Toma, 2022). La metodología indagatoria pone énfasis en el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la experimentación (Akerson y Bartels, 2023; Teig et al., 2022). Su objetivo es cultivar una comprensión más profunda de los principios científicos y fomentar la alfabetización científica de los estudiantes (García-Carmona, 2020; Romero-Ariza, 2017). Sin embargo, implementar la indagación con éxito es difícil debido a problemas de gestión del tiempo y del aula, a la escasez de recursos y a la falta de conocimiento didáctico del contenido por parte del profesorado (Baroudi y Helder, 2019; Chichekian et al., 2016; Romero-Ariza et al., 2019). Uno de los principales obstáculos para su adopción es la falta de materiales y kits educativos específicamente diseñados para una educación científica basada en la indagación (Fang, 2020). Además, la disponibilidad y accesibilidad de los recursos necesarios, como equipos y materiales de laboratorio, pueden ser limitadas, lo que dificulta aún más la implementación de prácticas basadas en la indagación (Zhang, 2016).

Considerando este contexto, en este manuscrito se presenta el diseño, desarrollo y evaluación de usabilidad de IndagApp. Esta app educativa pretende abordar y reducir las barreras que enfrentan los docentes al implementar la indagación en la educación científica. El proyecto busca desarrollar una solución práctica que capacite a los docentes para adoptar eficazmente esta estrategia pedagógica para la enseñanza de las ciencias. El objetivo es proporcionar un recurso que sea fácilmente accesible y que fomente las prácticas de enseñanza y aprendizaje que han ido demandando en las últimas décadas los planes de estudio iberoamericanos en general (Morales et al., 2018; 2022), y los españoles en particular (Criado et al., 2014; LOMLOE, 2020). Todo ello, respaldado por la investigación en didáctica de las ciencias (Aguilera y Perales-Palacios, 2020; Lazonder y Harmsen, 2016; Romero-Ariza, 2017; Savelsbergh et al., 2016).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Enseñanza de las ciencias por indagación

Durante décadas, la indagación científica ha estado sujeta a distintas interpretaciones y conceptualizaciones (Vorholzer y von Aufschnaiter, 2019). Por ende, a pesar de la popularidad de las pedagogías basadas en la indagación, no hay un enfoque único para su transposición didáctica. Según Crawford (2014)

y Schwartz et al. (2023) existen distintas formas de involucrar al alumnado en indagaciones científicas, como el aprendizaje basado en proyectos, la ciencia ciudadana o la indagación basada en modelos, entre otros. Sin embargo, las distintas conceptualizaciones de una educación científica basada en la indagación tienen aspectos comunes: abordan un problema central, emplean procedimientos experimentales para la recopilación de datos y pretenden desarrollar conclusiones (Osborne, 2014; Pedaste et al., 2015; Toma, 2021a). Por ello, aunque coexisten varias interpretaciones y definiciones de la indagación, su uso pedagógico implica que los estudiantes emulen el quehacer de los científicos. Esto incluye prácticas como la formulación de preguntas de investigación, el diseño y la realización de experimentos, el análisis de datos y la obtención de conclusiones (Crawford, 2014; García-Carmona, 2020; Schwartz et al., 2023).

Pedaste et al. (2015) propusieron varios ciclos de indagación para la transposición didáctica de esta metodología. Se trata de cinco fases interrelacionadas y cíclicas: orientación, conceptualización, investigación, conclusión y discusión. Este ciclo ayuda a profesores y estudiantes a formular preguntas e hipótesis, proponer diseños experimentales, recopilar y analizar datos y, comunicar resultados de manera efectiva (Rönnebeck et al., 2016; Vorholzer y von Aufschnaiter, 2019). Además, es común usar un continuum para categorizar los tipos de indagación existentes según el andamiaje o la ayuda ofrecida por el docente (Fang et al., 2016; Schwartz et al., 2023). En el nivel más bajo se encuentra la indagación confirmatoria, que se asemeja a actividades prácticas de tipo recetario y en las que los estudiantes se limitan a confirmar un fenómeno científico cuya respuesta conocen de antemano. A continuación, se encuentra la indagación estructurada, en la que el profesor determina la pregunta de investigación y el procedimiento a seguir y, además, se utilizan estrategias de apoyo; no obstante, el alumnado desconoce los resultados que se han de obtener. En la indagación guiada, los estudiantes desarrollan un procedimiento para responder a una pregunta proporcionada por el profesor cuyo resultado asimismo desconocen. Finalmente, en la cúspide del continuum se encuentra la indagación abierta, en la que los estudiantes siguen investigaciones autodirigidas con poca ayuda o apoyo por parte del docente.

En España, la literatura sobre el uso de la indagación está en auge, tanto en la educación formal como en la informal (Alarcón-Orozco et al., 2022; Alzate y Guevara, 2021; Morales et al., 2018, 2022). Además, la indagación se ha fomentado tanto en los currículos anteriores (LOE, 2006; LOMCE, 2013) como en el actual (LOMLOE, 2020). Específicamente, el currículo establece un bloque común en la etapa de Educación Primaria, llamado “Cultura Científica”, que pretende iniciar al alumnado en la actividad científica para que desarrollen habilidades y estrategias del pensamiento científico a través de la investigación. Así, los contenidos de este bloque ponen en valor el impacto de la ciencia en nuestra sociedad (Real Decreto 157/2022).

Las TIC para la enseñanza de las ciencias

La importancia de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la educación científica ha aumentado en los últimos años. Investigaciones recientes indican que los ordenadores y las tabletas son eficaces para enseñar y aprender ciencias. En efecto, en su revisión sistemática de la literatura, Scalise et al. (2011) concluyeron que los laboratorios virtuales y las simulaciones pueden mejorar el aprendizaje de conceptos científicos. Igualmente, tras revisar 61 investigaciones empíricas, Smetana y Bell (2012) encontraron que las simulaciones computacionales son efectivas para enseñar ciencias y pueden ser más efectivas que las clases tradicionales y los libros de texto para promover el cambio conceptual y el desarrollo de habilidades. La literatura señala también varias ventajas del uso de laboratorios virtuales: reducen el coste de equipamiento y materiales, son accesibles en cualquier momento y lugar, los resultados de aprendizaje son similares a los de los laboratorios prácticos tradicionales y, permiten desarrollar habilidades prácticas a través de la experimentación (Ali et al., 2022; Aljuhani et al., 2018; Silva-Díaz et al., 2022).

En la actualidad, existen varios recursos con simulaciones virtuales, como PhET Colorado y ChemCollective. El uso de estas herramientas por parte del profesorado ha demostrado resultados favorables tanto en estudiantes de Educación Primaria (Bozzo et al., 2022) como de Secundaria (Bravo et al., 2019) y Universidad (Roll et al., 2018). Sin embargo, se trata de recursos que se asemejan a indagaciones confirmatorias o prácticas de laboratorio de tipo receta que implican seguir instrucciones para confirmar un fenómeno. Además, estos recursos presentan limitaciones en tanto que están descontextualizados de una situación problemática y prescinden de las fases de una indagación auténtica (Pedaste et al., 2015), como la formulación de preguntas e hipótesis o la identificación de variables en el experimento, enfocándose únicamente en la simulación experimental. Por lo tanto, se requiere un recurso que aborde todas las etapas de una indagación, lo que ayudaría al profesorado a adoptar la metodología y al alumnado a comprender las prácticas científicas.

Evaluación de usabilidad de recursos TIC

Las TIC tienen un impacto significativo tanto en la experiencia de aprendizaje como en la eficacia educativa (Silva-Díaz et al., 2022). Por este motivo, es crucial evaluar la usabilidad percibida por los usuarios, que refiere al grado en que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios para lograr metas específicas con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso determinado (ISO, 2018). En este sentido, Vlachogianni y Tselios (2022) señalan la importancia de llevar a cabo estudios de usabilidad para asegurarse de que los recursos TIC sean fáciles de usar y estén diseñados para satisfacer las necesidades de los destinatarios, en nuestro caso, profesorado de Educación Primaria y Secundaria.

La evaluación de usabilidad tiene por objetivo identificar y solucionar problemas de diseño y funcionalidad. La investigación sobre la usabilidad de recursos tecnológicos educativos se suele enfocar en tres dimensiones o constructos: la eficacia, la eficiencia y la satisfacción del usuario (Lewis, 2018; Vlachogianni y Tselios, 2022). La eficacia engloba la capacidad del usuario para completar de manera correcta una tarea empleando el recurso. Incluye aspectos relacionados con la dificultad percibida, la facilidad de uso o si los diferentes componentes (interfaz de usuario, gráficos, fuente, etc.) están adecuadamente integrados (Del Rocio Sevilla-Gonzalez et al., 2020). Por otro lado, la eficiencia está relacionada con la medida en que las TIC ayudan al profesorado a realizar su labor docente (p.ej. reducir el tiempo de preparación de clases). Como tal, suele medirse a través de la utilidad percibida del recurso (Hoehle y Venkatesh, 2015). Por último, la satisfacción se refiere a las reacciones subjetivas de los usuarios al emplear el recurso. Incluye aspectos relacionados con las recompensas afectivas obtenidas por la adopción del sistema, como el disfrute, el aumento de la autoeficacia o el interés (O'Brien et al., 2018).

DESCRIPCIÓN DE INDAGAPP

IndagApp es una aplicación en 3D diseñada para implementar la metodología de indagación escolar con alumnado con edades comprendidas entre los 10 y 14 años (en el apartado de Resultados se aportan fotografías de la interfaz). En España, estas edades coinciden con 5^o y 6^o curso de Educación Primaria y 1^o y 2^o curso de Educación Secundaria Obligatoria. Consta de un total de diez indagaciones que abordan distintos fenómenos fundamentados en contenidos centrales de la LOMLOE (2020; Real Decreto 157/2022): crecimiento de las plantas, formación de cristales, fuerzas, inundaciones, crecimiento bacteriano, fotosíntesis, flotabilidad, formación de valles, refracción de la luz y vuelo en globo. IndagApp está disponible para teléfonos inteligentes y tabletas digitales con sistema operativo Android y para ordenadores con Windows. Cada investigación cuenta con una estructura común y sigue los principios y las fases fundamentales de la indagación científica (Osborne, 2014; Pedaste et al., 2015; Schwartz et al., 2023). Se adoptó el ciclo indagatorio propuesto por Pedaste et al. (2015) utilizando una terminología más accesible para docentes y estudiantes:

- i. Durante la primera fase de la indagación, llamada fase de planteamiento de la situación problematizadora (orientación), se orienta al alumnado para formular preguntas científicas concretas y claras sobre un fenómeno natural. Todas las indagaciones comienzan con una situación de aprendizaje contextualizada que presenta el tema de estudio. El objetivo es que aprendan a hacer preguntas precisas y pertinentes que se puedan responder con un diseño experimental.
- ii. Durante la segunda fase, conocida como formulación de hipótesis (conceptualización), el alumnado formula cuatro respuestas tentativas a la

pregunta de investigación, de modo que cada indagación aborda cuatro hipótesis distintas.

- iii. En la tercera fase, denominada fase de planificación y diseño experimental (investigación), el alumnado identifica las variables dependiente, independiente y de control del diseño experimental. Estas variables serán posteriormente utilizadas para comprobar cada una de las hipótesis planteadas.
- iv. Durante la cuarta fase, o recolección de datos e interpretación (conclusión), los estudiantes utilizan simulaciones virtuales específicamente diseñadas para cada indagación y registran los datos en tablas de resultados y en gráficas. Posteriormente, interpretan los datos y responden a preguntas específicas para buscar patrones y posibles explicaciones.
- v. En la quinta y última fase, se evalúa la comprensión de los estudiantes mediante preguntas de afianzamiento y de aplicación de conocimientos (discusión). Esta última fase pone a prueba la capacidad del alumnado para aplicar los conceptos tratados en la indagación a nuevos contextos problemáticos.

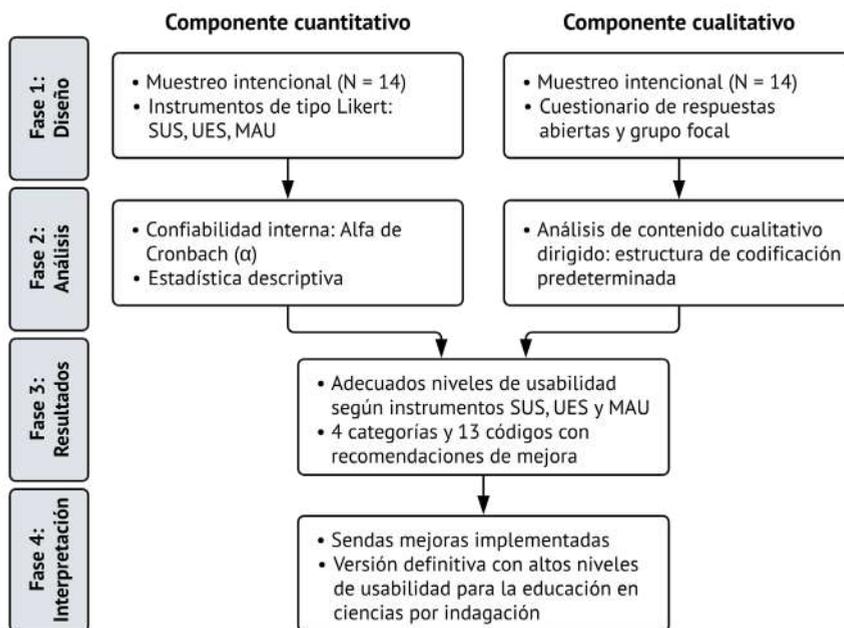
METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se trata de una investigación de métodos mixtos convergente, en la que se despliega, de forma separada pero simultánea, los componentes cuantitativos y cualitativos para la recolección de datos (Creswell y Plano-Clark, 2018). Los resultados se obtienen de forma independiente y son integrados durante su interpretación (Figura 1).

Figura 1

Diseño de la investigación de métodos mixtos convergente según Creswell y Plano-Clark (2018)



Muestra

No existe un tamaño muestral específico que se considere ideal para las pruebas de usabilidad. La investigación señala que la mayoría de los problemas se detectan con los primeros 3-5 sujetos y que es poco probable que más sujetos revelen nueva información (Nielsen et al., 2006). Comúnmente, un estudio con 5 participantes es suficiente para descubrir los problemas principales y mejorar la usabilidad; y con 10 participantes se detecta más del 80 % de los problemas de usabilidad (Lewis, 2014).

Se reclutaron catorce expertos, seis mujeres y ocho hombres, utilizando técnicas de muestreo intencional para garantizar la inclusión de fuentes ricas en información (Cohen et al., 2018). Nueve de los expertos son personal docente e investigador en la Universidad de Burgos y Universidad de Valladolid con experticia en las siguientes áreas y temáticas: Ciencias de la Educación y Educación Inclusiva, Didáctica de las Ciencias Experimentales –con formación en las disciplinas de física, química, biología y geología– e Ingeniería Informática. Dentro de este grupo, hubo un Catedrático, dos Profesores Titulares, dos Contratados Doctores, dos Ayudantes Doctores y dos

Profesores Asociados, con una experiencia profesional promedio de 23.3 años (min. = 7, máx. = 40). De los expertos restantes, tres eran docentes en Educación Primaria y dos en Educación Secundaria, con un promedio de 9.8 años (min. = 4, máx. =16) de experiencia docente.

Instrumentos de recolección de datos

Para el componente cuantitativo de la investigación, se usaron tres instrumentos que abordan las principales dimensiones de la usabilidad en la investigación educativa, empleando una escala de tipo Likert (1 = Totalmente en desacuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo). El primero fue el cuestionario *System Usability Scale* (SUS, Brooke, 1996), considerado el estándar de referencia para medir la usabilidad subjetiva (Lewis, 2018). El cuestionario consta de 10 ítems que evalúan las percepciones de los usuarios sobre la usabilidad general de IndagApp, tales como “Considero que IndagApp es fácil de usar” y “Considero que IndagApp es innecesariamente compleja”. Se empleó la versión validada para su uso en población española (Del Rocio Sevilla-Gonzalez et al., 2020). El coeficiente alfa de Cronbach ($\alpha = .66$) reveló una fiabilidad marginal, aunque en línea con investigaciones previas (Bangor et al., 2008; Vlachogianni y Tselios, 2022).

El segundo cuestionario, denominado *User Engagement Scale* (UES, O'Brien et al., 2018), consta de 12 ítems que miden cuatro dimensiones importantes que complementan al SUS: atención enfocada (e.g., “El tiempo que pasé usando IndagApp pasó rápidamente”), usabilidad percibida (e.g., “IndagApp me pareció confusa de usar”), atractivo estético (e.g., “IndagApp tiene un diseño visualmente agradable”) y factor de recompensa, como disfrute o interés generado (e.g., “Mi experiencia con IndagApp fue gratificante”). Los valores de alfa de Cronbach indican una fiabilidad adecuada para todas las dimensiones: $\alpha = .83, .70, .76$ y $.90$.

El tercer cuestionario consiste en el *Mobile Application Usability* (MAU, Hoehle y Venkatesh, 2015), diseñado y validado específicamente para evaluar la usabilidad de apps en teléfonos inteligentes. El MAU cuenta con 24 ítems que miden seis dimensiones diferentes, incluyendo el diseño (e.g., “Creo que IndagApp tiene un buen diseño”), la utilidad (e.g., “Creo que IndagApp es útil”), los gráficos (e.g., “Los gráficos de la interfaz de IndagApp están bien diseñados”), la entrada (e.g., “IndagApp me permite ingresar datos fácilmente”) y salida de la interfaz de usuario (e.g., “El contenido de IndagApp se presenta de manera efectiva”) y la estructura (e.g., “Indagapp está muy bien estructurada”). El coeficiente alfa de Cronbach mostró una fiabilidad muy alta, con valores de $\alpha = .92, .89, .96, .95, .94$, y $.86$.

Es importante mencionar que el UES y el MAU no cuentan con una versión en español. Por lo tanto, se utilizó un proceso de traducción cultural que involucró la traducción directa e inversa y una prueba piloto antes de la recolección de datos (Cohen et al., 2018).

Por otro lado, para el componente cualitativo, los participantes del panel de expertos respondieron a un cuestionario de preguntas abiertas, que se discutieron en dos grupos focales; el primero con profesorado universitario y el segundo con profesorado de Educación Primaria y Secundaria. El cuestionario se alineó con las dimensiones de usabilidad medidas durante el componente cuantitativo: facilidad de uso (¿Qué dificultades has experimentado al usar la app? ¿Cómo se puede simplificar la app para que sea más fácil de usar?), experiencia del usuario (¿Cómo se pueden integrar mejor las diferentes características de la aplicación?), confianza/autoeficacia del usuario (¿Qué mejoras se pueden implementar para aumentar la confianza/autoeficacia del usuario?) e intención de uso (¿Cómo se puede diseñar la app para fomentar un uso frecuente?). También se formuló una pregunta genérica (¿Tienes alguna otra sugerencia para mejorar el rendimiento, la usabilidad y la calidad general de la app?).

Análisis de los datos

Se emplearon estadísticas descriptivas para analizar los datos cuantitativos. El método de puntuación del SUS se aplica restando 1 a los ítems de número impar y restando la puntuación del participante de 5 a los ítems de número par. Las puntuaciones resultantes se suman y se multiplican por 2.5 para obtener una escala de 0 a 100. Puntuaciones iguales o superiores a 68 indican una usabilidad adecuada (Brooke, 2013). Para facilitar la interpretación, se clasifican en la siguiente escala de objetivos (Bangor et al., 2009): Lo peor imaginable (12.5), Horrible (20.3), Pobre (35.7), Regular (50.9), Bueno (71.4), Excelente (85.5), Lo mejor imaginable (90.9). Para los instrumentos UES y MAU, se calcula el promedio de cada dimensión, considerando valores cercanos a la unidad como muy baja usabilidad y valores cercanos a cinco como muy alta usabilidad.

Los datos cualitativos fueron analizados mediante un análisis de contenido dirigido (Cohen et al., 2018). Este análisis se basó en las dimensiones de usabilidad de la literatura, partiendo de una estructura de codificación predeterminada (Hoehle y Venkatesh, 2015; Lewis, 2014, 2018). Es importante mencionar que, en este estudio, todos los datos se ajustaron a códigos existentes y no se encontraron casos que requirieran una nueva categoría.

RESULTADOS

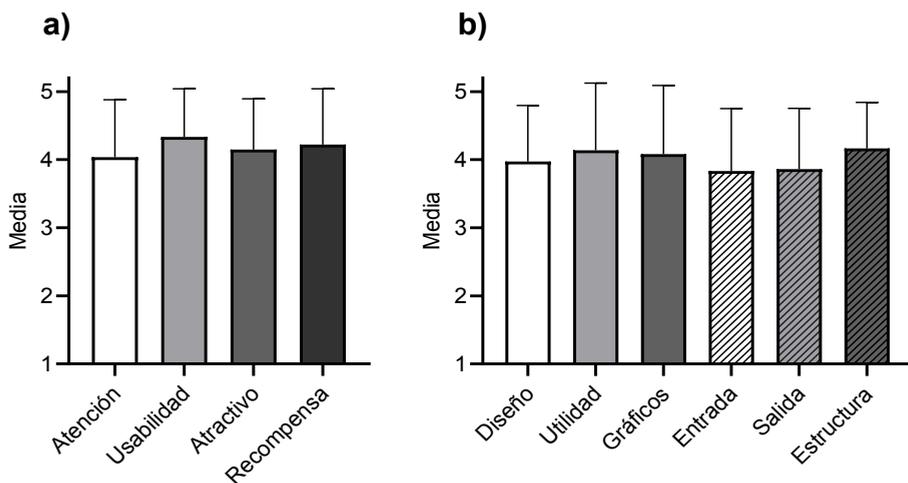
Componentes cuantitativos

Con relación al SUS, la puntuación total promedio obtenida fue de 80.89 (min. = 58, máx. = 95; MD = 82.5), lo cual indica un nivel de usabilidad que supera con holgura el umbral mínimo establecido. Al analizar las puntuaciones mediante la escala de adjetivos de Bangor et al. (2009), ninguno de los expertos calificó la usabilidad como

lo peor imaginable, horrible o pobre. No obstante, dos participantes la consideraron regular, siete la calificaron como buena, tres la consideraron excelente y dos expertos la calificaron como lo mejor imaginable.

En cuanto al UES, las cuatro dimensiones evaluadas revelaron respuestas altamente satisfactorias (ver Figura 2a). El promedio de puntuación superó los 4 puntos sobre 5 en todas las dimensiones, destacando particularmente la usabilidad percibida. La dimensión con resultados más bajos fue la atención generada por la app, lo que revela posibles vías de mejora en términos de diseño y gráficos. Por otro lado, las seis dimensiones del MAU también obtuvieron puntuaciones promedio elevadas (ver Figura 2b). En este caso, las puntuaciones más altas se observaron en la interfaz estructural de la app y en la utilidad percibida del recurso, alcanzando puntuaciones superiores a 4.1 sobre 5. Por el contrario, las puntuaciones más bajas se registraron en las dimensiones relacionadas con la entrada y salida de la interfaz del usuario, lo que sugiere áreas de mejora en la presentación de los contenidos de las indagaciones de la app.

Figura 2
Resultados del a) *User Engagement Scale* y b) *Mobile Application Usability*



Componente cualitativo

Los resultados del componente cualitativo se presentan según las categorías temáticas.

Categoría #1. Facilidad de uso. En general, los participantes percibieron IndagApp como una herramienta fácil de utilizar. No obstante, señalaron varios aspectos que se podrían mejorar. El primero de ellos está relacionado con la falta de retroalimentación y orientación durante el uso del recurso. Los usuarios expresaron la necesidad de contar con instrucciones y explicaciones para comprender las acciones que se están llevando a cabo, especialmente al pasar de una fase indagatoria a otra. Ejemplos de comentarios incluyen: “No tenía idea de lo que debía hacer en algunas etapas. A veces podía adivinar, pero no siempre”, “Si fuera un estudiante, no sabría a qué debo prestar atención ni qué datos necesito para completar una tabla en el siguiente paso”, “Necesitaría algunas instrucciones para saber qué debo hacer en cada fase”, “Me gustaría que los estudiantes supieran qué se supone que deben hacer en cada fase” o “Incluir un texto explicativo o un audio que les indique los pasos”.

Otro aspecto se relacionó con la identificación de variables durante la fase metodológica de la investigación. Específicamente, se planteó la necesidad de contar con instrucciones más claras respecto a la definición y manejo de las variables dependientes, independientes y de control. Los usuarios encontraron desafiante determinar qué variables eran dependientes, independientes y de control. Ejemplos de dichos comentarios son: “Es muy difícil determinar qué variables son dependientes, independientes o de control para cada una de las hipótesis. Creo que esto será muy complicado tanto para los estudiantes como para los profesores” y “Se requiere tiempo y esfuerzo para comprender estos conceptos, especialmente la primera vez que se utiliza la aplicación”.

Categoría #2. Experiencia del usuario. Los comentarios de los participantes para mejorar la experiencia del usuario abordaron aspectos relacionados con (i) la corrección de errores y la estabilidad, (ii) la duración de cada investigación y (iii) el diseño y la interfaz de la aplicación. En cuanto al primer aspecto, los usuarios encontraron ocasiones en las que la aplicación se colgaba o se congelaba, así como algunos problemas relacionados con el contenido, como errores al actualizar la tabla de resultados. Mencionaron frases como: “Es necesario resolver los problemas de estabilidad”, “Actualmente, la aplicación es solo un prototipo y tiene varios errores que deben corregirse para generar confianza y respaldar el proceso de aprendizaje”, “Existen errores al actualizar la tabla de resultados” y “Revisar los errores relacionados con los resultados del experimento”. Con respecto a la duración de cada investigación, los usuarios encontraron como inconveniente tener que reiniciar toda la fase de experimentación y de recolección de datos cada vez que se cometía un error al cambiar una variable independiente o de control, afirmando: “Cuando me equivoco y cambio una variable que no debo cambiar, el experimento se reinicia por completo y se pierden los datos de la tabla. Tengo que comenzar desde el principio”.

En cuanto al diseño y la interfaz de la app, los expertos sugirieron mejorar la velocidad y agilidad, así como los gráficos. También recomendaron crear una versión compatible con ordenadores y dispositivos móviles. Otra mejora común fue la de añadir una interfaz más apropiada para la edad de los estudiantes. Los comentarios

incluyen sugerencias como: “Los gráficos no son muy atractivos”, “Las indagaciones deberían ser un poco más atractivas para los estudiantes; que sea sobre temáticas que les interesan en esas edades” y “Mejorar la velocidad para que sea un poco más rápida”. También se comentaron aspectos de mejora relacionados con el diseño y la estructura de la interfaz. Así, se sugirió mejorar la accesibilidad del botón para avanzar de fase, la necesidad de un botón de salida y un botón para retroceder de fase y, aumentar el tamaño de letra, especialmente durante la recolección de datos. Ejemplos de estas sugerencias son: “El botón para pasar de una fase a otra debería estar en un lugar más accesible”, “Incluir un botón de salida o cierre; para cerrarla, hay que forzar la salida de la aplicación”, “Debería haber un botón para retroceder”, “Los datos en las tablas son muy difíciles de leer” o “La letra es muy pequeña y difícil de leer”.

Categoría #3. Confianza del usuario. El panel de expertos sugirió que se incluya un manual del usuario o tutoriales para mejorar la autoeficacia en el uso de la aplicación. Afirmaron que, contar con un recurso de apoyo que guíe al docente, paso a paso, a través del proceso indagatorio, mejoraría su comprensión y autoconfianza en el uso de la aplicación. También expresaron la necesidad de contar con explicaciones e instrucciones dentro de la aplicación para mejorar la comprensión, tanto del profesorado como del alumnado, del propósito de cada fase o de las tareas que se han de realizar.

Categoría #4. Intención de uso. Los expertos mencionaron que el uso de la app se podría fomentar incluyendo una mayor variedad de indagaciones. Argumentaron que, al disponer de una amplia gama de indagaciones, se podría emplear para impartir el temario curricular. Por lo tanto, recomendaron ampliar el repertorio de indagaciones relacionadas con el currículo de educación primaria y secundaria. Algunos ejemplos de comentarios son: “Echo en falta más indagaciones”, “Recomiendo desarrollar más problemas y situaciones de aprendizaje para investigar”, “Deberían ser indagaciones útiles y que sirvan para enseñar el contenido del temario”. Finalmente, mencionaron que es importante mejorar y adaptar los gráficos para asemejarlo a los juegos y la estética común para las edades de 10-14 años, ya que esto podría motivar al alumnado a usarla con mayor frecuencia.

Mejoras implementadas en la app

En la Tabla 1 se muestran los códigos generados a partir del análisis cualitativo, junto con las mejoras implementadas en IndagApp con base en las opiniones y sugerencias de los expertos.

Tabla 1*Recomendaciones del panel de expertos y mejoras implementadas*

Críticas y recomendaciones de los expertos	Mejoras en la app IndagApp
Falta de retroalimentaciones e instrucciones	Videotutorial sobre el proceso indagatorio y un ejemplo guiado. Botón de ayuda que proporciona instrucciones explícitas para cada fase.
Dificultades para identificar variables	Videotutorial sobre los tipos de variables y un ejemplo guiado sobre su identificación.
Errores, pantalla bloqueada, falta de estabilidad	Resolución de problemas de estabilidad, errores o pantallas congeladas.
Errores en el contenido	Corrección de los errores en el contenido de las indagaciones.
Indagaciones demasiado largas	Simulaciones experimentales más breves y concisas. Las equivocaciones al completar una indagación no eliminan el progreso, sino que muestran un aviso al usuario.
App y simulaciones lentas	La corrección de errores mejoró la fluidez de la app. Simulaciones experimentales más rápidas.
Mejorar y adaptar los gráficos	Gráficos mejorados y adaptados a la edad de los usuarios destinatarios (estudiantes de 10 a 14 años).
Implicar más al usuario	Nuevo personaje/protagonista que capta la atención del usuario y le guía durante la indagación.
Desarrollar una versión para PC	Desarrollo de una versión disponible PC (Windows), así como en teléfonos y tabletas (Android).
Defectos en la interfaz	Interfaz de usuario mejorada: nuevo diseño, botones de salida y retroceso, mejor presentación de los datos y mayor tamaño de letra.
Se requieren tutoriales	Desarrollo de guías de usuario, con explicaciones para docentes y fichas imprimibles para el alumnado, alojadas en la web de la app.
Desarrollar indagaciones variadas	Un total de diez indagaciones con diferentes niveles de dificultad.
Alinear indagaciones con el currículo	Indagaciones fundamentadas en el currículo de la LOMLOE. Temáticas de física, química, biología y geología para el 5º y 6º curso de EPO y 1º y 2º curso de ESO.

Corrección de errores y gráficos más atractivos. Se han realizado diversos cambios para mejorar la experiencia del usuario y aumentar su autoeficacia al usar la app. En primer lugar, se crearon gráficos mejorados y adaptados al grupo de edad de los usuarios y, además, se introdujo un personaje protagonista para guiar a los estudiantes y fomentar su participación (Figura 3). Se resolvieron los

problemas de estabilidad, errores y fallos en las simulaciones, además de corregir los errores de contenido, mejorando así la precisión y confiabilidad de la información científica presentada. Para acortar la duración de las investigaciones, se rediseñaron las simulaciones experimentales y también se modificó la recolección de datos para que los errores no afectasen el progreso; ahora, los datos ya no se borran, sino que aparece una ventana emergente que avisa al usuario cuando ha cometido un error. Igualmente, se abordaron los defectos de diseño mediante mejoras en la interfaz de usuario, como la inclusión de botones de salida y retroceso, la revisión de los botones de navegación, la mejora en la presentación de datos y el aumento del tamaño de la letra y de los números (Figura 4).

Figura 3

Simulaciones de las indagaciones sobre a) Flotabilidad y b) Cristalización. En la imagen se observa al nuevo protagonista de cada indagación

a)



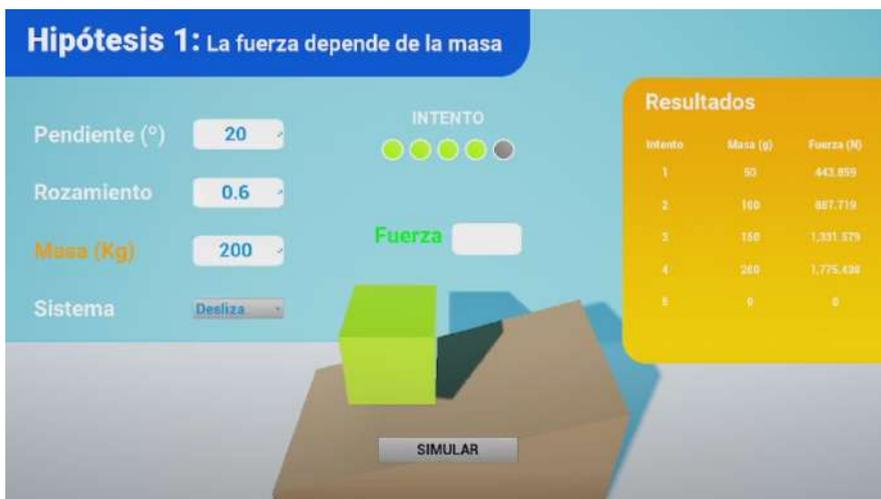
b)



Figura 4

La Interfaz de a) la versión piloto y b) la versión mejorada de IndagApp. En el margen inferior izquierdo de la imagen b) se observa una de las pestañas de andamiaje

a)



b)



Estrategias de andamiaje. Se han implementado estrategias de andamiaje en IndagApp. Estas estrategias están basadas en la literatura especializada en la implementación adecuada de la indagación (Zacharia et al., 2015). Esta mejora aborda las críticas relacionadas con la falta de retroalimentación e instrucciones. Se

presentan en formato de texto o vídeo. Cada etapa de la indagación tiene un botón de ayuda que proporciona instrucciones explícitas para una navegación efectiva. Por ejemplo, en la tercera fase (planificación y diseño), se indican los pasos a seguir para el control y la manipulación de las variables del experimento. En cuanto al andamiaje en formato vídeo, se crearon y agregaron dos tutoriales. El primero proporciona un resumen detallado del proceso indagatorio, con las fases propuestas por Pedaste et al. (2015), mientras que el segundo tutorial define los tipos de variables de investigación y ofrece consejos para identificar cada tipo. Ambos tutoriales incluyen ejemplos guiados y están colocados estratégicamente en el menú principal y al inicio de la tercera fase de la indagación. Se espera que la presentación clara y concisa de esta información permita a los usuarios comprender las fases clave en el desarrollo de una indagación científica.

Nuevas indagaciones alineadas con el currículo. Se han creado diez indagaciones científicas que cubren contenidos centrales del currículo de la LOMLOE (2020). Las indagaciones tienen diferentes niveles de dificultad y están disponibles para su descarga en ordenadores con Windows o dispositivos móviles y tabletas con Android. Ambas versiones del recurso se pueden descargar gratis mediante Google Play Store (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ITACA.Indagapp>). También se han diseñado manuales de usuario con instrucciones para profesores y fichas de clase imprimibles para los estudiantes disponibles en la web del proyecto (<http://www.webciencia.es/index.php/ind-virtual>). Estas mejoras tienen como objetivo ayudar a los docentes a utilizar el recurso de manera efectiva.

DISCUSIÓN

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias por indagación se postula como una metodología eficaz para la alfabetización científica del alumnado (Aguilera y Perales-Palacios, 2020; Akerson y Bartels, 2023; Romero-Ariza, 2017). Además, cuenta con el respaldo de décadas de investigación educativa (Lazonder y Harmsen, 2016; Morales et al., 2018). Sin embargo, el profesorado se enfrenta a diversas barreras y dificultades para implementarla de forma efectiva en las aulas (Baroudi y Helder, 2019; Romero-Ariza et al., 2019). Para abordar estos desafíos, la presente investigación ha presentado el diseño, desarrollo y estudio de usabilidad de IndagApp, un recurso TIC para la enseñanza de las ciencias por indagación.

En este cometido, las pruebas de usabilidad fueron cruciales para desarrollar un recurso educativo fácil de usar, eficiente y efectivo en su propósito (Vlachogianni y Tselios, 2022). Los resultados del componente cuantitativo de la investigación muestran una adecuada usabilidad de IndagApp, con puntuaciones muy superiores a los baremos mínimos recomendados en la literatura (Bangor et al., 2009; Del Rocio Sevilla-Gonzalez et al., 2020; Lewis, 2018). Tres instrumentos ampliamente empleados en la literatura respaldan que se trata de un recurso que capta la atención del usuario, genera interés y disfrute (recompensa), resulta atractivo en términos de

diseño y gráficos y, además, se postula como una herramienta útil para el profesorado. Sin embargo, se detectaron aspectos con margen de mejora. Así, el componente cualitativo de la investigación permitió identificar dichos aspectos y proporcionó algunas sugerencias de cambios para refinar la app. Estas mejoras, como la inclusión de recursos de andamiaje o el desarrollo de indagaciones alineadas con el currículo (LOMLOE, 2020), han sido de gran valor porque nos han permitido proporcionar un recurso más adaptado a las necesidades de los destinatarios, es decir, el profesorado de ciencias de alumnado de 10-14 años.

En conclusión, esta investigación de métodos mixtos apoya el uso de IndagApp como herramienta educativa para la transposición didáctica de la metodología indagatoria para la enseñanza de las ciencias en Educación Primaria y Secundaria. Se espera que el desarrollo y la disponibilidad gratuita de este recurso facilite a los docentes una herramienta efectiva y fácil de usar para la adopción de la indagación.

Implicaciones educativas

Los resultados de esta investigación tienen implicaciones educativas importantes. Por un lado, el recurso IndagApp puede ayudar a los docentes de Educación Primaria y Secundaria en la adopción de la metodología indagatoria para la enseñanza de las ciencias (Ali et al., 2022). El uso de IndagApp en estas etapas tiene el potencial de generar experiencias de aprendizaje alineadas con las demandas curriculares y respaldadas por la investigación educativa (Oliveira et al., 2019). Por otro lado, IndagApp permite un uso significativo y enriquecedor de las TIC en el aula (Silva-Díaz et al., 2022). Este aspecto potencia en el alumnado el desarrollo de la competencia digital y favorece la resolución de problemas mediante el uso de recursos digitales (Marrero-Galván y Hernández-Padrón, 2022). Por ello, su uso podría redundar en una mejora de la comprensión científica y del interés por las ciencias por parte del alumnado, además de mejorar la alfabetización científica del alumnado desde etapas tempranas del sistema educativo (Bozzo et al., 2022; Bravo et al., 2019). No obstante, estos aspectos requieren de futuras investigaciones con intervenciones educativas fundamentadas en IndagApp.

El análisis de las respuestas de los expertos revela conclusiones relevantes para el desarrollo de recursos tecnológicos para el profesorado que trascienden a IndagApp. Por un lado, los recursos TIC deben ser ágiles y visualmente atractivos para mantener el interés del usuario y facilitar su adopción. Así, la adaptación de la interfaz y el contenido al público objetivo, considerando su edad, intereses y necesidades, resulta vital para su aceptación. En este sentido, desde una perspectiva docente, se destaca la necesidad de proporcionar recursos con una experiencia de usuario intuitiva y clara, junto con explicaciones detalladas sobre su implementación y uso. En el caso de IndagApp, se ha optado por la provisión de recursos de apoyo, como videotutoriales o explicaciones dentro de la aplicación, para aumentar la confianza del docente en el uso del recurso.

Por otro lado, resulta crucial cubrir la demanda de recursos multiplataforma (PC, tabletas, etc.) para aumentar la adopción por parte del profesorado. No todos los centros educativos disponen de los recursos necesarios para la adopción de las TIC, como tabletas digitales. Por ello, se ha optimizado IndagApp para que pueda ser empleada en distintos dispositivos. Asimismo, se concluye que es fundamental, para promover la aceptación de las TIC por parte del profesorado, ofrecer recursos que permitan el abordaje de contenidos relevantes, que sean fundamentados en el currículo vigente y que aborden los objetivos de aprendizaje de la etapa. Por ello, IndagApp aborda diez contenidos científicos centrales en la educación científica de la etapa de Educación Primaria y Secundaria. Por último, para evitar una disrupción significativa en la práctica docente, la implementación de recursos TIC debe alinearse con las prácticas habituales. En el caso de IndagApp, se ha desarrollado un cuaderno del alumnado como complemento a la app, integrando así un material familiar al docente en su práctica diaria.

Futuras vías de investigación

El presente estudio abre nuevas vías para la investigación futura. Un aspecto fundamental es el análisis del uso prolongado del recurso IndagApp por parte del profesorado –tanto novel como experto en el uso de recursos TIC– en el contexto formal del aula de Educación Primaria y Secundaria. Este análisis permitiría identificar dificultades no relacionadas con el diseño del recurso en sí, sino con las estrategias didácticas que posibilitan su implementación efectiva. Esto es, el conocimiento técnico pedagógico del contenido (TPACK, por sus siglas en inglés), aspecto que ha sido identificado como objeto de preocupación (Valtonen et al., 2023). Otro aspecto que se ha de abordar en futuros estudios es la usabilidad de la app en alumnado de Primaria y Secundaria. En el presente estudio se ha empleado un panel de expertos acorde a las recomendaciones de la literatura, tanto en tamaño muestral como en composición y experticia. Así, se abordó la usabilidad del recurso desde la perspectiva del profesorado, considerando la eficacia, eficiencia y satisfacción, lo que ha permitido realizar mejoras en la interfaz y el contenido de IndagApp.

Tras las mejoras realizadas y la confirmación de la usabilidad del recurso para el profesorado, los siguientes pasos del proyecto se enfocarán en el análisis de la usabilidad por parte del alumnado de Primaria y Secundaria; se han realizado pruebas informales con alumnado obteniéndose resultados satisfactorios, mas no relacionados con su uso en el contexto formal del aula ni con la rigurosidad necesaria. Por ello, se requiere de futuros estudios con metodologías rigurosas e instrumentos con adecuadas propiedades psicométricas para la recolecta de datos válidos y confiables (Lewis, 2014), además de otras variables de interés como la mejora del aprendizaje, las actitudes o la motivación científica (Toma, 2021b).

Limitaciones

Los resultados de usabilidad presentados en este manuscrito deben interpretarse teniendo en cuenta que dos de los tres instrumentos de naturaleza cuantitativa empleados no tienen una versión validada al castellano. Se ha tratado de minimizar esta limitación mediante su traducción al español de acuerdo a los procedimientos de adaptación cultural, garantizando así una equivalencia conceptual y semántica con respecto a su versión original (Cohen et al., 2018). A pesar de que los niveles de confiabilidad interna obtenidos han sido satisfactorios para todas las dimensiones analizadas, los resultados de esta investigación deben interpretarse considerando esta limitación.

Agradecimientos

Investigación desarrollada en el marco del proyecto PID2020-117348RB-I00 financiado por la Agencia Estatal de Investigación de España.

REFERENCIAS

- Aditomo, A. y Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and low-performing education systems. *International Journal of Science Education*, 42(4), 504-525. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>
- Aguilera, D. y Perales-Palacios, F. J. (2020). What effects do didactic interventions have on students' attitudes towards science? A meta-analysis. *Research in Science Education*, 50(2), 573-597. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9702-2>
- Akerson, V. L. y Bartels, S. L. (2023). Elementary science teaching: Towards the goal of scientific literacy. En N. G. Lederman, D. L. Zeidler y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 528-558). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758-21>
- Alarcón-Orozco, M. M., Franco Mariscal, A. J. y Blanco López, Á. (2022). Ayudando a maestros en formación inicial a desarrollar indagaciones en la Educación Infantil. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 19(1), 1-20. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1601
- Ali, N., Ullah, S. y Khan, D. (2022). Interactive laboratories for science education: A subjective study and systematic literature review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(10). <https://doi.org/10.3390/mti6100085>
- Aljuhani, K., Sonbul, M., Althabiti, M. y Meccawy, M. (2018). Creating a Virtual Science Lab (VSL): The adoption of virtual labs in Saudi schools. *Smart Learning Environments*, 5(16), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40561-018-0067-9>
- Alzate, M. A. y Guevara, M. (2021). La indagación como herramienta de enseñanza en el museo de ciencias naturales: Un estudio de caso acerca del fortalecimiento de las prácticas de guía. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(3), 3103.

- https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3103
- Bangor, A., Kortum, P. T. y Miller, J. T. (2008). An empirical evaluation of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. <https://doi.org/10.1080/10447310802205776>
- Bangor, A., Kortum, P. y Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean; adding an adjective rating. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114-123.
- Baroudi, S. y Helder, M. R. (2019). Behind the scenes: Teachers' perspectives on factors affecting the implementation of inquiry-based science instruction. *Research in Science and Technological Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1651259>
- Bozzo, G., Lopez, V., Couso, D. y Monti, F. (2022). Combining real and virtual activities about electrostatic interactions in primary school. *International Journal of Science Education*, 44(18), 2704-2723. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2149284>
- Bravo, B., Bouciguez, M. J. y Braunmüller, M. (2019). Una propuesta didáctica diseñada para favorecer el aprendizaje de la Inducción Electromagnética básica y el desarrollo de competencias digitales. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1203
- Brooke, J. (1996). A quick and dirty' usability scale. En P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester y I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 207-212). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781498710411-35>
- Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29-40.
- Chichekian, T., Shore, B. M. y Tabatabai, D. (2016). First-year teachers' uphill struggle to implement inquiry instruction: Exploring the interplay among self-efficacy, conceptualizations, and classroom observations of inquiry enactment. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016649011>
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2018). *Research methods in education (8th edition)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315456539>
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 515-541). Routledge.
- Creswell, J. W. y Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research (3rd edition)*. Sage.
- Criado, A., Cañal, P. y García-Carmona, A. (2014). ¿Qué educación científica se promueve para la etapa de primaria en España? Un análisis de las prescripciones oficiales de la LOE. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1, 139-157. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.778>
- Del Rocio Sevilla-Gonzalez, M., Loaeza, L. M., Lazaro-Carrera, L. S., Ramirez, B. B., Rodríguez, A. V., Peralta-Pedrero, M. L. y Almeda-Valdes, P. (2020). Spanish version of the System Usability Scale for the assessment of electronic tools: Development and validation. *JMIR Human Factors*, 7(4), 1-7. <https://doi.org/10.2196/21161>
- Fang, S. C. (2020). Towards scientific inquiry in secondary earth science classrooms: Opportunities and realities. *International Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10086-6>
- Fang, S. C., Hsu, Y. S., Chang, H. Y., Chang, W. H., Wu, H. K. y Chen, C. M. (2016). Investigating the effects of structured and guided inquiry on students' development of conceptual knowledge and inquiry abilities: a case study in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 38(12), 1945-1971. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1191111>

- doi.org/10.1080/09500693.2016.1220688
- García-Carmona, A. (2020). From inquiry-based science education to the approach based on scientific practices: A critical analysis and suggestions for science teaching. *Science and Education*, 29(2), 443-463. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00108-8>
- Hoehle, H. y Venkatesh, V. (2015). Mobile application usability: Conceptualization and instrument development. *MIS Quarterly*, 39(2), 435-472. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39.2.08>
- ISO. (2018). Usability: Definitions and concepts. En *Ergonomics of human-system interaction* (pp. 1-29). ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- Lazonder, A. W. y Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681-718. <https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Lewis, J. R. (2014). Usability: Lessons learned. and yet to be learned. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(9), 663-684. <https://doi.org/10.1080/10447318.2014.930311>
- Lewis, J. R. (2018). The system usability scale: Past, present, and future. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(7), 577-590. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1455307>
- LOE. (2006). Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación.
- LOMCE. (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa.
- LOMLOE. (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. *Boletín Oficial del Estado*, 340, de 30 de diciembre de 2020.
- Marrero-Galván, J. J. y Hernández- Padrón, M. (2022). The importance of virtual reality in STEM education: A systematic review from the point of view of experimentation in the classroom. *Bordon. Revista de Pedagogía*, 74(4), 45-63. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94179>
- Morales, D. A., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educacion*, 381, 259-284. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Morales, M., Acosta-García, K. y Rodríguez, C. (2022). El rol docente y la indagación científica: análisis de una experiencia sobre plagas en una escuela vulnerable de Chile. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 19(2), 1-20. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2201
- Nielsen, J., Lewis, J. y Turner, C. (2006). Determining usability test sample size. En W. Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Second Edition - 3 Volume Set* (pp. 3084-3088). <https://doi.org/10.1201/9780849375477.ch597>
- O'Brien, H. L., Cairns, P. y Hall, M. (2018). A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (UES) and new UES short form. *International Journal of Human Computer Studies*, 112, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.01.004>
- Oliveira, A., Feyzi Behnagh, R., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J. y Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*,

- 1(2), 149-160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>
- Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 579-599).
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C. y Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. (2022). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/01/157/con>
- Roll, I., Butler, D., Yee, N., Welsh, A., Perez, S., Briseno, A., Perkins, K. y Bonn, D. (2018). Understanding the impact of guiding inquiry: The relationship between directive support, student attributes, and transfer of knowledge, attitudes, and behaviours in inquiry learning. *Instructional Science*, 46(1), 77-104. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9437-x>
- 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Romero-Ariza, M., Quesada, A., Abril, A. M., Sorensen, P. y Oliver, M. C. (2019). Highly recommended and poorly used: English and Spanish science teachers' views of Inquiry-Based Learning (IBL) and its enactment. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1), 1-16. <https://doi.org/10.29333/ejmste/109658>
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. y Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground – A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161-197. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Savelsbergh, E. R., Prins, G. T., Rietbergen, C., Fechner, S., Vaessen, B. E., Draijer, J. M. y Bakker, A. (2016). Effects of innovative science and mathematics teaching on student attitudes and achievement: A meta-analytic study. *Educational Research Review*, 19, 158-172. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.07.003>
- Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K. y Irvin, P. S. (2011). Student learning in science simulations: Design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050-1078. <https://doi.org/10.1002/tea.20437>
- Schwartz, R. S., Lederman, J. S. y Enderle, P. J. (2023). Scientific inquiry literacy: The missing link on the continuum from science literacy to scientific literacy. En N. G. Lederman, D. L. Zeidler, y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 749-782). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780367855758-28>
- Silva-Díaz, F., Fernández-Ferrer, G., Vázquez-Vilchez, M., Ferrada, C., Narváez, R. y Carrillo-Rosúa, J. (2022). Emerging technologies in STEM education. A bibliometric analysis of publications in Scopus & WoS (2010-2020). *Bordon. Revista de Pedagogía*, 74(4), 25-44. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94198>
- Smetana, L. K. y Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>

- Teig, N., Scherer, R. y Olsen, R. V. (2022). A systematic review of studies investigating science teaching and learning: over two decades of TIMSS and PISA. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2109075>
- Toma, R. B. (2021a). Effect of confirmation and structured inquiry on attitudes toward school science. *School Science and Mathematics*, 2021, 1-8. <https://doi.org/10.1111/ssm.12505>
- Toma, R. B. (2021b). Evidencias de validez de una medida de la motivación por las ciencias de la naturaleza. *Educación XX1*, 24(2), 351-374. <https://doi.org/10.5944/educxx1.28244>
- Toma, R. B. (2022). Confirmation and structured inquiry teaching: Does it improve students' achievement motivations in school science? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 22(1), 28-41. <https://doi.org/10.1007/s42330-022-00197-3>
- Valtonen, T., Eriksson, M., Kärkkäinen, S., Tahvanainen, V., Turunen, A., Vartiainen, H., Kukkonen, J. y Sointu, E. (2023). Emerging imbalance in the development of TPACK - A challenge for teacher training. *Education and Information Technologies*, 28, 5363-5383. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11426-5>
- Vlachogianni, P. y Tselios, N. (2022). Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(3), 392-409. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1867938>
- Vorholzer, A. y von Aufschnaiter, C. (2019). Guidance in inquiry-based instruction— an attempt to disentangle a manifold construct. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1562-1577. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1616124>
- Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Mäeots, M., Siiman, L. y Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review. *Educational Technology Research and Development*, 63(2), 257-302. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0>
- Zhang, L. (2016). Is inquiry-based science teaching worth the effort? Some thoughts worth considering. *Science & Education*, 25(7-8), 897-915. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9856-0>

Fecha de recepción del artículo: 1 de diciembre de 2023

Fecha de aceptación del artículo: 12 de febrero de 2024

Fecha de aprobación para maquetación: 26 de febrero de 2024

Fecha de publicación en OnlineFirst: 30 de marzo de 2024

Fecha de publicación: 1 de julio de 2024