

Diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp: un recurso TIC para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación

Tesis Doctoral

Iraya Yáñez Pérez



UNIVERSIDAD
DE BURGOS



UNIVERSIDAD DE BURGOS

Facultad de Educación

Departamento de Didácticas Específicas

Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales

Diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp: un recurso TIC para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación

Tesis doctoral

Programa de Educación

Autora

Iraya Yáñez Pérez

Directores

Jesús Ángel Meneses Villagrà

Radu Bogdan Toma

Burgos, 2024

*“Si tratas a un ser humano como es, seguirá siendo lo que es;
pero si lo tratas como puede llegar a ser,
se convertirá en lo que está destinado a ser.”*

Johann Wolfgang von Goethe

Agradecimientos

La presente tesis doctoral se realizó en el Departamento de Didácticas Específicas (Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales) de la Facultad de Educación de la Universidad de Burgos, bajo la dirección del Dr. Jesús Ángel Meneses Villagrà y del Dr. Radu Bogdan Toma, a quienes quiero expresar mi sincero agradecimiento por darme la oportunidad de realizar esta tesis doctoral, así como por su dedicación y ayuda a lo largo de la realización de la misma.

Asimismo, agradezco al programa de Doctorado en Educación, por brindarme la posibilidad de continuar con mi formación académica. Del mismo modo, muestro mi gratitud a la Agencia Estatal de Investigación de España, por la financiación del proyecto PID2020-117348RB-I00, en el que se enmarca la presente tesis doctoral.

También me gustaría agradecer al Dr. Diego Armando Retana Alvarado, por haberme permitido realizar una estancia de investigación muy fructífera en la Universidad de Costa Rica y por una acogida tan cálida en su universidad.

Por otro lado, también quiero agradecer a todo el alumnado y profesorado que participó en los distintos estudios de esta tesis. Igualmente, me gustaría agradecer a los compañeros del proyecto que participaron en el desarrollo de la aplicación. Sin su trabajo esta tesis doctoral no hubiese sido posible.

Quiero expresar mi especial agradecimiento a mis padres y a mi pareja, por su apoyo, comprensión y paciencia a lo largo de estos años y por darme la motivación para superarme. Especialmente me gustaría agradecer a mi hermano y a todos aquellos que ya no están y sin los cuales mi vida no hubiese sido la misma. Porque el último viaje siempre llega sin avisar.

Por último, también me gustaría agradecer a todas las personas que han formado parte de mi vida a lo largo de estos años, amigos y compañeros de trabajo, por el tiempo compartido y por todo lo que me han enseñado.

Resumen

Las reformas educativas en España demandan la adopción de la indagación y el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para la enseñanza de las ciencias. No obstante, esto supone un reto para los docentes, que carecen de recursos específicamente diseñados para facilitar su transposición didáctica. La presente tesis doctoral aborda esta problemática, debido a que presenta el diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp, un innovador recurso TIC que incluye diez secuencias didácticas por indagación, laboratorios virtuales específicamente diseñados para su desarrollo, estrategias de andamiaje digitales y analógicas y, actividades que cubren las fases del proceso indagatorio sugeridas en la literatura especializada. El marco metodológico utilizado es de métodos mixtos multifase y está comprendido por cuatro estudios independientes pero conexos. **El primer estudio** es de tipo cuantitativo y evalúa la disponibilidad y uso de las TIC, así como la formación del profesorado en este ámbito en España. Esta investigación revela una escasa disponibilidad de recursos TIC, una deficiente formación para su uso y una baja aceptación de estos para enseñar ciencias. **El segundo estudio**, de método mixto convergente, introduce el primer prototipo de IndagApp que alcanza niveles aceptables de usabilidad entre profesorado universitario y docentes en ejercicio, aunque también identifica áreas susceptibles de mejora. **El tercer estudio**, también de método mixto convergente, presenta el segundo prototipo de IndagApp y su usabilidad entre maestros de educación primaria en formación inicial, alcanzando altos niveles de usabilidad, a pesar de que aún hay margen para su optimización. Finalmente, **el cuarto estudio**, de tipo cuantitativo, muestra la versión final de IndagApp, en la cual se incorporan todas las mejoras sugeridas previamente. En esta última investigación se evalúa la usabilidad de la app entre estudiantes de educación primaria, consiguiendo resultados excelentes. En definitiva, esta tesis doctoral aporta un recurso educativo que contribuye a reducir la brecha entre las exigencias curriculares y la disponibilidad de recursos apropiados para una educación científica basada en la indagación.

Abstract

The educational reforms in Spain demand the adoption of inquiry and the use of Information and Communication Technologies (ICT) for science teaching. However, this represents a challenge for teachers, who lack resources specifically designed to facilitate its didactic transposition. This Ph.D. dissertation addresses this issue, presenting the design, development, and evaluation of the usability of IndagApp, an innovative ICT resource that includes ten inquiry units, virtual laboratories specifically designed for their development, digital and analog scaffolding strategies, and activities that cover all the phases of the inquiry process suggested in the specialized literature. The adopted methodological framework is multi-phase mixed methods, comprising four independent but related studies. **The first study**, using a quantitative design, evaluates the availability and use of ICT, as well as teacher training in Spain, revealing a scarce availability of resources, poor training in their use, and low adoption of ICT for science teaching. **The second study**, using a convergent mixed method design, introduces the first prototype of IndagApp, achieving acceptable levels of usability among university faculty and in-service teachers, although it identified areas susceptible to improvement. **The third study**, using a convergent mixed method design, presents the improved second prototype of IndagApp and its usability among primary education teachers in initial training, reaching high levels of usability, albeit with room for optimization. **The fourth study**, using a quantitative design, presents the final version of IndagApp, incorporating the previously suggested improvements and evaluating its usability in primary school students, with outstanding results. In summary, this Ph.D. dissertation provides an educational resource that contributes to reducing the gap between curricular demands and the availability of adequate resources for an inquiry-based science education.

Listado de publicaciones

De acuerdo con la memoria del Programa de Doctorado en Educación de la Universidad de Burgos, la tesis doctoral puede presentarse en formato de compendio de tres publicaciones, dos de las cuales deben estar indexadas en el Journal Citation Reports (JCR). La presente tesis doctoral cumple con este requisito al estar compuesta por cuatro artículos, tres de los cuales se encuentran indexados en JCR. A continuación, se detalla la relación de artículos que componen la tesis:

1. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2024). La brecha digital en la enseñanza de las ciencias en España durante las leyes educativas LOE y LOMCE. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*. <https://doi.org/10.51302/tce.2024.20151>

Artículo publicado en una revista indexada en la Clasificación Integrada de Revistas Científicas – CIRC, criterio de clasificación C.

2. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2024). Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(2). <https://doi.org/10.5944/ried.27.2.39109>

Artículo publicado en una revista indexada en JCR, cuartil Q1 dentro de la categoría *Education & Educational Research*, con un factor de impacto de 4.6. La revista también está indexada en Scopus, cuartil Q1 en la categoría *Social Sciences: Education*, con un CiteScore de 5.3.

3. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2024). The IndagApp mobile app - an inquiry-based science teaching resource: usability evaluation with pre-service teachers. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 13(7). <https://doi.org/10.1007/s44322-024-00008-7>

Artículo publicado en una revista indexada en JCR, cuartil Q1 dentro de la categoría *Education & Educational Research*, con un factor de impacto de 4.5. La revista también está indexada en Scopus, cuartil Q1 en la categoría *Social Sciences: Education*, con un CiteScore de 9.4.

4. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (en prensa). Design and usability evaluation of a mobile app for elementary school inquiry-based science learning. *School Science and Mathematics*.

Artículo aceptado para su publicación en una revista indexada en JCR, cuartil Q3 dentro de la categoría *Education & Educational Research*, con un factor de impacto de 1.1. La revista también está indexada en Scopus, cuartil Q1 en la categoría *History and Philosophy of Science*, con un CiteScore de 2.1.

Por otro lado, la contribución científica de esta tesis doctoral incluye, asimismo, dos capítulos de libro, cinco comunicaciones orales y un simposio en congresos nacionales e internacionales. Por último, como complemento a estas contribuciones, se ha llevado a cabo una estancia de investigación predoctoral de tres meses de duración en la Escuela de Formación Docente de la Universidad de Costa Rica, bajo la tutela del Dr. Diego Armando Retana-Alvarado.

Capítulos de libro

1. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2023). Diseño de una app educativa para la enseñanza de las ciencias por indagación. En M. M. Dullius e I. G. Neide (Eds.), *Experiências no ensino de ciencias exatas* (pp. 44-58), Editora Univates.
2. **Yáñez-Pérez, I.**, y Toma, R. B. (2024). IndagApp: un nuevo recurso para la enseñanza de las ciencias por indagación. En M. Díez-Ojeda, S. Martínez-Juste, R. B. Toma, M. E. Díez-Álvarez, A. Ramírez-Segado, R. Jiménez-Fontana, y E. García-González (Eds.), *Sobre la educación científica y el cuidado de la casa común: necesidades y perspectivas* (pp. 162-184), Dykinson.

Comunicaciones orales

1. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2023). Recurso educativo para la formación docente en la enseñanza de ciencias por indagación. Comunicación oral presentada en el congreso *El papel de las universidades en los objetivos de desarrollo sostenible: innovación docente y experiencias significativas*. Universidad Complutense de Madrid, en línea.
2. Toma, R. B., **Yáñez-Pérez, I.**, y Meneses-Villagrà, J. Á. (2023). Elementary school pre-service teachers' usability evaluation of an app for inquiry teaching. ESERA2023. Capadocia, Turquía.
3. **Yáñez-Pérez, I.**, Retana-Alvarado, D. A., Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. Á. (2024). Evaluación de IndagApp en maestros en formación inicial de Costa Rica. *Comunicación presentada en el VII Simposio Internacional de Enseñanza de las Ciencias (SIEC 2024)*. Universidad de Vigo, en línea.

4. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. À. (2024). Uso de las TIC en la ensefianza de las ciencias en España. Comunicación presentada en el *VII Simposio Internacional de Ensefianza de las Ciencias (SIEC 2024)*. Universidad de Vigo, en línea.
5. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. À. (2024). Diseño y desarrollo de IndagApp: un recurso innovador para la ensefianza de las ciencias por indagación. Comunicación aceptada para su presentación en los *31 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Burgos, España.

Simposio

1. **Yáñez-Pérez, I.**, Toma, R. B., y Meneses-Villagrà, J. À. (2024). IndagApp: Development and usability evaluación of an app for inquiry-based science education. Comunicación presentada en el congreso ESERA2023 en el marco del simposio *Inquiry teaching and understanding in Iberoamerican countries*. Capadocia, Turquía.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	III
Listado de publicaciones	IV
1. Introducción	8
1.1. Enseñanza de las ciencias por indagación	9
1.2. Las TIC en la educación científica	10
1.3. Planteamiento del problema	11
1.4. Objetivos y alcance de la Tesis Doctoral	14
1.5. Descripción de IndagApp	14
1.6. Descripción de los estudios.....	22
1.7. Referencias	24
2. Artículo #1: La brecha digital en la enseñanza de las ciencias en España durante las leyes educativas LOE y LOMCE	29
3. Artículo #2: Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación	44
4. Artículo #3: The IndagApp mobile app – an inquiry-based science teaching resource: Usability evaluation with pre-service teachers	67
5. Artículo #4: Design and usability evaluation of a mobile app for elementary school inquiry-based science learning	92
6. Conclusiones generales	113
6.1. Contribución de la tesis doctoral	113
6.2. Implicaciones educativas.....	114
6.3. Avenidas para futuras investigaciones	115
6.4. Limitaciones	116
6.5. Referencias.....	117

1. Introducción

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación, lejos de ser una novedad, se remonta a las ideas pioneras de John Dewey (1910). Hace más de un siglo, Dewey defendió una educación que superara la mera transmisión de principios y leyes científicas, defendiendo que, para desarrollar una comprensión significativa de los conceptos científicos, el alumnado debe participar activamente en el proceso de aprendizaje de las ciencias. Su propuesta contemplaba despertar la curiosidad del alumno, guiar al alumno en la definición del problema, fomentar la formulación de hipótesis, permitir la experimentación para la validación de hipótesis y estimular la comunicación de resultados y conclusiones. Esta visión, piedra angular de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación, ha supuesto el inicio de un viaje de transformación en la forma de impartir y aprender ciencias en todo el mundo. Años más tarde, Joseph Schwab (1960) promovió el enfoque indagatorio en la enseñanza de las ciencias en la política educativa de Estados Unidos. Se diseñaron nuevos currículos y se incorporó la indagación como método de aprendizaje de contenidos científicos. Desde entonces, la indagación ha tenido una larga trayectoria en la investigación en el campo de la enseñanza de las ciencias, así como en las reformas educativas de todo el mundo. Una descripción exhaustiva de la indagación como enfoque de enseñanza trasciende al alcance de esta tesis doctoral. Por ello, se remite al lector interesado en el desarrollo histórico de la enseñanza de las ciencias por indagación a las siguientes fuentes: Barrow (2006), Chiappetta (2008), Crawford (2014) y Osborne (2014).

Por otro lado, de manera paralela al auge de la enseñanza de las ciencias por indagación, se ha contemplado un esfuerzo significativo por integrar las TIC en la enseñanza de las ciencias. Los recursos TIC, como laboratorios virtuales, simulaciones 3D y aplicaciones y sensores móviles, ofrecen oportunidades interactivas para que los estudiantes se involucren en el proceso de aprendizaje de las ciencias (Silva-Díaz et al., 2022). Las TIC podrían actuar como catalizador del aprendizaje de las ciencias por indagación, exponiendo ideas y conceptos científicos complejos de una forma innovadora y accesible, facilitando la recolección y análisis de datos y, permitiendo experimentos difíciles de trasladar al aula (Bozzo et al., 2022; Correia et al., 2019).

En este contexto, la presente tesis doctoral tiene como objeto de estudio la enseñanza de las ciencias por indagación mediante la integración de las TIC. De esta manera, en ella se presenta el diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de un nuevo recurso TIC, denominado IndagApp, que ha sido específicamente diseñado para llevar a cabo la enseñanza de las ciencias por indagación. La

convergencia entre la demanda de una educación científica por indagación y la integración de las TIC en las aulas de ciencias presenta una oportunidad única, debido a que tiene el potencial de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

1.1. Enseñanza de las ciencias por indagación

El término *indagación científica* ha ganado protagonismo en el ámbito de la didáctica de las ciencias así como en las reformas educativas. Sin embargo, su uso ha dado lugar a una gran variedad de significados e interpretaciones, tal y como lo evidencia el análisis de 81 estudios realizado por Rönnebeck et al. (2016). Esta diversidad se refleja tanto en la conceptualización teórica como en la implementación de la indagación en las aulas. A pesar de esta falta de consenso en torno a una definición única, sí que existe un acuerdo general sobre las características esenciales que debe tener una enseñanza de las ciencias basada en la indagación (García-Carmona, 2020; Pedaste et al., 2015; Schwartz et al., 2023). En esencia, esta metodología busca involucrar activamente al alumnado en prácticas científicas, tales como la formulación de preguntas, la emisión de hipótesis, el diseño de investigaciones, la recolección y análisis de datos y, la generación y evaluación de conclusiones basadas en evidencias (Forbes et al., 2020; Toma, 2022; Vorholzer y von Aufschnaiter, 2019). De este modo, se persigue acercar a los estudiantes al quehacer científico, fomentando el desarrollo de habilidades científicas, así como potenciando un aprendizaje significativo y contextualizado (Aguilera et al., 2018; Duschl y Bybee, 2014).

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación ha sido objeto de un extenso análisis a través de numerosas revisiones sistemáticas y meta-análisis. Los estudios analizados señalan que la indagación es un enfoque efectivo para promover una comprensión profunda y significativa de las ciencias, favoreciendo al mismo tiempo el dominio afectivo del alumnado, es decir, su interés, actitudes y motivación hacia el aprendizaje científico. En cuanto a la comprensión conceptual, el meta-análisis de Schroeder et al. (2007), que examinó 61 estudios, encontró un impacto significativo de la indagación en el rendimiento de los estudiantes, destacando su potencial para mejorar los resultados de aprendizaje. Asimismo, la síntesis de 138 estudios de investigación realizada por Minner et al. (2010) reveló que, si bien los resultados no fueron completamente positivos, el 51% de las investigaciones obtuvieron resultados satisfactorios en la mejora del aprendizaje por parte de los estudiantes. En concordancia, el meta-análisis de 37 estudios de Furtak et al. (2012) respaldó, asimismo, el efecto positivo de la indagación en el aprendizaje de las ciencias.

En esta misma línea, diversos meta-análisis, como el de Savelsbergh et al. (2016) –que analizaron 65 estudios– y el de Aguilera y Perales-Palacios (2020) –que

examinaron 24 estudios–, avalan que la indagación también mejora las actitudes hacia las ciencias. Sin embargo, estos estudios señalan que la eficacia de esta metodología de enseñanza puede disminuir con la edad del alumnado, siendo más beneficiosa para el alumnado de la etapa de educación primaria. Igualmente, estas ventajas también han sido corroboradas en el contexto español. La revisión sistemática de la literatura llevada a cabo por Aguilera et al. (2018), que incluye 55 estudios desarrollados en España, revela que la indagación promueve tanto el desarrollo cognitivo como afectivo de los estudiantes.

Por otro lado, también existe una extensa evidencia que respalda la indagación para la formación y el desarrollo profesional del profesorado. En este sentido, la revisión sistemática de Strat et al. (2023) analizó 142 estudios, concluyendo su impacto en sendos constructos de interés. Específicamente, los resultados indican que la indagación mejora la autoeficacia del profesorado, promueve el desarrollo de la identidad del profesorado de ciencias y fomenta actitudes más favorables hacia los métodos de enseñanza basados en la indagación. Estos hallazgos son relevantes, ya que contribuyen a la formación del profesorado, especialmente de aquel que apoya la adopción de enfoques de enseñanza y aprendizaje innovadores y alineados con las demandas de las reformas educativas actuales.

1.2. Las TIC en la educación científica

En un contexto actual en el que la enseñanza de las ciencias basada en la indagación cobra cada vez más importancia, la investigación educativa, asimismo, señala el valor de integrar herramientas TIC en la educación científica (Aljuhani et al., 2018; Elmoazen et al., 2023). Las simulaciones interactivas PhET (Wieman et al., 2008) y ChemCollective (Yaron et al., 2010) son ejemplos pioneros y ofrecen una amplia gama de laboratorios virtuales y simulaciones. Estos recursos digitales ofrecen plataformas interactivas que permiten a los estudiantes visualizar fenómenos científicos complejos y, en consecuencia, mejorar su comprensión y retención de conceptos abstractos (Bozzo et al., 2022). Se trata de recursos especialmente útiles cuando los recursos físicos son limitados o cuando es poco práctico o seguro realizar experimentos en el aula (Radhamani et al., 2021).

En la actualidad, las investigaciones centradas en el uso de las TIC en la educación científica avalan su eficacia para la mejora del aprendizaje y de las actitudes. En este sentido, Smetana y Bell (2012) analizaron 61 estudios relacionados con el impacto de las simulaciones virtuales en la enseñanza de las ciencias. En base a su análisis concluyeron que las simulaciones pueden igualar o superar a los métodos tradicionales –basados en clases magistrales y en el uso de laboratorios convencionales– en el incremento de la comprensión de

contenidos científicos, en la mejora de las habilidades del proceso científico y en la promoción del cambio conceptual. Asimismo, Rutten et al. (2012) revisaron 51 estudios cuasi-experimentales, concluyendo que las simulaciones pueden sustituir o mejorar las actividades de laboratorio tradicionales. Las ventajas de las simulaciones se basan en la posibilidad de visualizar fenómenos imposibles de observar en la realidad, en un aumento de la eficiencia del aprendizaje y en la mejora de las actitudes y la motivación de los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias.

Estos resultados se ven respaldados por investigaciones posteriores. Así, Lee y Tsai (2013) revisaron 36 estudios sobre el uso de las TIC en la enseñanza de la biología, destacando un creciente interés en el uso de simulaciones, así como un impacto positivo de estas herramientas en el aprendizaje. Asimismo, la revisión de la literatura de Potkonjak et al. (2016) se enfocó en el uso de laboratorios virtuales para la enseñanza de la ciencia, la tecnología y la ingeniería. Los autores concluyeron que estas herramientas ofrecen rentabilidad, flexibilidad y capacidad para poder atender a varios estudiantes simultáneamente en comparación con los laboratorios convencionales. En definitiva, estas revisiones sugieren que las TIC son herramientas prometedoras para la enseñanza de las ciencias. La investigación en didáctica de las ciencias apoya su uso para la mejora del aprendizaje del alumnado y el desarrollo de sus actitudes y motivación por la ciencia.

1.3. Planteamiento del problema

La enseñanza de las ciencias por indagación y la integración de las TIC ofrecen múltiples beneficios. No obstante, el panorama educativo en España, en lo que respecta a la educación científica, permanece en gran medida en un *status quo*: las metodologías transmisivas continúan predominando en las aulas y el libro de texto sigue siendo el recurso educativo principal utilizado por el profesorado. Por lo tanto, el planteamiento del problema de esta tesis doctoral se enfoca en dos dimensiones: (i) los desafíos que presenta la transposición didáctica de la indagación y (ii) la carencia de recursos TIC diseñados específicamente para enseñar con esta metodología.

1.3.1. Desafíos para la enseñanza de las ciencias por indagación

En lo que respecta a la primera dimensión del planteamiento del problema, se observa una notable carencia en la implementación de la enseñanza indagatoria. Estudios realizados en el contexto español, como los llevados a cabo por Cañal et al. (2013, 2016), García-Carmona et al. (2018) y Romero-Ariza et al. (2019), señalan que los docentes rara vez recurren a la indagación. En consonancia con estos hallazgos, los datos del Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y

Ciencias (TIMSS), desarrollado en 2019, revelan una clara tendencia hacia el uso de metodologías tradicionales (Mullis et al., 2020), como las clases magistrales o el estudio de libros de texto, en detrimento de prácticas relacionadas con la indagación (Figura 1.1). La disyuntiva entre las recomendaciones de la investigación en educación científica y las prácticas reales de los docentes pone de manifiesto la persistente reticencia del profesorado a implementar metodologías innovadoras.

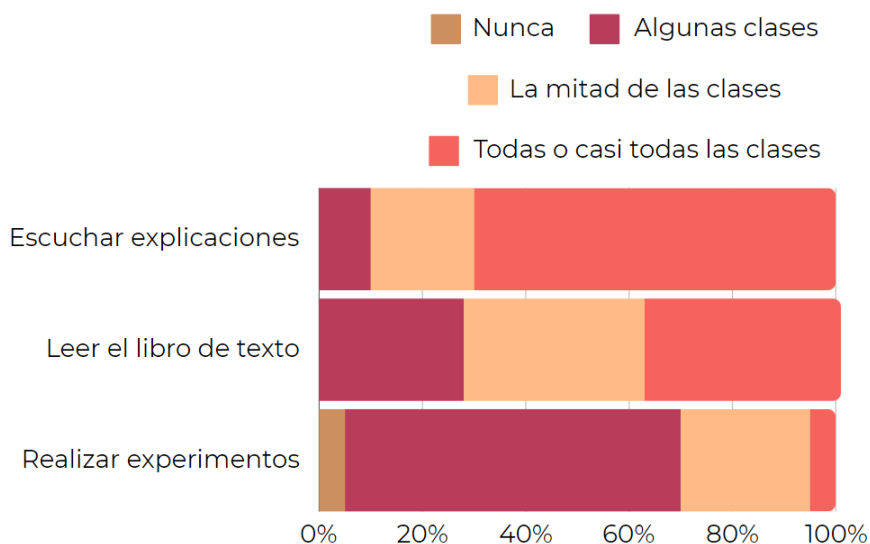


Figura 1.1. Actividades que desarrolla el alumnado español de 4º curso de educación primaria durante las clases de ciencias
Datos: TIMSS 2019 (N = 491 docentes).

La negativa a implementar una enseñanza de las ciencias basada en la indagación se puede atribuir a diversos factores. Entre los principales obstáculos alegados por los docentes se encuentra la falta de tiempo, dado que la indagación requiere de una considerable inversión en la planificación de las clases y actividades (Chichekian et al., 2016). Asimismo, el cambio pedagógico necesario para la implementación de la indagación representa un reto significativo para muchos docentes (Fang, 2020; Zhang, 2016). De hecho, según la revisión de la literatura realizada por Strat et al. (2023), el profesorado experimenta dificultades para realizar la transposición didáctica del enfoque indagatorio.

En el panorama educativo español, los retos son igualmente destacables. La revisión sistemática de la literatura realizada por Aguilera et al. (2018) pone en relieve que el profesorado español considera la indagación como una metodología que requiere mucho tiempo y recursos. El diseño de secuencias indagatorias les resulta complejo, exacerbado por una falta de conocimiento de

las prácticas científicas que deben promoverse, confundiéndose frecuentemente con actividades de tipo receta o demostraciones de cátedra. Además, existen factores externos al profesorado que dificultan una educación científica basada en la indagación. Entre ellos se encuentran la falta de recursos físicos, como espacio, materiales, unidades y kits educativos de indagación que faciliten la transición hacia este enfoque pedagógico (Baroudi y Helder, 2019; Romero-Ariza et al., 2019).

1.3.2. Falta de recursos TIC para la enseñanza de las ciencias por indagación

En relación con la segunda dimensión del planteamiento del problema, se identifica una notable deficiencia de los recursos TIC disponibles para llevar a cabo una enseñanza de las ciencias por indagación. Los recursos disponibles, como los ofrecidos por PhET Colorado, son ampliamente reconocidos, pero carecen de fases dedicadas a aspectos fundamentales del proceso de indagación, como la formulación de preguntas de investigación, la generación de hipótesis y la identificación de variables. En consecuencia, el uso de estos por parte de profesorado inexperto en la indagación puede llevar a actividades de tipo receta, que no logran capturar la auténtica esencia de la indagación científica.

En este sentido, Scalise et al. (2011), en un análisis de 79 estudios, identificaron una proliferación de recursos TIC que ofrecen laboratorios virtuales y simulaciones. Sin embargo, solo el 17% de estos recursos promovían explícitamente prácticas indagatorias, como la formulación de preguntas y el diseño de experimentos. De manera similar, Smetana y Bell (2012) concluyeron en su revisión de la literatura que la efectividad de este tipo de recursos depende en gran medida de su implementación, debiendo integrarse cuidadosamente en el plan de estudios y contar con andamiaje por parte del profesorado. Por otro lado, las revisiones sistemáticas de la literatura realizadas por Potkonjak et al. (2016) y Reeves y Crippen (2021) revelaron que el uso de laboratorios y simulaciones virtuales carece de fundamentos teóricos que guíen su uso, confundiéndose, a menudo, con metodologías de enseñanza o recursos educativos. Los autores concluyeron que el impacto positivo observado podría atribuirse, en algunos casos, más a la novedad de los recursos que a su diseño intrínseco o valor educativo.

Estas limitaciones se podían abordar mediante el uso del recurso Go-Lab (de Jong et al., 2021). Esta web permitía el diseño de actividades complementarias a las simulaciones virtuales, tales como ejercicios de tipo *arrastrar y soltar* o *rellenar huecos* para formular preguntas de investigación o emitir hipótesis. Sin embargo, esta solución demandaba una inversión significativa de tiempo por parte de los docentes, quienes también debían poseer un conocimiento profundo de la

metodología indagatoria. Por ejemplo, el tiempo promedio empleado por los docentes para crear estas actividades superaba las cuatro horas (de Jong et al., 2021). Además, desde junio de 2023, Go-Lab ya no brinda esta posibilidad. Por consiguiente, persiste una carencia de recursos TIC específicamente diseñados para una enseñanza de las ciencias basada en la indagación.

1.4. Objetivos y alcance de la Tesis Doctoral

Esta tesis doctoral tiene como objetivo principal el diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp, un recurso educativo TIC innovador concebido para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación. Los objetivos específicos que se persiguen en la tesis, y su relación con los cuatro artículos que la componen, son los siguientes:

1. Analizar la disponibilidad y el uso de recursos TIC para la enseñanza de las ciencias entre maestros de educación primaria en España, así como su formación en este ámbito (artículo #1).
2. Describir el diseño y desarrollo de IndagApp y evaluar, asimismo, su usabilidad con docentes en ejercicio y profesorado universitario experto en esta temática (artículo #2).
3. Evaluar la usabilidad de IndagApp con maestros de educación primaria en formación inicial (artículo #3).
4. Evaluar la usabilidad de IndagApp con estudiantes de educación primaria (artículo #4).

El alcance de la presente tesis doctoral engloba el diseño, desarrollo y análisis de la usabilidad de IndagApp. La usabilidad se define, según la Norma ISO 9241-210, como la capacidad de un producto para ser comprensible, aprendido, utilizado y resultar atractivo para los usuarios, en el marco de las condiciones específicas de uso. Por lo tanto, se pretende determinar en qué medida pueden los maestros de educación primaria en formación y en servicio, junto con los estudiantes de esta etapa, emplear IndagApp de manera exitosa. Asimismo, se pretende analizar cuál es la percepción de estos usuarios sobre IndagApp en cuanto a la satisfacción con su diseño y experiencia de uso se refiere.

1.5. Descripción de IndagApp

IndagApp es un recurso educativo en 3D que se encuentra disponible para su descarga de forma gratuita en dispositivos móviles y tabletas digitales con sistema operativo Android 5.0 o superior, así como para ordenadores con sistema operativo Windows 7 o superior. Este recurso ha sido diseñado y programado usando Unreal Engine 4 y Blender. Además, se han empleado Adobe Photoshop y Adobe Premiere para la creación de texturas y animaciones (**Figura 1.2**). En

cuanto a su contenido, la aplicación consta de diez secuencias didácticas por indagación que abarcan contenidos curriculares alineados con el currículo de la LOMLOE (Real Decreto 157/2022) y que pueden ser aprendidos mediante investigaciones experimentales con manipulación de variables. Por lo tanto, las secuencias de IndagApp abordan contenidos relacionados con el crecimiento de las plantas, la formación de cristales, las fuerzas, las inundaciones, el crecimiento bacteriano, la fotosíntesis, la flotabilidad, la formación de valles, la refracción de la luz y el vuelo en globo.

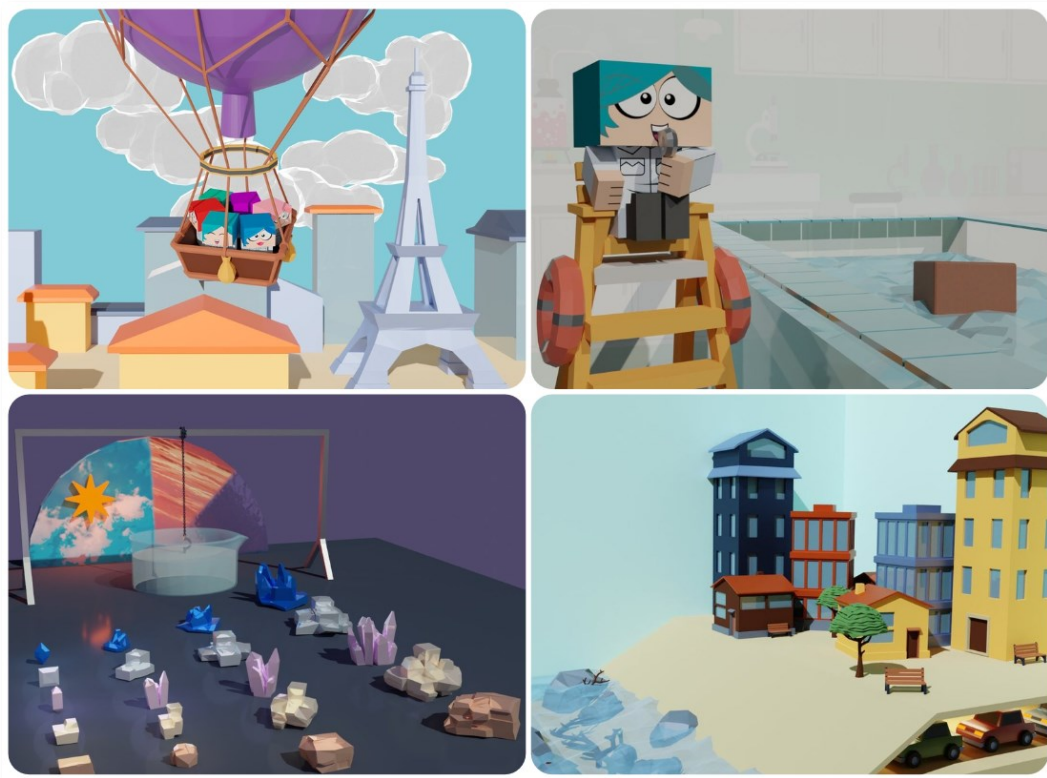


Figura 1.2. Modelos 3D de IndagApp

1.5.1. Estructura de cada secuencia en IndagApp

Las secuencias didácticas de IndagApp comparten una estructura común, fundamentada en el ciclo indagatorio de Pedaste et al., (2015), la cual fue desarrollada a partir de una revisión sistemática de la literatura. Para facilitar su implementación en el aula, cada secuencia se fragmenta en cinco fases que resaltan diferentes prácticas científicas: (i) formulación de una pregunta de investigación, (ii) emisión de hipótesis, (iii) diseño experimental y recolección de datos, (iv) interpretación de los resultados y (v) elaboración de conclusiones.

La primera fase, denominada *pregunta de investigación*, constituye un pilar fundamental en el proceso de aprendizaje con IndagApp. Mediante un cuento, IndagApp introduce una situación problematizadora que tiene como objetivo principal motivar al usuario y conectar los contenidos curriculares que se van a abordar con sus vivencias cotidianas (Figura 1.3). A partir de la situación inicial, IndagApp anima a los alumnos a formular preguntas de investigación que puedan ser abordadas mediante un diseño experimental. Esta fase inicial finaliza con la puesta en común de una pregunta de investigación que, no solo despierta el interés de los usuarios, sino que también sienta las bases para el desarrollo de las siguientes fases.



Figura 1.3. Introducción de la indagación mediante una situación problematizadora, así como la pregunta de investigación en la primera fase

En la segunda fase de IndagApp, llamada *hipótesis*, se presenta a los usuarios respuestas tentativas a la pregunta de investigación. Esta fase da lugar a la formulación de cuatro hipótesis diferentes para cada investigación, las cuales deben ser seleccionadas en función de si creen que se van a confirmar o refutar (Figura 1.4).

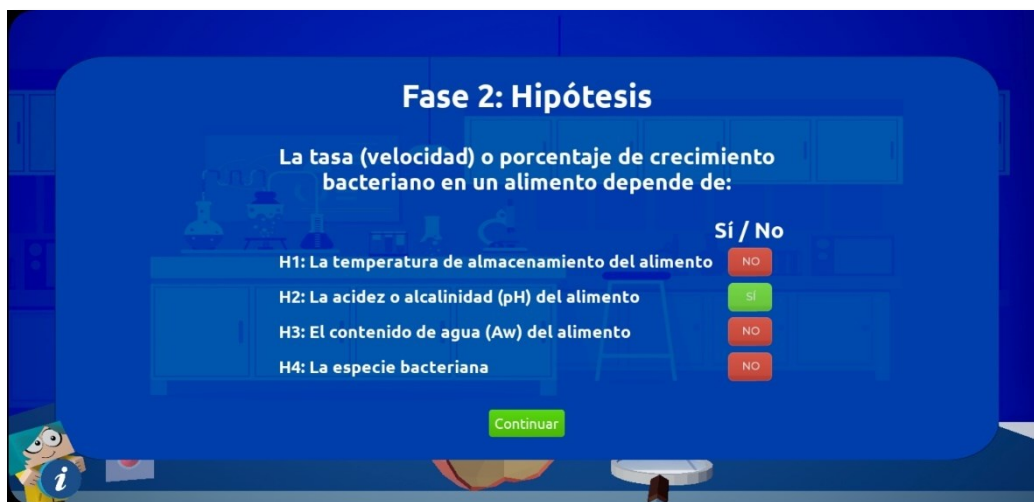


Figura 1.4. Emisión de hipótesis durante la segunda fase

A continuación, en la tercera fase o fase de *diseño experimental*, se aborda el proceso de planificación de un diseño experimental para probar las hipótesis formuladas. En IndagApp, para cada hipótesis, los estudiantes deben identificar las variables dependiente (aquella que el investigador va a medir; p. ej., crecimiento de la planta), independiente (aquella que el investigador modifica para estudiar su efecto en la variable dependiente; p. ej., cantidad de agua de riego) y de control (aquellas que el investigador debe mantener constantes entre las condiciones; p. ej., tipo de planta y horas de luz solar) del diseño experimental correspondiente (Figura 1.5).

En esta etapa, el usuario emplea simulaciones virtuales diseñadas específicamente para IndagApp con el objetivo de evaluar cada hipótesis planteada. Para ello, se manipulan y controlan las variables experimentales y se recolectan cinco conjuntos de datos (Figura 1.6).

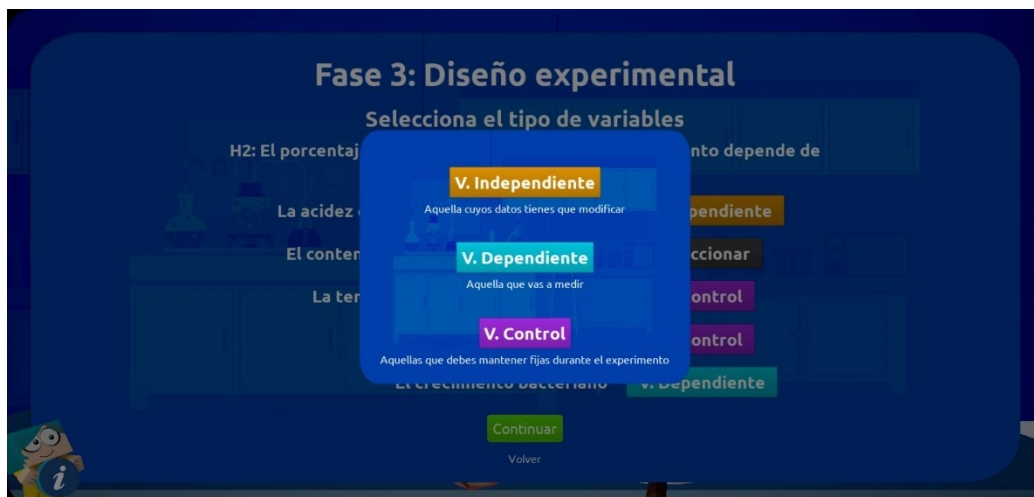


Figura 1.5. Selección de variables durante la tercera fase



Figura 1.6. Recolección de datos durante la tercera fase

En la cuarta fase, denominada *interpretación de resultados*, se procede a organizar los datos recopilados en una tabla con el fin de facilitar su análisis visual. Posteriormente, se genera una figura que representa gráficamente los datos. A partir de estos elementos, los usuarios deben analizar la información con el objetivo de identificar patrones relevantes para dar respuesta a la pregunta de investigación formulada. Para evaluar la correcta interpretación de los resultados, IndagApp formula cuatro preguntas dicotómicas (sí/no) que los usuarios deben responder en relación con los datos obtenidos (Figura 1.7).

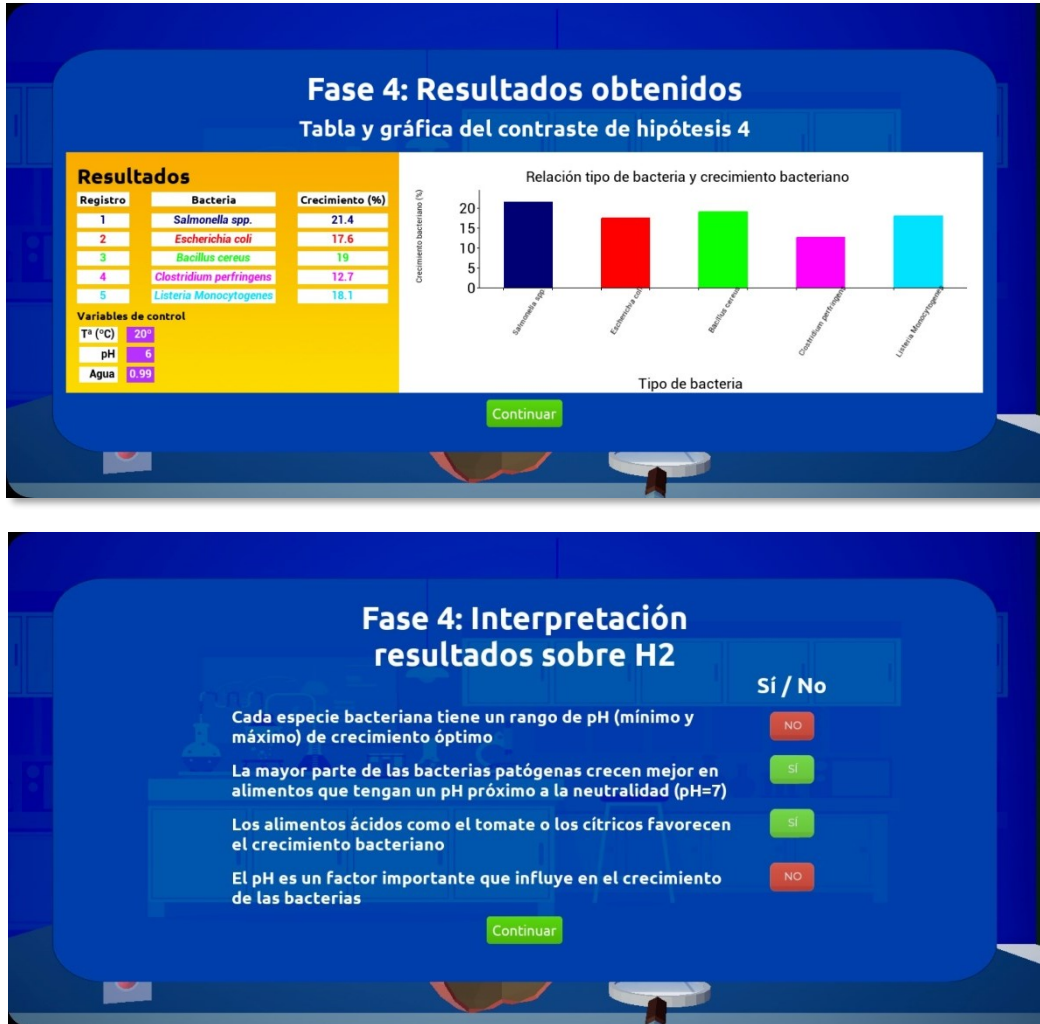


Figura 1.7. Interpretación de los resultados durante la cuarta fase

En la fase final de cada secuencia, denominada *afianzamiento y aplicación*, se evalúa la comprensión de los alumnos mediante preguntas de refuerzo y aplicación (Figura 1.8). Estas preguntas tienen como objetivo examinar si el usuario es capaz de aplicar los conocimientos adquiridos a nuevas situaciones problematizadoras. De esta manera, se verifica si el usuario es capaz de transferir el aprendizaje de los conceptos abordados a otros escenarios del mundo real.

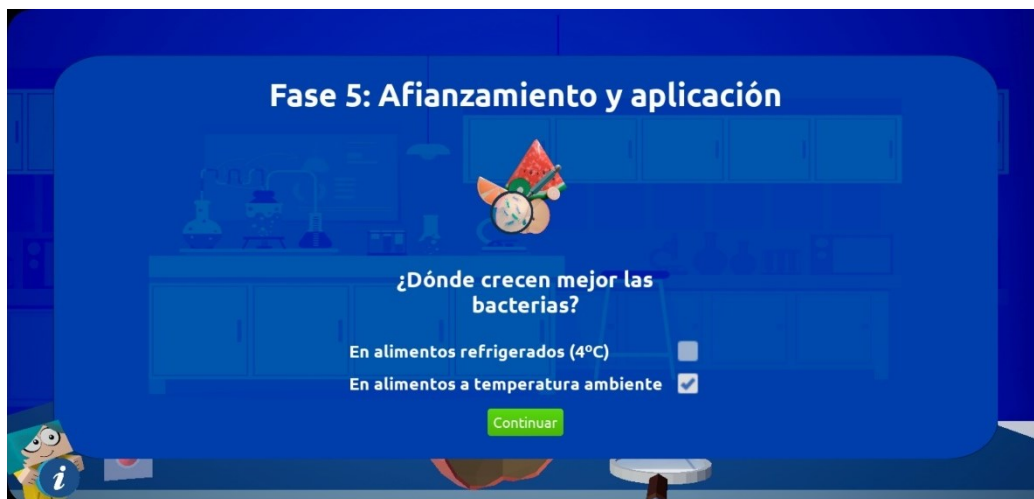


Figura 1.8. Preguntas de aplicación de conocimientos durante la quinta fase

1.5.2. Andamiaje

Múltiples estudios avalan la eficacia de la indagación como metodología de enseñanza. Sin embargo, para optimizar sus resultados, es fundamental encontrar un equilibrio entre la autonomía del estudiante y la orientación estructurada por parte del docente. Esta última, denominada andamiaje, se concibe como un proceso de apoyo pedagógico diseñado para situar el aprendizaje dentro de la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP). La ZDP, acuñada por Lev Vygotsky (1979), hace referencia a la distancia entre el nivel de desarrollo real de un estudiante (lo que puede lograr de forma autónoma) y su nivel de desarrollo potencial (lo que puede alcanzar con la guía de un experto). Diversos metaanálisis han corroborado este principio. Alfieri et al. (2011), tras examinar 164 estudios, concluyeron que la enseñanza por indagación supera a los métodos tradicionales solo cuando se acompaña de un andamiaje adecuado. Furtak et al. (2012), en su metaanálisis de 37 estudios, encontraron resultados similares, enfatizando la necesidad de andamiaje para apoyar al alumnado en el proceso de indagación. Lazonder y Harmsen (2016), en su metaanálisis de 72 estudios, confirmaron que el andamiaje es fundamental para el éxito del aprendizaje basado en la indagación. Más recientemente, las revisiones narrativas de Romero-Ariza (2017) y de Jong et al. (2023) destacaron que se logran mejores resultados en el aprendizaje cuando la indagación está altamente estructurada e incluye andamiaje por parte de los docentes.

De esta forma, IndagApp combina el andamiaje digital y los recursos analógicos para facilitar el aprendizaje por indagación. Específicamente, la aplicación presenta un personaje principal o protagonista que guía a los

estudiantes a través de las diferentes etapas del proceso de indagación. Este protagonista ofrece explicaciones y aclaraciones en forma de texto y videos (Figura 1.9). Por ejemplo, en el menú principal se incluye un video que explica de manera sencilla el ciclo de indagación. Asimismo, en la tercera fase se presenta otro video que define los conceptos de las variables dependiente, independiente y de control y plantea un ejemplo comprensible.



Figura 1.9. Ejemplo de andamiaje en formato texto y vídeo incluido en IndagApp

De igual manera, se han desarrollado recursos analógicos que acompañan el uso de IndagApp. Cada unidad de IndagApp cuenta con fichas imprimibles en las que figuran todas las fases del ciclo indagatorio, y que constan de varias actividades que se han de cumplimentar mientras se emplea la app. El objetivo de estas fichas es doble. Por un lado, adaptar el uso de IndagApp a la idiosincrasia de los centros educativos en términos de uso del libro de texto. Por otro lado, se

pretende que el uso de IndagApp no se convierta en un juego, tal y como advierte la revisión de Potkonjak et al. (2016) sobre el uso de laboratorios virtuales.

1.6. Descripción de los estudios

La presente tesis doctoral se estructura en cuatro estudios que abordan el diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad del recurso IndagApp, empleando un enfoque metodológico de método mixto de tipo multifase. Este diseño, considerado idóneo para evaluar programas o productos, integra una serie de investigaciones independientes pero interconectadas que abarcan enfoques cuantitativos, cualitativos y mixtos, desarrollados de forma secuencial (Figura 1.10).



Figura 1.10. Diseño de métodos mixtos de tipo multifase

1.6.1. Artículo #1

En el primer estudio, titulado *La brecha digital en la enseñanza de las ciencias en España durante las leyes educativas LOE y LOMCE*, se analiza la disponibilidad de los recursos TIC, su uso y la formación del profesorado en España, sentando las bases para el desarrollo de la aplicación IndagApp. Para ello, se realiza un análisis de datos secundario de las ediciones TIMSS2011 y TIMSS2015 empleando un enfoque cuantitativo. En concreto, se analizan las respuestas de 519 y 358 maestros de educación primaria, respectivamente, y se presenta un punto de vista sobre la evolución y el impacto de las reformas educativas en el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias. Los estudios de análisis secundario hacen uso de datos preexistentes que han sido recolectados originalmente con fines

distintos, para así abordar cuestiones de investigación novedosas con respecto a la investigación original. La revisión de Teig et al. (2022) respalda la eficacia de este enfoque, identificando 82 estudios de alta calidad que investigan la enseñanza de las ciencias mediante el análisis de datos secundarios.

1.6.2. Artículo #2

El segundo estudio, titulado *Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación*, emplea un diseño convergente de métodos mixtos (Creswell y Plano-Clark, 2018) para examinar la conceptualización, el diseño y el desarrollo del primer prototipo de IndagApp. Asimismo, evalúa la usabilidad de la app por un panel de 14 expertos compuesto por profesores universitarios y maestros en activo. Empleando este diseño, se realizó una recogida paralela y un análisis independiente de los datos cuantitativos y cualitativos, seguido de su triangulación para obtener una primera evaluación de la usabilidad de IndagApp. Las fuentes de datos cuantitativos incluyen el cuestionario *System Usability Questionnaire* (SUS, Brooke, 1996), –que es el instrumento de referencia para la medición cuantitativa de la usabilidad–, el *User Engagement Scale* (UES; O'Brien et al., 2018) y el *Mobile Application Usability questionnaire* (MAU, Hoehle y Venkatesh, 2015). Las fuentes de datos cualitativos incluyen un cuestionario de preguntas abiertas y grupos focales. Este estudio proporcionó el primer prototipo de un recurso TIC para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación y puso en relieve áreas de mejora.

1.6.3. Artículo #3

Partiendo de los resultados del segundo estudio, se llevó a cabo el tercero, titulado *The IndagApp mobile app – an inquiry-based science teaching resource: Usability evaluation with pre-service teachers (La aplicación móvil IndagApp: un recurso para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación: Evaluación de su usabilidad con maestros en formación inicial)*. Este estudio, también basado en un diseño convergente de métodos mixtos, se centró en la mejora de IndagApp, dando lugar a un segundo prototipo tras abordar las necesidades detectadas en la versión anterior. La usabilidad de este prototipo mejorado se evaluó con 90 maestros de educación primaria en formación inicial, quienes completaron, de forma autónoma e individual, dos secuencias por indagación en un entorno controlado (sala de informática) durante una sesión de dos horas. La recolección de datos incluyó el cuestionario SUS para la vertiente cuantitativa y un cuestionario abierto para la vertiente cualitativa. Los resultados revelaron altos niveles de usabilidad, si bien también pusieron de manifiesto aspectos susceptibles de mejora.

1.6.4. Artículo #4

El estudio final de esta tesis doctoral se titula *Design and usability evaluation of a mobile app for elementary school inquiry-based science learning (Diseño y evaluación de la usabilidad de una aplicación móvil para el aprendizaje de las ciencias por indagación en educación primaria)*. Este estudio presenta la versión definitiva de IndagApp y utiliza una metodología cuantitativa para evaluar su usabilidad con alumnado de educación primaria. Específicamente, participaron 43 estudiantes de quinto curso de dos escuelas, una de adscripción pública y otra concertada. La recolección de datos se realizó mediante el SUS pictórico (Baumgartner et al., 2021), que incorpora representaciones visuales junto a los ítems escritos del SUS original. Los estudiantes interactuaron con IndagApp en el entorno natural del aula, completando dos secuencias por indagación (fuerza y crecimiento de las plantas) a lo largo de seis sesiones de una hora cada una. Los resultados revelaron excelentes niveles de usabilidad, lo que posiciona a IndagApp como un recurso educativo prometedor para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación.

1.7. Referencias

- Aguilera, D., 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>
- 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>
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., y Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, *103*(1), 1–18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Aljuhani, K., Sonbul, M., Alhabiti, 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>
- 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>
- Baumgartner, J., Ruettggers, N., Hasler, A., Sonderegger, A., y Sauer, J. (2021). Questionnaire experience and the hybrid System Usability Scale: Using a novel concept to evaluate a new instrument. *International Journal of Human Computer Studies*, *147*, 102575. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102575>
- 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>
- Brooke, J. (1996). A quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, y I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 207–212). Taylor & Francis.

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., y Muñoz-Franco, G. (2016). Concepciones didácticas y práctica docente. In P. Cañal, G. Travé González, F. J. Pozuelos Estrada, A. M. Criado, y A. García-Carmona (Eds.), *La enseñanza sobre el medio natural y social. Investigaciones y experiencias*2 (pp. 177–205). Díada.

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., y Muñoz, G. (2013). La enseñanza relativa al medio en las aulas españolas de educación infantil y primaria: concepciones didácticas y práctica docente. *Revista Investigación En La Escuela*, 81, 21–42. <http://www.mec.es/multimedia/00005713.pdf>

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>

Correia, A. P., Koehler, N., Thompson, A., y Phye, G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: secondary school students' perceptions. *Research in Science and Technological Education*, 37(2), 193–217. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1487834>

Creswell, J. W., y Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research (3rd edition)*. Sage.

de Jong, T., Gillet, D., Rodríguez-Triana, M. J., Hovardas, T., Dikke, D., Doran, R., Dziabenko, O., Koslowsky, J., Korventausta, M., Law, E., Pedaste, M., Tasiopoulou, E., Vidal, G., y Zacharia, Z. C. (2021). Understanding teacher design practices for digital inquiry-based science learning: The case of Go-Lab. *Educational Technology Research and Development*, 69(2), 417–444. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09904-z>

de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., y Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39(November 2022), 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>

Dewey, J. (1910). Science as subject-matter and as method. *Science*, 31(787), 121–127.

Duschl, R. A., y Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education*, 1(12), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40594-014-0012-6>

Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M., y Wasson, B. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*, 10(23), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y>

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>

Forbes, C. T., Neumann, K., y Schiepe-Tiska, A. (2020). Patterns of inquiry-based science instruction and student science achievement in PISA 2015. *International Journal of Science Education*, 42(5), 783–806. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1730017>

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., y Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of Inquiry-Based Science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>

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>

García-Carmona, A., Criado, A. M., y Cruz-Guzmán, M. (2018). Prospective primary teachers' prior experiences, conceptions, and pedagogical valuations of experimental activities in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 237–253. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9773-3>

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>

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>

Lee, S. W. Y., y Tsai, C. C. (2013). Technology-supported learning in secondary and undergraduate biological education: Observations from literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 226–233. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9388-6>

Minner, D. D., Levy, A. J., y Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction - What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science*, 47(4), 474–496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>

Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Foy, P., y Kelly, D. L. (2020). *TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science*. Retrieved from Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center website: <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/international-results/>

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>

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>

Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education*, 95, 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>

Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., y Diwakar, S. (2021). What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre- and post-COVID-19: Focus on usage, behavior, intention and adoption. *Education and Information Technologies*, 26(6), 7477–7495. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10583-3>

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>

Reeves, S. M., y Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 16–30. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>

Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 286–299. <http://hdl.handle.net/10498/19218%0Ahttp://reuredc.uca.es>

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>

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., y Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>

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>

Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T.-Y., y Lee, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(10), 1436–1460. <https://doi.org/10.1002/tea>

Schwab, J. J. (1960). Inquiry, the science teacher, and the educator. *The School Review*, 68(2), 176–195.

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.

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>

Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., y Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 1–59. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>

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. (2022). Effect of confirmation and structured inquiry on attitudes toward school science. *School Science and Mathematics*, 122(1), 16–23. <https://doi.org/10.1111/ssm.12505>

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>

Vygotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Grijalbo.

Wieman, C. E., Adams, W. K., y Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>

Yaron, D., Karabinos, M., Lange, D., Greeno, J. G., y Leinhardt, G. (2010). The ChemCollective - virtual labs for introductory chemistry courses. *Science*, *328*(5978), 584–585. <https://doi.org/10.1126/science.1182435>

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>

2. Artículo #1: La brecha digital en la enseñanza de las ciencias en España durante las leyes educativas LOE y LOMCE

Iraya Yáñez-Pérez, Radu Bogdan Toma, Jesús Ángel Meneses-Villagrá

Resumen

Las últimas reformas curriculares en España, como la LOE y la LOMCE, han promovido la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, el papel de estas reformas en la práctica pedagógica del profesorado es un aspecto poco investigado. Este estudio examina en qué medida docentes de Educación Primaria (N = 719) han utilizado las TIC para la enseñanza de las ciencias durante estas leyes educativas y qué papel ha desempeñado en ello el desarrollo profesional continuo. A tal efecto, se realiza un análisis secundario de TIMSS 2011 y TIMSS 2015, cuya recolecta de datos se produjo durante la LOE y la LOMCE respectivamente. Los resultados muestran que hubo poca disponibilidad de ordenadores y tabletas digitales, un uso sumamente escaso de las TIC para la enseñanza de las ciencias, sin una mayor frecuencia durante la LOMCE que la LOE, poca participación del profesorado en cursos de formación profesional sobre las TIC y, que aquellos con formación en las TIC las han usado más frecuentemente en sus clases. Estos hallazgos son preocupantes, ya que revelan un modesto impacto de las reformas educativas en las prácticas pedagógicas del profesorado para la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave: TIC, enseñanza de las ciencias; Educación Primaria; ordenadores; reformas educativas; LOE; LOMCE; tecnología educacional.

2.1. Introducción

La integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de las ciencias conduce a resultados educativos satisfactorios (Reeves y Crippen, 2021). Además, cuentan con una gran aceptación por parte del alumnado (Chaljub-Hasbún et al., 2022; Toma, 2023). En efecto, su uso ayuda a promover las prácticas científicas en el aula de ciencias, permitiendo recoger y analizar datos experimentales, visualizar y analizar fenómenos virtuales, expresar modelos con soporte digital, y compartir información para argumentar en ciencias (López-Simó et al., 2017). De ahí que las reformas educativas de las últimas décadas en España, con esfuerzos encabezados por la LOE (2006), seguidos por la LOMCE (2013) y recientemente reafirmados por la LOMLOE (2020), hayan promovido su adopción por parte del profesorado en general y, en particular, para las clases de ciencias. Sin embargo, se desconoce en qué medida estas reformas educativas han tenido un impacto positivo en la adopción de estos recursos por parte del profesorado de Educación Primaria. Por lo tanto, este estudio aborda esta cuestión, con énfasis en la LOE y la LOMCE.

2.1.1. Las TIC en la enseñanza de las ciencias

Las TIC son cada vez más importantes y populares en la educación científica. Las investigaciones existentes indican que el uso de las TIC, como ordenadores, tabletas o simulaciones, constituyen una forma eficaz para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Moreno-Martínez y Franco-Mariscal, 2023). En efecto, Scalise et al. (2011) concluyeron, a partir de una revisión de 79 estudios, que los laboratorios virtuales y el uso de simulaciones en ciencias pueden contribuir al aprendizaje del alumnado. Del mismo modo, Smetana y Bell (2012) informaron de los hallazgos de 61 estudios empíricos sobre la eficacia y las implicaciones favorables de las simulaciones por ordenador en la enseñanza de las ciencias. Los resultados sugieren que las simulaciones pueden ser tan efectivas, si no más, que las prácticas pedagógicas tradicionales –es decir, basadas en clases expositivas y el uso de libros de texto– para promover el aprendizaje de las ciencias, desarrollar habilidades procedimentales y facilitar el cambio conceptual.

En cuanto a los laboratorios virtuales, la literatura señala varias ventajas. Reducen las necesidades de equipamiento y materiales –a menudo costosos– y son accesibles en cualquier momento y desde cualquier lugar, ofreciendo al alumnado la oportunidad de trabajar a su propio ritmo (Bhargava et al., 2006). Asimismo, los laboratorios virtuales producen resultados de aprendizaje similares a los de los laboratorios prácticos tradicionales (Darrah et al., 2014), a la vez que permite al alumnado desarrollar habilidades prácticas a través de la experimentación (Aljuhani et al., 2018). De hecho, el uso de las TIC en las clases de ciencias promueve el desarrollo cognitivo, ofrecen una mayor variedad de

experiencias, permite que el alumnado pueda relacionar la ciencia con sus propias experiencias y con otras del mundo real, aumentan la autogestión de los estudiantes y facilitan la recogida y presentación de datos (Webb, 2005).

En relación con el ámbito afectivo, Rutten et al. (2012) analizaron estudios de investigación cuasi-experimentales publicados entre 2001 a 2010 que investigaron las simulaciones por ordenador como sustitución o mejora de la instrucción tradicional. En su revisión, encontraron pruebas sólidas que apoyan los efectos positivos de las simulaciones para mejorar las actitudes y las motivaciones; cuando se utilizaron en entornos de laboratorio, la comprensión de la práctica, así como el desarrollo de habilidades prácticas de laboratorio, mejoraron. En la misma línea, Lee y Tsai (2013) realizaron una revisión bibliográfica centrada en la TIC en la educación en biología. Basándose en el análisis de contenido de 36 artículos, concluyeron que el uso de las TIC fomenta actitudes positivas hacia la biología, promueve habilidades cognitivas de orden superior y mejora la comprensión conceptual del alumnado. Estos hallazgos han sido ratificados por la reciente revisión sistemática de Reeves y Crippen (2021) que sintetizaron los resultados de 25 investigaciones publicadas entre 2009 y 2019 sobre el uso de laboratorios de realidad virtual. Los autores atribuyeron a estos recursos efectos positivos relacionados con la mejora de la motivación del alumnado, si bien esta podría deberse a la novedad de usar las TIC y no al diseño de las simulaciones.

2.1.2. Las TIC en el sistema educativo español

En el caso de España, contexto de este estudio, las TIC han tenido un papel importante en las leyes educativas que nos ocupan. Así, la Ley Orgánica de Educación (LOE, 2006) estableció el Tratamiento de la información y competencia digital como una de las competencias básicas a alcanzar en la Educación Primaria, que se articula para alcanzar uno de los objetivos centrales de esta etapa, el de “i) Iniciarse en la utilización, para el aprendizaje, de las tecnologías de la información y la comunicación desarrollando un espíritu crítico ante los mensajes que reciben y elaboran” (p. 17168). Así, propuso un bloque para la asignatura de Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural enfocado a la alfabetización en las TIC, con actividades enfocadas al uso básico del ordenador, el manejo de un procesador de textos y la búsqueda guiada en Internet.

En términos similares, la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, 2013) se hizo eco de estas medidas y fortaleció la promoción de las TIC; todo ello enmarcado bajo la competencia clave denominada Competencia digital. En relación con la asignatura de Ciencias de la Naturaleza, se potenció el uso de las TIC: “(...) se debe iniciar a los alumnos y alumnas en el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, para buscar información y para

tratarla y presentarla, así como para realizar simulaciones interactivas y representar fenómenos de difícil realización experimental.” (p. 19366), aspecto que se establece como un objetivo común para todos los cursos de Educación Primaria.

Asimismo, la LOMLOE fomenta la transformación digital de los espacios educativos y los entornos de aprendizaje. Conserva la Competencia digital de la LOMCE (2013) e incorpora una nueva competencia, llamada Competencia matemática y en ciencia, tecnología e ingeniería (competencia STEM). En cuanto a la materia de Ciencias de la Naturaleza, se establece una competencia específica vinculada con el manejo de herramientas digitales.

En definitiva, el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias reporta importantes beneficios educativos, siendo, por tanto, un aspecto ampliamente promovido en las últimas leyes educativas de España, la LOE (2006), la LOMCE (2013) y la LOMLOE (2020). Dada la reciente implementación de la nueva reforma educativa LOMLOE (2020), resulta oportuno analizar los efectos que las anteriores reformas educativas han tenido en el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias por parte del profesorado de Educación Primaria.

2.2. Objetivos

Esta investigación tiene por objeto analizar en qué medida el profesorado ha empleado las TIC en las clases de ciencias durante la LOE y la LOMCE y qué papel ha desempeñado la formación profesional continua recibida en todo ello. Los hallazgos de este estudio son novedosos, relevantes y oportunos en tanto que revelan el uso de las TIC durante la enseñanza de las ciencias en la Educación Primaria del contexto español. Estos resultados permitirán evaluar en qué medida las reformas educativas inciden en la práctica docente y orientar futuros esfuerzos educativos hacia los aspectos susceptibles de mejora. Al respecto, se han formulado los siguientes objetivos de investigación:

- Objetivo 1: Analizar el grado de uso de las TIC por parte del profesorado para la enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.
- Objetivo 2: Evaluar la evolución del uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias entre la LOE y la LOMCE.
- Objetivo 3: Estimar la participación del profesorado en cursos de formación profesional continua para la integración de las TIC en enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.
- Objetivo 4: Examinar el impacto de la formación profesional continua en el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.

2.3. Método

2.3.1. Diseño

Se trata de un tipo de investigación de análisis secundario a partir de las ediciones 2011 y 2015 del Estudio de las Tendencias en Matemáticas y Ciencias (TIMSS, Trends in International Mathematics and Science, en inglés). Este estudio consta de un nuevo análisis de los datos procedentes de una investigación principal con el fin de responder a cuestiones complementarias (Cohen et al., 2018). El objetivo es describir la realidad investigada sin hipótesis previas. La elección de este diseño se basa en la necesidad de obtener datos fiables recopilados durante leyes educativas pasadas. Este diseño es efectivo y eficiente, en tanto que permite aprovechar recursos existentes y analizar el impacto de las reformas educativas en retrospectiva. Cabe destacar que los informes finales de TIMSS no abordan estos objetivos ni reportan los análisis aquí desarrollados.

2.3.2. Participantes

La población objeto de estudio fue el profesorado del 4º curso de Educación Primaria en España durante la recogida de datos de TIMSS 2011 y TIMSS 2015. Los datos de TIMSS 2011 fueron recolectados cinco años después de la implementación de la LOE (2006) y los de TIMSS 2015, dos años tras la implementación de la LOMCE (2013). Por tanto, se puede considerar un tiempo adecuado para que las adaptaciones curriculares establecidas puedan verse reflejadas en la práctica docente. Cabe resaltar que el cuestionario docente de TIMSS 2019 prescindió de los ítems aquí analizados, por lo que no se incluyen dichos datos en esta investigación.

El diseño de muestreo bietápico empleado por TIMSS 2011 y 2015 se pretende obtener una muestra nacionalmente representativa de los centros educativos y los estudiantes de 4º curso de Educación Primaria. El tipo de muestreo fue el mismo en ambas ediciones y consistió en dos etapas: en la primera, se extrajo una muestra de escuelas de la población objetivo y, en la segunda, se seleccionaron una o más clases intactas de estudiantes, y sus respectivos docentes, de cada escuela de la muestra (Martin y Mullis, 2012; Martin et al., 2016). Se empleó dos formas de estratificación: la explícita, que consistió en crear un listado de escuelas para cada comunidad autónoma; y la implícita, que consistió en clasificar las escuelas por su adscripción pública o privada dentro de cada comunidad autónoma y extraer una muestra de escuelas de cada listado. Como resultado de este muestreo participaron 200 docentes de 151 centros educativos en TIMSS 2011 (LOE) y de 519 docentes de 358 centros educativos en TIMSS 2015 (LOMCE). La **Tabla 2.1** recoge las características de la muestra de cada edición analizadas en este estudio.

Tabla 2.1. Características de la muestra

	TIMSS 2011 (LOE)	TIMSS 2015 (LOMCE)
Género (%)		
Mujer	74	69
Hombre	21	29.6
Edad (%)		
< 25	0.5	1.2
25 – 29	7	7.9
30 – 39	17	27
40-49	27	20.2
50-59	38	33.5
≥60	5.5	6.4
Experiencia docente (años)		
Media	21.22	18.83
Desviación estándar	11.51	11.84
Mediana	21	16

Nota: hubo datos perdidos para las tres variables: género (4.4%), edad (3.9%) y experiencia docente (5.4%). Fuente: Elaboración de los autores con datos de la investigación.

2.3.3. Instrumentos

2.3.3.1. Prácticas docentes. Se analizaron los datos recolectados mediante el cuestionario “Uso de ordenadores para la enseñanza de las ciencias en la clase TIMSS”, aplicado en ambas ediciones aquí analizadas. Está compuesto por dos partes. La primera, consta de una pregunta dicotómica (Sí; No) que refiere a si “¿Disponen los alumnos de esta clase de ordenadores (incluidas las tabletas) para utilizarlos durante sus clases de ciencias?” (ATBS05A en TIMSS 2011 y ATBS04A en TIMSS 2015). La segunda, enfocada únicamente al profesorado que respondió de manera afirmativa, está precedida por el epígrafe “¿Con qué frecuencia le pide al alumnado realizar las siguientes actividades con ordenadores durante las clases de ciencias?” y está compuesta por cuatro ítems: a) Practicar habilidades y procedimientos; b) Buscar ideas e información; c) Realizar procedimientos o experimentos científicos; d) Estudiar fenómenos naturales mediante simulaciones (del ATBS05CA a ATBS05CD en TIMSS 2011 y ATBS04CA a ATBS04CD en TIMSS 2015). Se empleó una escala Likert de frecuencia con cuatro opciones de respuesta (nunca o casi nunca; una o dos veces al mes; una o dos veces a la semana; todos o casi todos los días). El alfa de Cronbach fue .87 para TIMSS 2011 y .74 para TIMSS 2015, lo que sugiere adecuados índices de fiabilidad (Cohen et al., 2018).

2.3.3.2. Formación profesional continua. Se analizó un ítem relacionado con la formación continua del profesorado. Bajo el epígrafe "En los últimos dos años, ¿ha participado en el desarrollo profesional de alguno de los siguientes aspectos?", el ítem refería a "la integración de las tecnologías de la información en la ciencia" (ATBS10D en TIMSS 2011 y ATBS08D en TIMSS 2015). Se empleó una escala dicotómica (Sí o No). Dado que se trata de un ítem único, se desconoce la fiabilidad del mismo; el alfa de Cronbach no es un estadístico pertinente para este tipo de datos (Cohen et al., 2018).

2.3.4. Análisis de los datos

Para abordar los objetivos 1 y 3, se utilizó estadística descriptiva, analizando la frecuencia para cada práctica docente. Para los objetivos 2 y 4, se empleó estadística inferencial; concretamente, la prueba t de Student para muestras independientes, con la puntuación media de los cuatro ítems. Se empleó la t de Student dado que los datos cumplen con los supuestos de tamaño muestral ($n > 30$ para cada grupo), normalidad (curtosis y asimetría entre ± 2) y homogeneidad de la varianza ($p > .05$), según las sugerencias de Knapp (2018).

En concreto, para el objetivo 2, se comprobó las diferencias entre TIMSS 2011 y TIMSS 2015 para determinar en qué medida el cambio de ley educativa de la LOE a la LOMCE tuvo algún impacto en el uso de las TIC por parte del profesorado para la enseñanza de las ciencias. En cuanto al objetivo 4, se examinó en qué medida el profesorado que participó en cursos de formación profesional continua usó con mayor frecuencia las TIC durante las clases de ciencia. Se utilizaron las directrices de Cohen para interpretar la importancia educativa de las diferencias estadísticamente significativas mediante el tamaño de efecto $d = .2$ (pequeño), $.5$ (moderado) y $.8$ (grande). Los análisis y las figuras se realizaron con el programa GraphPad Prism, versión 8.0.2. para Windows.

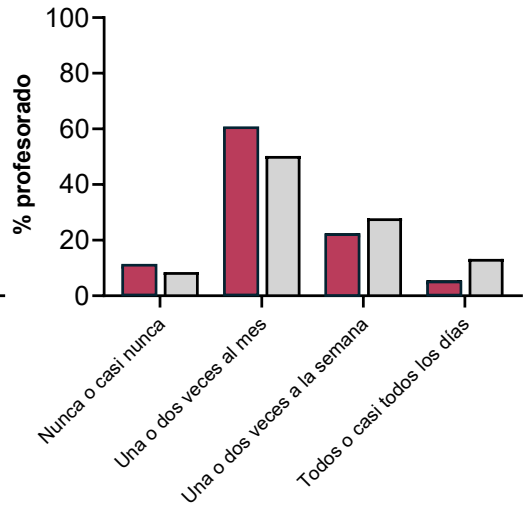
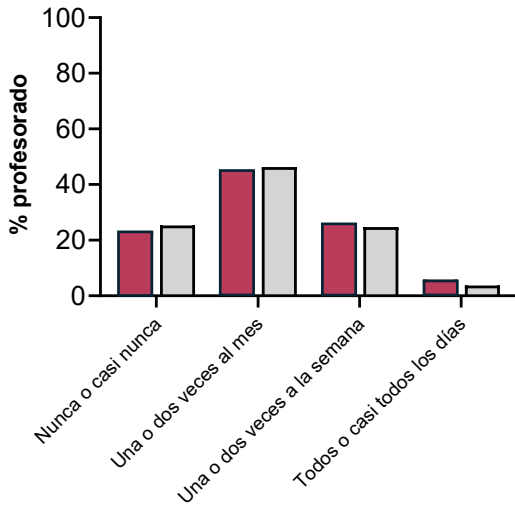
2.4. Resultados

2.4.1. Objetivo 1: Analizar el grado de uso de las TIC por parte del profesorado para la enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.

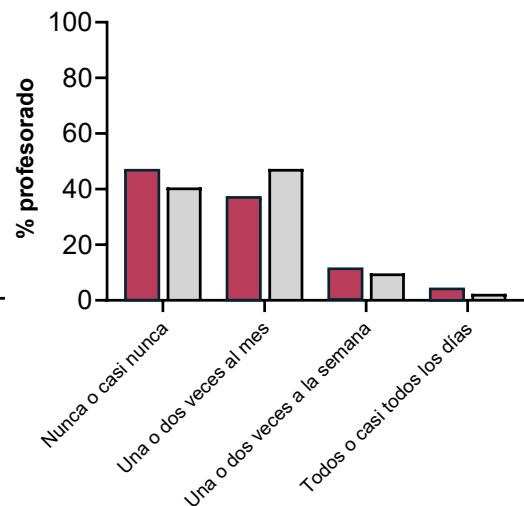
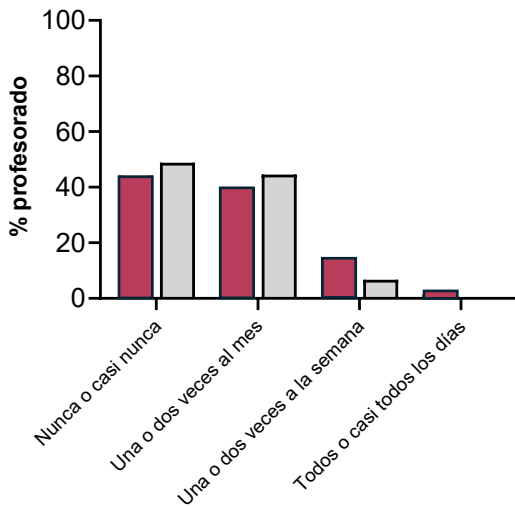
Existió poca disponibilidad de las TIC durante las clases de ciencias durante ambas leyes educativas. Solo el 37.5% (TIMSS 2011 – LOE) y el 32.4% (TIMSS 2015 – LOMCE) del profesorado respondió afirmativamente al ítem "¿Disponen los alumnos de esta clase de ordenadores (incluidas las tabletas) para utilizarlos durante sus clases de ciencias". Por otro lado, entre el profesorado que sí disponía de ordenadores o tabletas en sus aulas, fueron pocos los que los utilizaron para la enseñanza de las ciencias (**Figura 2.1, a-d**). Así, apenas la mitad las empleaba con

su alumnado una o dos veces al mes para “practicar habilidades y procedimientos” o para “buscar ideas e información”. Asimismo, casi la mitad ha declarado no haber utilizado nunca las TIC con su alumnado para “realizar procedimientos o experimentos científicos” o para “estudiar fenómenos naturales mediante simulaciones”.

a) Practicar habilidades y procedimientos b) Buscar ideas e información



c) Realizar procedimientos o experimentos científicos d) Estudiar fenómenos naturales mediante simulaciones



■ TIMSS 2011 (LOE) ■ TIMSS 2015 (LOMCE)

Figura 2.1. Actividades para las que se emplearon las TIC en las clases de ciencias

2.4.2. Objetivo 2: Evaluar la evolución del uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias entre la LOE y la LOMCE.

Una prueba t de Student para muestras independientes revela que no hubo un avance estadísticamente significativo en el uso de las TIC por parte del profesorado para la enseñanza de las ciencias entre la LOE y la LOMCE, $t(225) = .29$, $p = .77$ (Figura 2.2). Es decir, tanto durante la LOE como la LOMCE, el profesorado utilizó con poca frecuencia las TIC en las clases de ciencias, con una media de una o dos veces al mes.

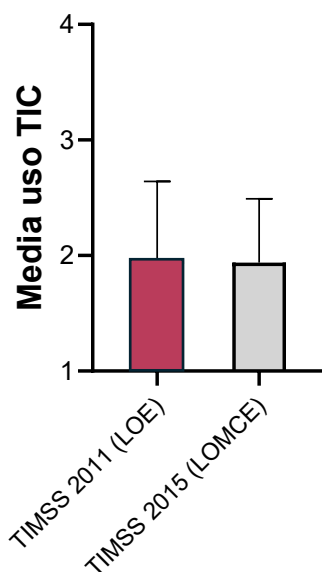


Figura 2.2. Uso de las TIC por parte del profesorado durante la LOE y la LOMCE.

2.4.3. Objetivo 3: Estimar la participación del profesorado en cursos de formación profesional continua para la integración de las TIC en enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.

En general, el profesorado ha asistido a poca formación profesional continua para la integración de las TIC en las clases de ciencias. Del profesorado que disponía de ordenadores o tabletas en sus clases, menos de la mitad (48% TIMSS 2011 – LOE; y 39.3% TIMSS 2015 – LOMCE) cursaron una formación profesional continua sobre su uso para enseñar ciencias. Los datos también reflejan un descenso en el número de profesorado de la LOMCE en comparación con la LOE que asistió a dicha formación.

2.4.4. Objetivo 4: Examinar el impacto de la formación profesional continua en el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias durante la LOE y la LOMCE.

Una prueba t de Student para muestras independientes indica que, para los datos de TIMSS 2011 (LOE) no hubo una diferencia estadísticamente significativa en la frecuencia de uso de las TIC entre el profesorado que asistió y el que no asistió a cursos de formación profesional continua en la integración de la TIC en las clases de ciencias, $t(63) = 1.24$, $p = .22$. No obstante, para los datos de TIMSS 2015 (LOMCE), sí se encontró una diferencia estadísticamente significativa a favor del profesorado que sí cursó dicha formación, $t(156) = 3.42$, $p < .01$, con un tamaño de efecto moderado, $d = .57$ (Figura 2.3).

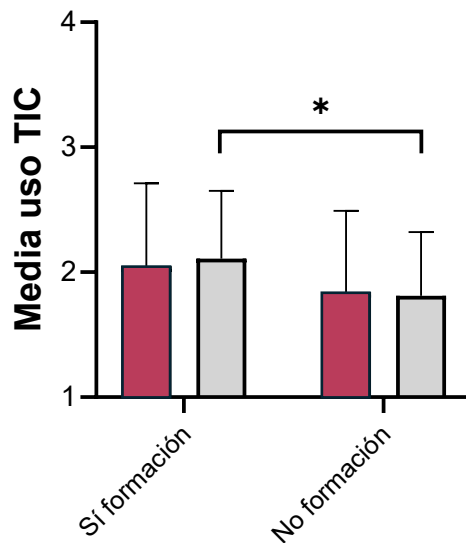


Figura 2.3. Frecuencia de uso de las TIC según formación profesional continua.

2.5. Discusión

La integración de las TIC está muy presente en las reformas curriculares que se están llevando a cabo para mejorar la educación científica. En los últimos años, la literatura científica se ha enfocado de manera especial en comprobar la utilidad de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (Lee y Tsai, 2013; Moreno-Martínez y Franco-Mariscal, 2023). En consecuencia, el uso de las TIC para una enseñanza de las ciencias mediante simulaciones o laboratorios virtuales, tienen el potencial de mejorar el aprendizaje, la motivación y las actitudes del alumnado hacia las ciencias (Reeves y Crippen, 2021; Rutten et al., 2012; Scalise et al., 2011; Smetana y Bell, 2012). Sin embargo, se ha prestado poca atención al

impacto que las reformas educativas tienen sobre las prácticas pedagógicas del profesorado, siendo este el principal objetivo del presente estudio.

Los resultados de esta investigación evidencian que, en general, apenas una tercera parte del profesorado encuestado tuvo acceso a herramientas TIC, como ordenadores y tabletas digitales, para las clases de ciencias. Por lo tanto, los datos de TIMSS 2011 y TIMSS 2015 indican que la disponibilidad y el uso de las TIC en las clases de ciencias fueron muy limitados durante las dos leyes educativas, LOE y LOMCE, analizadas. Además, sólo un reducido porcentaje del profesorado que sí tuvo acceso a las TIC las utilizó para enseñar ciencias. La actividad más utilizada fue "Buscar ideas e información", a razón de una o dos veces al mes; si bien fue empleada apenas por la mitad del profesorado con acceso a las TIC. Sin embargo, el uso de las TIC para actividades que han demostrado ser beneficiosas para el aprendizaje y la motivación del alumnado por las ciencias, tales como "Realizar procedimientos o experimentos científicos" o "Estudiar fenómenos naturales mediante simulaciones", ha sido prácticamente inexistente en la escuela primaria durante la vigencia de ambas leyes educativas. Por último, los resultados de este estudio revelan que han sido muy pocos los y las docentes que asistieron a cursos de desarrollo profesional continuo relacionado con las TIC, a pesar de que estos repercuten favorablemente en la frecuencia de uso de las TIC en las clases de ciencias. Específicamente, este estudio señala que el profesorado que ha participado en una formación profesional continua adoptó el uso de las TIC con mayor frecuencia, especialmente en el contexto de la LOMCE.

Por lo tanto, este estudio revela que la educación científica permaneció ajena a las reformas curriculares y que las prácticas pedagógicas del profesorado no respondieron, en términos generales, a la demanda de la integración de las TIC. Estos resultados son preocupantes y no ofrecen apoyo a la aseveración de que las reformas curriculares mejoran las prácticas del profesorado para la enseñanza de las ciencias. Por el contrario, proporcionan pruebas de un statu quo en la educación científica en España. A este respecto, investigaciones previas ya han señalado que las prácticas docentes en las clases de ciencias se caracterizan, en su mayoría, por el uso de métodos de enseñanza tradicionales centrados en prácticas magistocéntricas, como las clases expositivas, la lectura de libros de texto y la memorización (Cañal et al., 2013, 2016; Romero-Ariza et al., 2019).

Estos hallazgos no son un buen augurio para la integración de las TIC en la educación científica española. Ambas leyes educativas, la LOE (2006) y la LOMCE (2013) instaron a las administraciones y a los equipos directivos que promuevan el uso de las TIC en el aula como una herramienta didáctica adecuada e importante para el cumplimiento de los objetivos curriculares. En concreto, incluyeron la promoción de los recursos necesarios para garantizar el establecimiento de programas de refuerzo del aprendizaje de las TIC y medidas

de apoyo al profesorado. Además, ambas leyes educativas establecieron que las autoridades educativas deben promover la formación continua del profesorado en materia de digitalización (LOE 2006, LOMCE, 2013). Sin embargo, los resultados muestran una realidad distinta, en la que la mayoría del profesorado no contaba con ordenadores o tabletas digitales para la enseñanza de las ciencias. Por lo tanto, ambas reformas curriculares fracasaron en el fomento del uso de las TIC en las clases de ciencias. A pesar de las medidas políticas en materia de educación, y de la proliferación de investigaciones educativas relativas a la incorporación de las TIC para la enseñanza de las ciencias (Aljuhani et al., 2018; Moreno-Martínez y Franco-Mariscal, 2023; Reeves y Crippen, 2021; Toma, 2023), las prácticas pedagógicas del profesorado siguen sin incorporar estos recursos educativos. Como resultado, son mayoría los estudiantes españoles que no se benefician de las aportaciones de las TIC a la alfabetización científica.

Los resultados de esta investigación tienen importantes implicaciones. En primer lugar, estos hallazgos evidencian la necesidad de abordar las limitaciones en el acceso a las TIC en la escuela primaria en España. Por otro lado, también se requiere actualizar los programas de formación docente continua para garantizar una capacitación adecuada en el uso de las TIC y su integración significativa en el aula de ciencias. Asimismo, las reformas LOE y LOMCE no lograron modificar las prácticas pedagógicas en la enseñanza de ciencias; por lo tanto, parecería necesario que futuros esfuerzos y reformas curriculares estén más relacionadas con la realidad de las aulas, involucrando al profesorado en su diseño e implementación. Esto se debe a que la adopción de las TIC para la enseñanza de las ciencias supone varios retos para el profesorado, entre ellos: seguridad, coste, funcionamiento del recurso, dificultades técnicas, competencia tecnológica, conexión a internet y conductas inapropiadas de los estudiantes (Yazici y Nakiboğlu, 2023).

Asimismo, se derivan implicaciones para futuras investigaciones. Se requiere investigar en el diseño y evaluación de programas y medidas específicas para esta cuestión. Para que el alumnado participe activamente en el aprendizaje de las ciencias, el quehacer docente ha de cambiar hacia enfoques basados en las TIC. En este sentido, Lee et al., (2021) concluye que la promoción de actitudes positivas del profesorado hacia los recursos TIC, como el uso de simulaciones computacionales, requiere resolver los problemas logísticos a los que éstos se enfrentan, priorizar pedagogías activas, facilitar al profesorado su uso y adopción y, por último, atender sus necesidades de desarrollo profesional. Según Kolil y Achuthan (2022), la expectativa de rendimiento y el hábito influyen asimismo en la intención de usar las TIC, como los laboratorios virtuales móviles. Este esfuerzo, arduo pero imprescindible, es urgente para evitar que la nueva reforma educativa LOMLOE (2020), quede relegada y desatendida.

Estos resultados allanan el camino para futuras investigaciones en tanto que señala aquellos aspectos que han de mejorarse para la integración de las TIC en la enseñanza de las ciencias. No obstante, aunque este estudio pone de manifiesto la escasa adopción de las TIC, no proporciona una explicación de las causas subyacentes a esta problemática. Se trata de un aspecto que demanda el desarrollo de futuras investigaciones de corte cualitativo.

2.6. Conclusiones

Esta investigación señala que el uso de las TIC para la enseñanza de las ciencias en España ha sido muy escaso durante las dos últimas leyes educativas, la LOE y la LOMCE. Los datos de TIMSS 2011 y TIMSS 2015 revelan que el profesorado de España ha tenido poca disponibilidad de recursos tecnológicos en sus aulas y que, cuando los ha tenido, solo la mitad los ha utilizado con fines didácticos. Esta situación no ha mejorado entre ambas leyes educativas, lo que indica una falta de avance en la integración de las TIC en el currículo de ciencias español. Además, el profesorado ha mostrado una baja participación en cursos de formación continua para el uso de las TIC, lo que ha influido negativamente en su uso para la enseñanza de las ciencias, especialmente durante el período de la LOMCE. Se recomienda realizar más estudios que profundicen en las causas y consecuencias de esta situación y que propongan medidas para favorecer un uso más frecuente y mejor de las TIC en la enseñanza de las ciencias en España.

2.7. Referencias

Aljuhani, K., Sonbul, M., Alhabiti, 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>

Bhargava, P., Antonakakis, J., Cunningham, C., y Zehnder, A. T. (2006). Web-based virtual torsion laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1002/cae.20061>

Chaljub-Hasbún, J., Peguero García, J. R. and Mendoza Torres, E. J. (2022). Aceptación tecnológica del uso de la realidad aumentada por estudiantes del nivel secundario: una mirada a una clase de Química. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 23, 49-68. <https://doi.org/10.51302/tce.2022.864>

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., y Muñoz-Franco, G. (2016). Concepciones didácticas y práctica docente. En P. Cañal, G. Travé González, F. J. Pozuelos Estrada, A. M. Criado, y A. García-Carmona (Eds.), *La enseñanza sobre el medio natural y social. Investigaciones y experiencias 2* (pp. 177–205). Díada.

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., y Muñoz, G. (2013). La enseñanza relativa al medio en las aulas españolas de educación infantil y primaria: concepciones didácticas y práctica docente. *Revista Investigación En La Escuela*, 81, 21–42. <http://www.mec.es/multimedia/00005713.pdf>

Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2018). *Research methods in education (8th edition)*. Routledge.

Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., y Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effective as hands-on labs for undergraduate physics? A comparative study at two major universities. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 803–814. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9513-9>

Knapp, H. (2018). *Intermediate statistics using SPSS*. Sage Publications, Inc.

Kolil, V. K., Achuthan, K. (2023). Longitudinal study of teacher acceptance of mobile virtual labs. *Education and Information Technologies*, 28, 7763–7796 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11499-2>

Lee, S. W. Y., y Tsai, C. C. (2013). Technology-supported learning in secondary and undergraduate biological education: Observations from literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 226–233. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9388-6>

Lee, W.C., Neo, W.L., Chen, D.T., y Lin, T. B. (2021). Fostering changes in teacher attitudes toward the use of computer simulations: Flexibility, pedagogy, usability and needs. *Education and Information Technologies*, 26, 4905–4923. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10506-2>

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 [Organic Law 8/2013, of December 9, 2013, for the improvement of the quality of education]*.

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*.

López-Simó, V., Couso, D., Grimalt-Álvaro, C., Hernández Rodríguez, I., Pintó Casulleras, R., y Simarro Rodríguez, C. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *X Congreso Enseñanza de Las Ciencias*, 691–697.

Martin, M. O., y Mullis, I. V. S. (2012). *Methods and procedures in TIMSS and PIRLS 2011*. Recuperado de: <https://timssandpirls.bc.edu/methods/index.html>

Martin, M. O., Mullis, I. V. S., y Hooper, M. (2016). *Methods and procedures in TIMSS 2015*. Recuperado de: <https://timssandpirls.bc.edu/publications/timss/2015-methods.html>

Moreno-Martínez, N. M. y Franco-Mariscal, A. J. (2023). Posibilidades didácticas de la herramienta de realidad aumentada ZapWorks en la enseñanza de las ciencias. Una experiencia con estudiantes de un Máster en Profesorado. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 24, 91-118. <https://doi.org/10.51302/tce.2023.2808>

Reeves, S. M., y Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 16–30. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>

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>

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., y Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>

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>

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>

Toma, R. B. (2023). Measuring acceptance of block-based coding environments. *Technology, Knowledge and Learning*, 28, 241-251. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09562-x>

Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: Implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27(6), 705–735. <https://doi.org/10.1080/09500690500038520>

Yazici, S.Ç., y Nakıboğlu, C. (2023). Examining experienced chemistry teachers' perception and usage of virtual labs in chemistry classes: a qualitative study using the technology acceptance model 3. *Education and Information Technologies*, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11985-1>

3. Artículo #2: Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación

Iraya Yáñez-Pérez, Radu Bogdan Toma, Jesús Ángel Meneses-Villagrá

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.

3.1. 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 Cueva, 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).

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1. 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).

3.2.2. 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.

3.2.3. 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).

3.3. 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 5º y 6º curso de Educación Primaria y 1er y 2º 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.

3.4. Metodología

3.4.1. 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 3.1**).

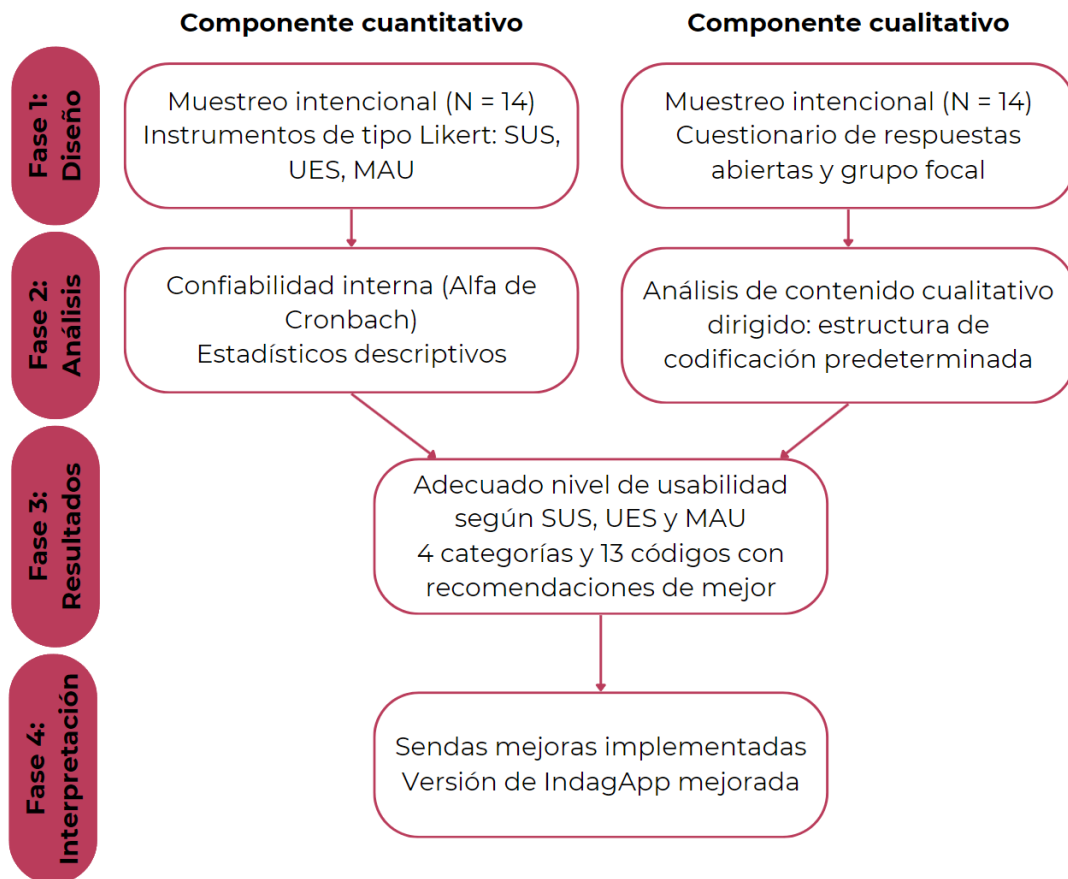


Figura 3.1. Diseño de la investigación de métodos mixtos convergente según Creswell y Plano-Clark (2018)

3.4.2. 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.

3.4.3. 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?).

3.4.4. 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.

3.5. Resultados

3.5.1. Componente 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 3.2a**). 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 3.2b**). 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.

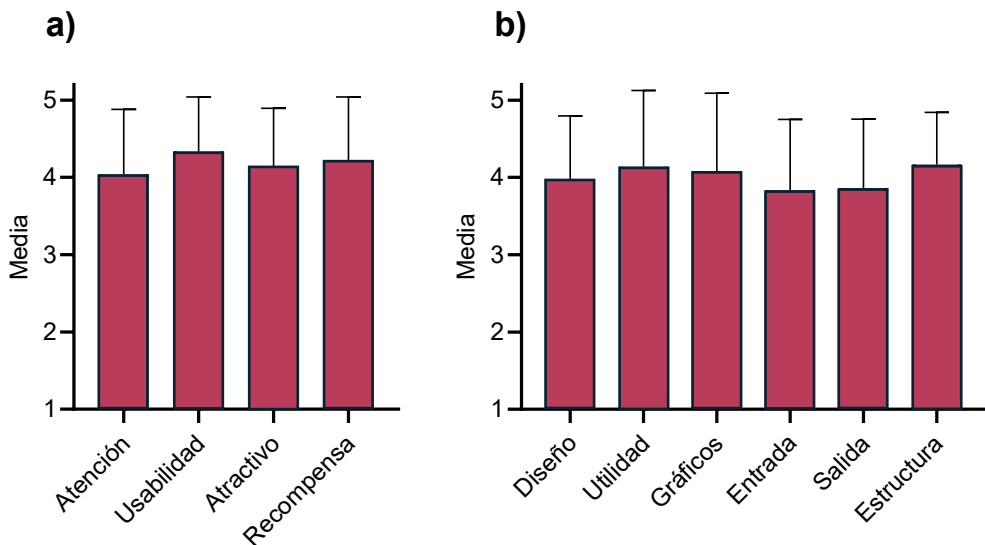


Figura 3.2. Resultados del a) User Engagement Scale y b) Mobile Application Usability

3.5.2. Componente cualitativo

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

3.5.2.1. 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".

3.5.2.2. 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".

3.5.2.3. 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.

3.5.2.4. 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.

3.5.3. Mejoras implementadas en la app

En la **Tabla 3.1** se muestran los códigos generados a partir del análisis cualitativo, junto con las mejoras implementadas en IndagApp en base a las opiniones y sugerencias de los expertos.

Tabla 3.1. Recomendaciones del panel de expertos y mejoras implementadas

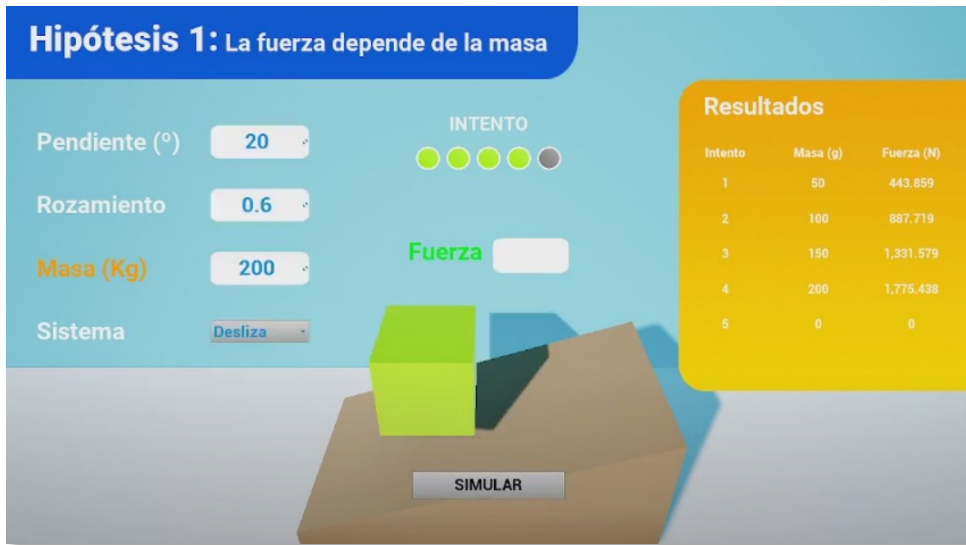
Críticas y recomendaciones de los expertos	Mejoras en la app IndagApp
Falta de retroalimentaciones e instrucciones	Videotutorial sobre el proceso indagatorio y un ejemplo guiado. Botón de ayuda que proporciona instrucciones explícitas para cada fase
Dificultades para identificar variables	Videotutorial 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 congelada
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)

Críticas y recomendaciones de los expertos	Mejoras en la app IndagApp
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

3.5.3.1. 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.

Asimismo, 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 3.3**).

a)



b)



Figura 3.3. La Interfaz de a) la versión piloto y b) la versión mejorada de IndagApp

3.5.3.2. 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.

3.5.3.3. Nuevas indagaciones alineadas con el currículo. Se han creado diez indagaciones científicas que cubren contenidos centrales del currículo de la LOMLOE (2022). 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/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.

3.6. 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, 2022), 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.

3.6.1. 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 recursos TIC por parte del profesorado se ha de ofrecer una diversificación y abordaje de contenidos relevantes adaptados y fundamentados en el currículo vigente y 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.

3.6.2. 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).

3.6.3. 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.

3.7. 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 Norman G. Lederman, D. L. Zeidler, y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 528–558). Routledge.
- 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., Alhabiti, 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 guianza. *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., y Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean; adding an adjective rating. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.

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>

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.

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.

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.

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/10.1080/09500693.2016.1220688>

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:vl: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 Educación*, *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. http://dx.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 Norman G. Lederman, D. L. Zeidler, y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 749–782). Routledge.

Silva-Díaz, F., Fernández-Ferrer, G., Vásquez-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 XXI*, 24(2), 351–374. <https://doi.org/10.5944/educXXI.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*, 47(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>

4. Artículo #3: The IndagApp mobile app – an inquiry-based science teaching resource: Usability evaluation with pre-service teachers

Iraya Yáñez-Pérez, Radu Bogdan Toma, Jesús Ángel Meneses-Villagrá

Abstract

Virtual laboratories and simulations have emerged as innovative solutions for science teaching. However, existing resources have various limitations and constraints including cognitive load/mental burden and limited coverage of all necessary steps in scientific inquiry, focusing mainly on the experimental simulation. To bridge this gap and address these challenges, the present study introduces the design and usability evaluation of IndagApp, an innovative educational resource explicitly developed to support inquiry-based science teaching. A convergent mixed methods design and a convenience sampling of 90 pre-service teachers were used. The findings indicate that IndagApp exhibits a high level of technological and pedagogical usability. Feedback from the users was incorporated to improve the app, resulting in its final version, which incorporates best practices from existing literature on authentic inquiry-based science teaching. IndagApp is freely accessible in the Spanish language, and compatible with Android 5.0+ smartphones and tablets, as well as PCs running Windows 7 or above operating systems. This research provides a timely and significant educational resource that may assist educators in enacting reform-oriented teaching practices.

Keywords: virtual laboratories, inquiry-based science teaching, usability evaluation, educational technology, computer-assisted instruction, reform-oriented teaching practices.

4.1. Introduction

Inquiry-based science teaching actively engages students in scientific learning through questioning, exploration, and hands-on investigations (Crawford, 2014; Schwartz et al., 2023). Inquiry is therefore defined as a pedagogical approach that fosters students' active engagement in scientific practices and reasoning (de Jong et al., 2023). It has been widely advocated by recent curricular reforms in different countries, such as the USA (NGSS Lead States, 2013), Chile (MINEDUC, 2012), and many others (Schwartz et al., 2023; Strat et al., 2023). Spain has also adopted this approach in its new educational reform LOMLOE (2020), which emphasizes inquiry as a key element for science education. However, implementing effective inquiry teaching poses challenges for educators (Baroudi & Helder, 2019; Toma, 2022a). One challenge is the need for professional development to adapt instructional practices and design meaningful lessons (Correia & Harrison, 2019; Romero-Ariza et al., 2019). Incorporating inquiry teaching with laboratory materials has merits but also limitations (Chichekian et al., 2016). Limited availability and accessibility of resources hinder effective implementation, while setup and management of experiments are time-demanding (Fang, 2020). Additionally, online teaching and emergencies like the COVID-19 pandemic limit access to laboratory facilities and hands-on experiences (Carrillo & Flores, 2020; Raman et al., 2022). Alternative approaches to inquiry teaching are needed to ensure high-quality, reform-oriented learning experiences in science education (Adedoyin & Soykan, 2020).

4.1.1. Virtual laboratories and simulations

Against this background, virtual laboratories –online platforms that replicate physical laboratories to conduct experiments– and simulations –computer-generated models that mimic scientific phenomena– have emerged as transformative solutions for science teaching, addressing the challenges faced in traditional laboratory settings. Raman et al. (2022) conducted a historical review and bibliometric analyses, highlighting the growing interest in virtual laboratories, particularly since the COVID-19 pandemic. Platforms like PhET Colorado (Wieman et al., 2008) and ChemCollective (Yaron et al., 2010) have become pioneers in this domain, offering a wide range of virtual simulations. Online laboratories and simulations overcome limitations such as physical equipment constraints, time, and location, allowing students to explore scientific concepts at their convenience (Correia et al., 2019; Radhamani et al., 2021). Multiple studies, as reported in the literature reviews of Scalise et al. (2011) and Smetana and Bell (2012), have reported on the effectiveness of virtual laboratories and simulations in improving student learning. Hence, the use of Information-

Communication-Technology (ICT) in science teaching is also being promoted within the Spanish new curricular reform (LOMLOE, 2020).

Virtual simulations have greatly contributed to improving science education worldwide. However, their implementation in inquiry-based settings lacks the incorporation of recommended steps or phases involving a scientific inquiry (Aditomo & Klieme, 2020; Pedaste et al., 2015). While virtual simulations offer some aspects of the inquiry-based science teaching methodology, they often fall short of capturing the complete inquiry cycle. It should be noted that the inquiry cycle is a framework that describes the phases that could be used for the didactic transposition of an inquiry-based unit (Pedaste et al., 2015).

Indeed, online labs tend to focus on isolated experiments or simulations (Scalise et al., 2011), lacking the contextualization necessary for a comprehensive understanding of scientific inquiry. For example, important steps such as formulating research questions, generating hypotheses, or identifying the variables of the study (Aguilera et al., 2018; Zhang, 2018) are missing. PhET and similar resources are designed for educational settings where teachers guide simulation use (Correia et al., 2019; Roll et al., 2018); therefore, it may resemble decontextualized experiments rather than conveying the full process of scientific inquiry.

To address these limitations, educators can use the Go-Lab ecosystem (de Jong et al., 2021), which integrates existing simulations into an inquiry cycle and provides tools to support scientific practices, such as asking research questions or hypothesis generation. Nevertheless, this approach can be time-consuming for teachers, who must either build the entire process or adapt existing units. Indeed, when a single teacher created or adapted units using the Go-Lab platform, they spent over four hours on average; when a group of teachers designed the units together, the average time spent increased to more than seven hours (de Jong et al., 2021).

4.1.2. The present study

In short, virtual laboratories and simulations have enriched science teaching, but they also bring unique challenges (Ali et al., 2022). One major challenge is their limited coverage of all necessary steps in scientific inquiry, focusing mainly on experimental simulation. Therefore, there is a need to design and develop virtual resources for inquiry-based science teaching that adhere to established standards and best practices from the literature while being convenient and time-efficient for classroom implementation.

The Spanish context presents a particular challenge for the implementation of inquiry teaching, as teachers tend to rely heavily on the textbook as the main

resource and show resistance and misconceptions regarding the adoption of inquiry practices (Cañal et al., 2016; García-Carmona et al., 2018).

To address this gap in the literature, this study introduces IndagApp, an educational resource designed to support inquiry teaching. Next, it focuses on the usability of IndagApp as perceived by elementary school pre-service teachers. By doing so, this study aims to contribute to the ongoing efforts to create efficient resources for inquiry-based science teaching. This endeavor is an innovative contribution to the field of inquiry-based science teaching, as it presents ICT resources that encompass all the phases of the inquiry cycle (Pedaste et al., 2015). To the best of the authors' knowledge, no other ICT resource has achieved this level of comprehensiveness and alignment with the inquiry approach.

4.2. Description of IndagApp

4.2.1. Design process

The IndagApp resource was developed using a user-centered design (Lowdermilk, 2013). This design methodology involves end users in the development process. By doing so, it aims to create applications that meet user needs and ensure usability and user adequate user experience. During the first phase, conceptualization, the team advanced an idea for the app based on findings from a prior investigation that identified teacher use and difficulties in adopting ICT for science teaching (Yáñez-Pérez et al., 2024a). The second phase, definition, identified the target users and the functional use of the resource. This step determined the scope of the project for pre-service and in-service teachers and students aged 10-14 years old.

During the third phase, named design, the team created and improved sketches for the app with end-user input. Material and content (i.e., the inquiry units) were next developed and aligned with the new curricula in Spain (LOMLOE, 2020). During the fourth phase, development, the team coded the app and implemented all its functions. The goals and initial ideas were, therefore, materialized in a prototype of the app. The fifth and final phase, testing, addresses the usability of IndagApp. A previous study (Yáñez-Pérez et al., 2024b) tested the usability of the app with university professors with extensive experience in ICT use for science education and in-service teachers. Their feedback improved the app, resulting in the second version of IndagApp, which is the one being tested in this study.

4.2.2. Technical characteristics

IndagApp is a 3D educational resource designed for students aged 10-14 and science teachers. It was created using Unreal Engine 4 and Blender software for

programming and developing 3D models, while Adobe Photoshop and Adobe Premiere software were used for creating textures and materials. IndagApp is compatible with Android 5.0+ smartphones and tablets, as well as PCs with Windows 7 or above operating system. Users can log in to save their progress. The app also allows researchers to track the errors made by the users during each inquiry phase. The Android version is free on the Google Play Store: [anonymized link]. The PC version is also available for free by contacting the corresponding author or accessing the project website [anonymized link]. Currently, the app is only available in Spanish. However, the authors are in the process of translating it into English and Portuguese.

4.2.3. Content and teaching units

The app includes ten inquiry units covering various phenomena aligned with the most recent Spanish curriculum (Real Decreto 157/2022 [Royal Decree 157/2022]). These didactic units targeted the curricular contents that could be addressed and learned by conducting an experimental investigation involving variable manipulation. However, following the scientific inquiry literature (Pedaste et al., 2015; Toma, 2022b), this teaching methodology does not suit all curricular contents. Therefore, it is crucial to avoid conveying to students the erroneous idea that science only relies on the experimental method, i.e., “the” scientific method (Emden, 2021).

Therefore, the IndagApp units cover topics such as plant growth, crystal formation, forces, floods, bacterial growth, photosynthesis, buoyancy, valley formation, light refraction, and balloon flight. It is important to note that this content is relevant not only to the Spanish curriculum but also to primary and secondary education worldwide. The app includes realistic simulations, accurate data recording, and interactive controls. Students can manipulate variables, observe outcomes, and draw conclusions just as they would in a traditional lab setting. Hence, all inquiry units follow a common structure rooted in research-based principles (de Jong et al., 2023; Osborne, 2014; Pedaste et al., 2015). Specifically, the Pedaste et al. (2015) inquiry cycle was used, with simpler terms for teachers and students.

In short, each inquiry unit consists of five phases. The first phase (Statement of the problem) starts with a real-world learning situation. The purpose of this phase is to motivate students and introduce the inquiry's subject matter in a way that is relevant to their daily lives and experiences (Figure 4.1). During the second phase (Research question and hypothesis), students are encouraged to ask specific and relevant questions about the natural phenomenon. The goal is for them to learn how to formulate clear and precise questions that can be answered through an experimental design. In the hypothesis formulation step, students are

presented with tentative answers to the research question, resulting in four different hypotheses for each inquiry. They discuss and choose whether each hypothesis will be confirmed or rejected.

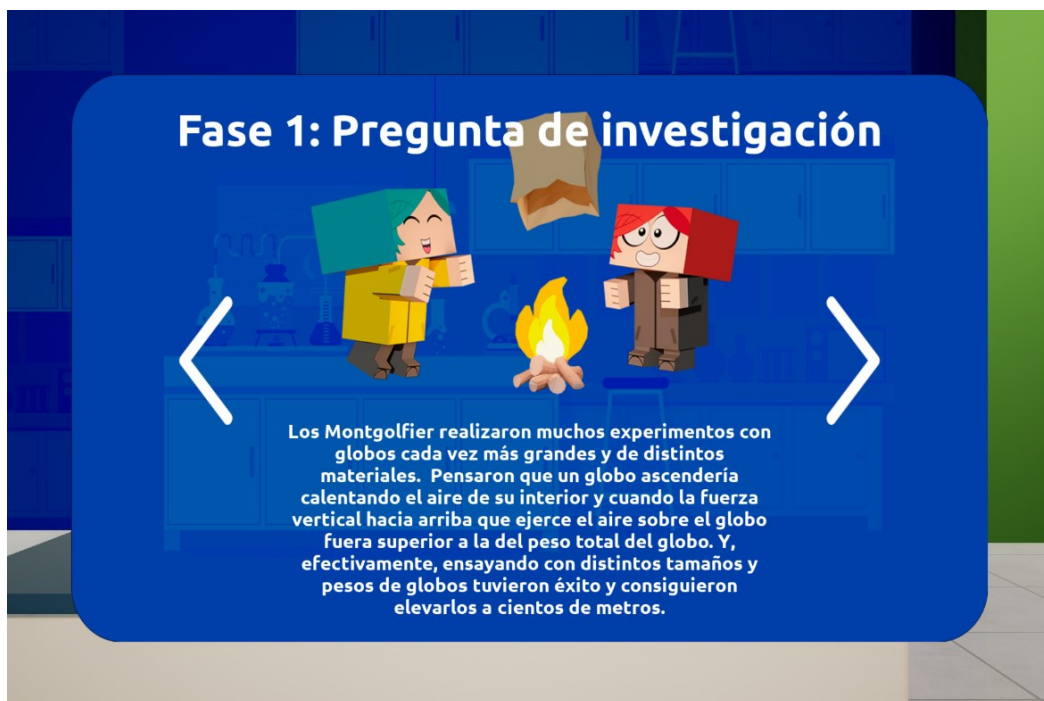


Figure 4.1. Example of a real-world situation to introduce an inquiry unit

Next, in the third phase (Experimental design), students identify the dependent, independent, and control variables for the experimental design. These variables will be utilized to test the proposed hypotheses. In the fourth phase (Findings and interpretation), students use virtual simulations specifically designed for IndagApp to test each hypothesis. They record five sets of data by manipulating and controlling the experimental variables (Figure 4.2). The collected data are then organized in a results table for visual interpretation. A figure is then generated, and students analyze the data to identify patterns, relationships, and explanations relevant to their research question. Additionally, they answer four dichotomous questions (yes/no) regarding the experimentation and the collected data to assess whether they are correctly interpreting the results. In the final phase (Conclusion and reflection), students' understanding is assessed through reinforcement and application questions. These questions evaluate their comprehension of the subject matter and their ability to apply the acquired knowledge to real-life situations. Essentially, this phase examines whether users can use the concepts investigated in the inquiry unit within different real-life problem contexts.



Figure 4.2. Example of experimental simulation for the balloon flight inquiry

4.2.4. Scaffolding strategies

Following the literature on scientific inquiry (de Jong et al., 2023; Zacharia et al., 2015), the IndagApp educational resource incorporates scaffolding to assist users. These sections, provided through a main character in the story, guide students throughout each scientific inquiry. They offer explanations and clarifications in the form of text or video (Figure 4.3). For instance, a video is included in the main menu, providing a simple explanation of the inquiry cycle using student-friendly language. Another video is presented in the third phase, explaining the meaning of dependent, independent, and control variables with an accessible example. Additional instructions are provided in text format, such as guidance on formulating hypotheses and controlling variables. The integration of text in virtual simulations has proven beneficial for inquiry-based learning and knowledge acquisition (van der Graaf et al., 2020). It is essential to recognize that while the app aims to assist students, it is not intended for standalone use without teacher support. Instead, it is a classroom resource meant to be used under the teacher's guidance and following best practices for inquiry-based teaching (Aditomo & Klieme, 2020; de Jong et al., 2023; Pedaste et al., 2015; Toma, 2022b).

a) video tutorial introducing the experimental design and defining the dependent, independent, and control variables



b) written tips on how to conduct the simulation



Figure 4.3. Example of scaffolding resources

4.2.5. Cognitive load

Including unrelated concepts or a large amount of information in virtual simulations can present cognitive load or mental burden challenges for students (Ali et al., 2022). These extraneous elements can overload students' cognitive capacity and distract them from the core scientific concepts. For example, too much information and flashy or unnecessary animations may distract students' attention away from the intended learning outcomes. These distractions, also known as seductive details, provide irrelevant information that hinders instructional objectives and negatively impacts learning (Sundararajan & Adesope, 2020).

According to a literature review on interactive laboratories for science education, existing resources “have various limitations and constraints including cognitive load/mental burden” (Ali et al., 2022, p. 28). To address this, IndagApp simulations were carefully designed to balance engaging features, such as avatars or attractive graphics adapted to students aged 10-14 years old, with curriculum alignment to optimize learning experiences (Sundararajan & Adesope, 2020). Additionally, the provided scaffolding aims to assist students in navigating and focusing on the essential scientific concepts within the simulations.

4.3. Methodology

4.3.1. Study design

This study used a convergent mixed methods design, as shown in [Figure 4.4](#) (Creswell & Plano Clark, 2018). Quantitative and qualitative data were collected separately and analyzed. Findings were integrated to identify areas for improvement and guide future development efforts. The design aimed to comprehensively understand the usability of IndagApp. Quantitative data provided a general understanding using a gold-standard instrument against established cut-off values for usability, while qualitative data offered a more detailed explanation of the findings.

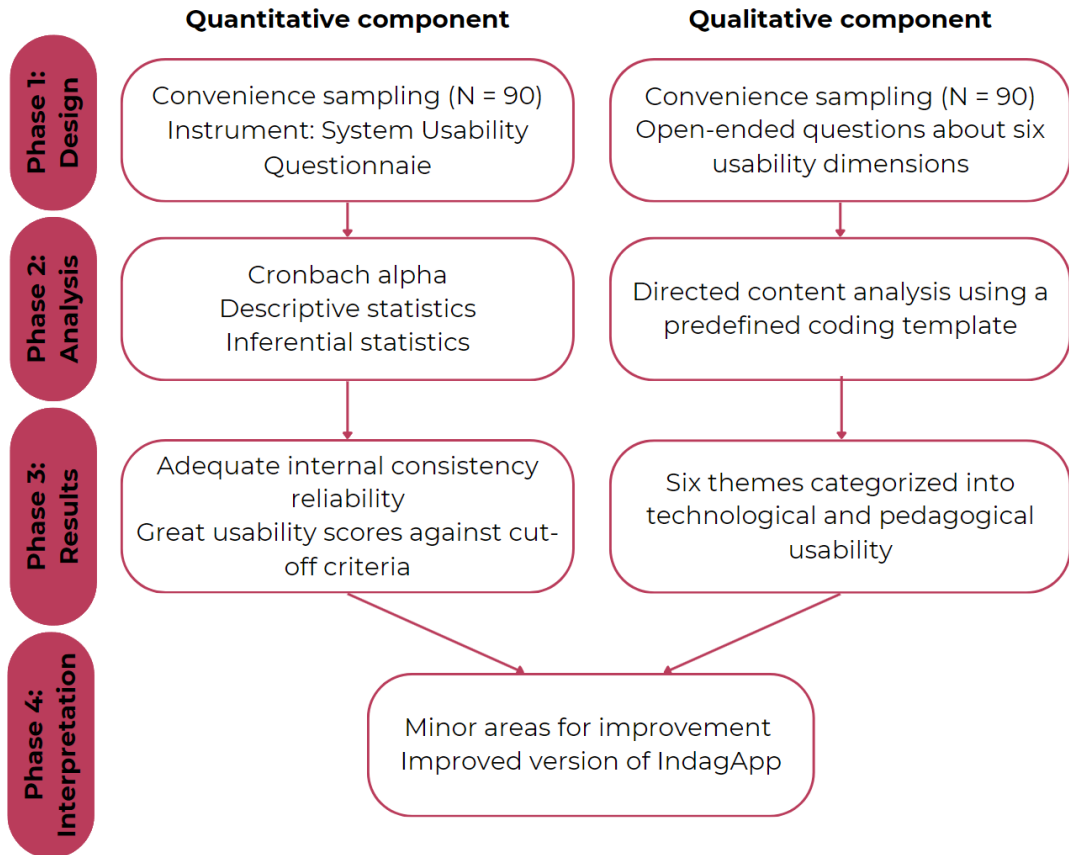


Figure 4.4. Diagram for convergent mixed-method design used in this study

4.3.2. Participants and procedure

There are no established heuristics for usability testing. Testing with 3 to 5 participants is usually sufficient to identify major issues while testing with 10 participants can detect over 80% of usability problems (Lewis, 2014; Sauro & Lewis, 2016).

This study recruited 90 undergraduate pre-service teachers from the Spanish University of [anonymized] using convenience sampling (Cohen et al., 2018). Among them, 56.7% identified as female. The average age of the participants was 23.52 years (SD = 2.30). They were enrolled in a 4-year University degree for primary education teachers. The degree includes three mandatory science-related subjects that focus on science content and pedagogical content knowledge, particularly in physics, chemistry, biology, and geology. It also emphasized inquiry-based teaching methodology. The students were in their final course and already familiar with implementing inquiry methodology using lab resources and simulations, such as PhET Colorado.

Pre-service teachers assessed the usability of the IndagApp by individually testing two inquiry units on a desktop PC. The testing took place in a controlled environment during two-hour sessions, with no assistance provided. After completing the units, the students responded to usability questionnaires anonymously and confidentially.

4.3.3. Data collection source

For the quantitative strand of the research, the System Usability Scale (SUS, Brooke, 1996) was used, considered the gold standard for measuring subjective usability (Lewis, 2018). The questionnaire consists of 10 items and utilizes a Likert-type response format from (1) strongly disagree to (5) strongly agree. The Spanish version of the questionnaire was used (Del Rocio Sevilla-Gonzalez et al., 2020). The Cronbach's alpha coefficient ($\alpha = .88$) revealed a high level of internal consistency reliability, consistent with previous research (Lewis, 2018; Vlachogianni & Tselios, 2022).

For the qualitative strand of the investigation, an open-ended questionnaire was used. Questions addressed both technological and pedagogical types of usability, as recommended in extant literature (Lu et al., 2022). Technological usability addressed how easy the app is to use and its visual appeal, while Pedagogical usability explored whether participants perceived IndagApp to be valuable for learning or professional development as prospective elementary school teachers. The questions related to technological usability were:

- (1) What challenges and difficulties have you faced while using IndagApp?
- (2) What improvements would facilitate or assist you in using IndagApp correctly?
- (3) What factors hindered your ability to use the app effectively?

The questions addressing pedagogical usability were: (1) What benefits do you think using IndagApp could have for your professional development? (2) Regarding your science learning and training as a prospective elementary school teacher, what drawbacks do you perceive in IndagApp?

4.3.4. Data analysis

For the quantitative data, the SUS scoring method was used, which involves subtracting 1 from odd-numbered items and subtracting the participant's score from 5 for even-numbered items. The resulting scores are summed and multiplied by 2.5 to obtain a scale ranging from 0 to 100. Scores equal to or greater than 68 indicate adequate usability (Brooke, 2013). One multivariate outlier and seven univariate outliers were detected. These outliers exhibited values that were notably lower (e.g., $M = 5$) and were subsequently removed (Tabachnick & Fidell,

2007). The data satisfied the assumption of normality distribution, as evidenced by the Kolmogorov-Smirnov test ($D(82) = .08, p = .20$). Similarly, the assumption of homogeneity of variance was met, as indicated by Levene's test ($F(1, 80) = 2.25, p = .14$). Therefore, a one-sample t -test compared whether the mean of the sample was equal to the minimum cut-off of 68, while a two-sample t -test compared scores between male and female students.

To provide a comprehensive interpretation of the quantitative findings about the usability of IndagApp, two additional scoring methods were used: Bangor et al.'s (2009) adjective scale, which classifies usability into seven categories ranging from worst imaginable to best imaginable, and Sauro and Lewis' (2016) grading scale, which categorizes usability into 11 categories from F to A+.

The qualitative data underwent directed content analysis (Cohen et al., 2018) using a predefined coding template based on themes derived from a comprehensive review of usability research in educational technology (Lu et al., 2022). By employing predefined themes, the analysis prioritized dimensions extensively discussed in the existing literature. In line with the open-ended questionnaire, the analysis focused on two dimensions:

- (1) Technological usability, which includes perceived ease of use, aesthetics, and system efficacy, and
- (2) Pedagogical usability, which addressed the satisfaction experienced while using the app, its pedagogical potential, and whether it includes support or guidance.

Notably, all the data aligned with established codes, and no instances requiring the creation of new categories were found.

4.4. Results

4.4.1. Quantitative strand

The SUS yielded an average score of 82.13 (range: 53-100), surpassing the minimum threshold for usability significantly, $t(81) = 12.04, p < .01$, with a large effect size ($d = 1.33$). Analyzing individual items (Table 4.1), the lowest score was for "I think that I would need the support of a technical person to be able to use the app" while the highest score was for "I would imagine that most people would learn to use the app very quickly". There were no differences in SUS scores between males ($M = 83.03, SD = 8.63$) and females ($M = 81.53, SD = 11.83$), $t(80) = .66, p = .51$.

Table 4.1. Descriptive statistics for the System Usability Scale

Items	M	M (SD)	Range
1. I think I would like to use the app frequently	4.00	.79	2 to 5
2. I found the app to be unnecessarily complex	1.71	.76	1 to 5
3. I thought the app was easy to use	4.51	.63	3 to 5
4. I think that I would need support of a technical person to be able to use the app	1.34	.57	3 to 5
5. I found the various functions in the app were well integrated	4.55	.57	3 to 5
6. I thought there was too much inconsistency in the app	1.66	.79	1 to 5
7. I would imagine that most people would learn to use the app very quickly	4.59	.59	3 to 5
8. I found the app very cumbersome to use	1.95	1.00	1 to 5
9. I felt very confident using the app	4.04	.79	1 to 5
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with the app	2.17	.97	1 to 5

When examining the scores using the adjective scale of Bangor et al. (2009), high usability results are also observed (Table 4.2). None of the participants rated usability as the worst imaginable, awful, or poor. On the contrary, 36.6% of the participants rated it as excellent or the best imaginable.

Table 4.2. Usability results for Bangor et al. (2009) adjective scale

Adjective	SUS cutoff	SUS M	SUS range	n	%
Worst imaginable	12.5	-	-	0	0
Awful	20.3	-	-	0	0
Poor	35.7	-	-	0	0
Fair	50.9	63,00	52.5 to 70	10	12.2
Good	71.4	79.11	75 to 85	42	51.2
Excellent	85.5	88.8	87.5 to 90	15	18.3
Best imaginable	90.9	96.7	92.5 to 100	15	18.3

Note: SUS cutoff suggested by Bangor et al. (2009)

Finally, when using the Sauro-Lewis (2016) scoring method for interpreting SUS mean scores, the usability results are likely satisfactory (Table 4.3). Specifically, 62.2% of the participants rated the application with the three highest ratings, while only 6.1% of the participants gave it a low rating. Taken together, the findings suggest that the usability of IndagApp is excellent and consistent across users' genders and ages.

Table 4.3. Usability results for the Sauro-Lewis (2016) grading scale

Grade	SUS cutoff	n	%
A+	84.1 to 100	39	47.6
A	80.8 to 84.0	6	7.3
A-	78.9 to 80.7	6	7.3
B+	77.2 to 78.8	8	9.8
B	74.1 to 77.1	8	9.8
B-	72.6 to 74.0	0	0
C+	71.1 to 72.5	5	6.1
C	65.0 to 71.0	5	6.1
C-	62.7 to 64.9	0	0
D	51.7 to 62.6	5	6.1
F	0.0 to 51.6	0	0

Note: SUS cutoff suggested by Sauro-Lewis (2016)

4.4.2. Qualitative strand

Findings from the open-ended questionnaires are organized below based on the six themes from the literature (Lu et al., 2022).

4.4.2.1. Theme #1: Perceived ease of use. The comments made by participants indicate that IndagApp is easy to use ($n = 34$, 37.8%). Users have praised its simplicity, describing it as intuitive and straightforward. Its dynamic and user-friendly design allows users to navigate without complications and comprehend all functions. Student answers such as “It is simple and clear”, “I can use it without much explanation from the teacher” and “I found it quite easy” reinforce these notions. These comments highlight the positive user experience and suggest that IndagApp delivers an accessible learning experience.

Some students, however, faced difficulties understanding certain questions and graphs from the interpretation or conclusion phase ($n = 14$, 15.6%). These questions were often worded negatively, making it hard to answer them correctly. Some questions were also complex and ambiguous, leading to interpretation difficulties. They argued that: “In some questions, even if you know the answer, you can make a mistake because they are worded negatively”, “Negative wording in some questions that assess learning or your knowledge can be misleading”, “Some questions are very ambiguous” or “Some questions are difficult to answer with a simple Yes or No because I didn't understand them well”. Students also found it challenging to remember all the information from the results phase of the inquiry ($n = 9$, 10%): “I had difficulty recalling all the

information. Without writing it down, it's challenging to remember everything and answer the interpretation questions. The same applies to graphs”.

4.4.2.2. Theme #2: Aesthetics. Participants appreciated IndagApp's visual learning experience ($n = 49, 54.4\%$). They also highlighted that the app enables them to easily observe experiments and better understand science concepts ($n = 57, 63.33\%$), providing visual support and attractiveness that makes it more engaging than some real-world investigations ($n = 35, 38.9\%$). Some comments include: “It is visually appealing”, “It is a highly visual tool; it allows you to easily see the experiments” or “It provides visual support and attractiveness where you can see the results and simulations of different experiments, which would be much less appealing in real life”. However, one student has mentioned that some simulations, like the one showing the formation of crystals, may not appear very realistic, which could affect the perception of authenticity.

4.4.2.3. Theme #3: System efficacy. Users had positive feedback regarding the integration of user interface features and the system's efficacy. The functionality and appropriateness of the different “buttons” were emphasized (e.g., font, color, and place within the user interface, $n = 16, 17.8\%$). In terms of bugs, responses revealed that there were no major issues such as crashes or frozen screens. However, minor obstacles were identified. Negative comments included issues with internet connectivity and progress not being saved ($n = 11, 12.2\%$). For example, one student experienced difficulty logging in: “I had trouble registering, but it was due to the poor internet connection”. Others signaled the loss of progress: “I was disconnected from the internet, and when I logged back in, the progress was not saved” or “The only difficulties I faced were related to the connection”.

4.4.2.4. Theme #4: Satisfaction. Participants stated that the app is dynamic, playful, and visually engaging ($n = 41, 45.56\%$). They also mentioned that it differs from other virtual labs, for the good ($n = 5, 5.6\%$). Users appreciate making learning more enjoyable and interactive and stated that IndagApp is an effective way to engage with the inquiry teaching methodology ($n = 14, 15.6\%$). They also noted potential benefits for elementary school students ($n = 19, 21.1\%$), such as: “The use of gamification resources and simulations will allow elementary students to learn science in a fun and entertaining manner” and “The app provides an alternative to traditional pen-and-paper methods”. Overall, feedback underscored that IndagApp delivers a motivating and interactive approach to science education. Users emphasized that incorporating IndagApp into lesson plans may enhance engagement and facilitate an enjoyable learning experience.

However, feedback also indicated the presence of negative emotions among participants. Some users experienced stress and frustration when they encountered challenges and were unsure of how to proceed with certain phases

of the inquiry unit ($n = 9$, 10%). Few participants stated that not knowing the answer may lead to demotivation since the app does not allow them to continue when making a mistake ($n = 11$, 12.2%). Additionally, some students reported feeling mentally drained when faced with difficulties in interpreting findings from graphs ($n = 3$, 3.3%). Comments from users included: "Not knowing what you did wrong can be stressful", "It is frustrating when you are not allowed to progress until you know the correct answer", "I felt a great mental burden when I was stuck in a phase until I found the answer" or "It can be demotivating at times, especially when it doesn't allow you to continue if you make a mistake, because it doesn't tell you what mistake you have made, so you have to keep guessing".

4.4.2.5. Theme #5: Pedagogical potential for professional development.

IndagApp was reported to also have major educational potential for professional development in science education. Users responded that the app makes abstract science concepts more accessible, improving their subject content comprehension. Most comments indicated that the main educational benefits of the app are related to facilitating the understanding of the inquiry-based teaching approach ($n = 36$, 40%). For example, the comments highlight that: "It is great to learn the phases of an inquiry and how to conduct an inquiry investigation with students", "It will help me to learn the different types of variables in an experiment", "It is an ideal resource to learn how to design and inquiry unit and how to implement it" or "I consider it a good resource to understand and teach students to formulate research questions and hypothesis and to identify the dependent, independent, and control variables of an experiment".

On the other hand, pre-service teachers also expressed interest in using IndagApp in upper elementary grades. They found it valuable for promoting scientific competence through Information Communication Technology and aligning with students' interests ($n = 15$, 16.67%). However, they noted some pedagogical limitations. Pre-service teachers mentioned that prior knowledge of scientific concepts and especially, scientific inquiry, is necessary for using the app effectively ($n = 19$, 21.11%). Participants recommended using IndagApp as a supplementary resource, not a substitute for theoretical explanations ($n = 9$, 10%). Comments included: "It is an app with many benefits as long as it is complementary and not a substitute for theoretical-lecture-based classes", "The concepts are not explained in the app. I would need more information about the theory or explanation of the concepts to understand the inquiry better", "I consider the app an interesting way to reinforce science content, but not enough to actually learn those concepts", or "A previous explanation about the contents or the concepts included in the inquiry is highly necessary".

4.4.2.6. Theme #6: Support and guidance. IndagApp was commended for its effective use of scaffolding. Users stated that the app provided instructions and clear explanations, helping them understand what they needed to do and how to proceed during the inquiry cycle ($n = 27, 30\%$). Participants appreciated the guidance offered in each phase, which prevented them from overlooking essential steps or aspects of the inquiry investigation. The tutorials within the app were also mentioned to be useful ($n = 7, 7.78\%$). Some of the comments included: "It was a guided and self-explanatory tool", "It guided me in what I had to do to complete the inquiry", "The video explained the inquiry procedure step by step in an easy-to-understand language", and "Even without the teacher's help, the app guided me through the fundamental steps or parts of the inquiry". Overall, comments from users emphasized that the text and video-based scaffolding and instructions included in the app simplified the learning process.

4.5. Discussion

Educators struggle to adopt inquiry-based approaches and create engaging, hands-on learning experiences that effectively promote scientific inquiry. Existing virtual lab simulations may facilitate the enactment of hands-on activities (Correia et al., 2019; Radhamani et al., 2021). However, existing resources often do not align with research-based inquiry procedures (Pedaste et al., 2015; Scalise et al., 2011) or generate cognitive load to users (Ali et al., 2022), limiting their potential to help teachers enact reform-oriented teaching practices.

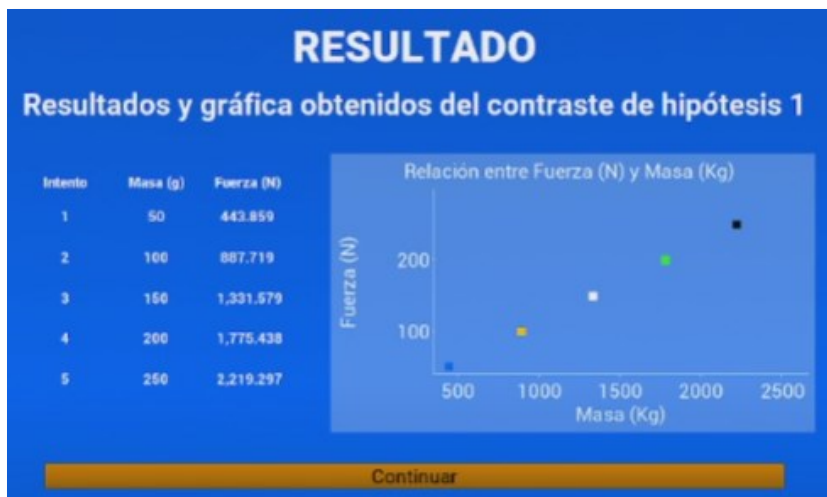
Against this background, this study introduced IndagApp, an app designed to support inquiry-based science teaching. Unlike existing virtual laboratories that simulate only the data collection phase of research, such as PhET Colorado (Wieman et al., 2008) and ChemCollective (Yaron et al., 2010), IndagApp covers all the phases of scientific inquiry suggested by the literature. IndagApp offers ten inquiry-based teaching units, where students are scaffolded to complete the inquiry cycle of Pedaste et al., (2015), from research questions to knowledge application, through hypothesis generation, experimental design, and data simulation, collection, and interpretation. Usability testing of the app was conducted with pre-service elementary school teachers using a mixed-method convergent design (Creswell & Plano Clark, 2018).

The findings indicated positive outcomes in terms of usability, ease of use, aesthetics, system efficacy, satisfaction, pedagogical potential, and support and guidance offered by IndagApp (Lewis, 2018). Users appreciated the app's intuitive design, dynamic visual learning experience, and effective integration of user interface features. The system was stable with no major issues, although minor obstacles such as internet connectivity, occasional progress loss, and some design features needing improvement were identified.

4.5.1. Improvements made based on user feedback

Participants' responses provided valuable insights into the strengths and areas for improvement of IndagApp. To enhance participants' comprehension, the clarity and wording of questions were improved by avoiding negative or double-negative sentences. Also, the interface of graphs for each inquiry unit was modified for easier interpretation, as depicted in **Figure 4.5**. Additionally, a student notebook was created to improve information recall and alleviate the burden of remembering details for each inquiry phase. Printable worksheets were also designed as supplementary materials to assist in collecting information at various stages of the inquiry cycle, including formulating research questions, recording results, and creating graphs.

a) First version



b) Improved version



Figure 4.5. Improvement of the interface of graphs and data interpretation

It should be noted that the interface now includes a phase title at the top. The table uses colors to distinguish trials and control variables are presented separately. The graph is significantly enhanced for clearer data representation and result interpretation. Additionally, a new button allows users to repeat the experiment with different control variable data, allowing students to develop a more comprehensive understanding of the relationship between the variables.

To address internet connection issues, IndagApp now offers "guest" access. No account or connection is required to use the app. Progress as a guest is not saved, yet it allows inquiry sessions with unreliable internet. To reduce negative emotions, improvements include a pop-up window showing errors instead of just a sound notification. The revised version of the app now highlights the mistake made, without giving the correct answer. For instance, during the identification of experiment variables, the notification signals "Wrong. You have changed a control variable." to help users recognize their error.

Finally, it should be mentioned that participants' comments about not understanding the inquiry units due to lack of prior science knowledge were not addressed. As mentioned earlier, the app is intended for use by teachers implementing inquiry-based science teaching, rather than for individual student use. Personalized guidance, taking into account factors such as learning goals, domain, and prior knowledge, is considered more effective (de Jong et al., 2023). Consequently, theory or concept explanation was not included in the app, as universal guidelines are not practical, and educators are responsible for determining app usage in their specific teaching contexts.

4.5.2. Implications of this study

The findings of this study on IndagApp have several implications for science education and the integration of virtual resources in the classroom. The positive usability findings suggest that the integration of IndagApp into science classrooms can be done effectively. It is an easy-to-use and engaging resource that can effectively support inquiry-based science teaching. IndagApp is based on existing literature emphasizing information and communication technology's role in improving learning experiences (Kolil & Achuthan, 2022; Raman et al., 2022). It also incorporates best practices for inquiry-based science units (Crawford, 2014; de Jong et al., 2023; Schwartz et al., 2023). Hence, incorporating IndagApp into science teaching practices may enhance the overall quality of science education by providing opportunities to engage in authentic scientific inquiry. Moreover, usability remains consistent across users' genders and ages, indicating that it has the potential to be an inclusive and accessible resource.

Another notable aspect is that IndagApp addresses one of the challenges of existing virtual laboratories and simulations, which is their limited coverage of all

necessary steps in scientific inquiry or cognitive load (Ali et al., 2022; Scalise et al., 2011). In this sense, IndagApp covers all phases of the inquiry cycle, enabling exploration of real-world phenomena, formulation of research questions and hypotheses, understanding of experiment variables, data collection and analysis, and development of evidence-based conclusions (Pedaste et al., 2015). By addressing all the relevant phases of the inquiry teaching methodology, IndagApp engages users in a more comprehensive understanding of the inquiry cycle. Likewise, the app's design minimized cognitive load by avoiding unnecessary information and visuals, while also providing scaffolding instructions.

Since the study was conducted with pre-service elementary school teachers, the findings have implications for teacher professional development programs. Incorporating resources like IndagApp in teacher training can equip future educators with effective tools for inquiry-based teaching and help them integrate technology into their instructional practices. Hence, IndagApp addresses challenges in accessing easy and ready-to-use inquiry-based resources (Aguilera et al., 2018; Baroudi & Helder, 2019; Chichekian et al., 2016). This finding is crucial for supporting teachers in enacting or engaging with inquiry-based teaching methodology.

4.5.3. Avenues for future research

Several suggestions for further research emerge from this study. Future investigations could explore the long-term impact of IndagApp on pre-service teachers' learning outcomes and professional development, such as their inquiry skills or their pedagogical content knowledge. Another promising area for investigation is examining the perceived usability of IndagApp in students aged 10-14 years old. Likewise, the influence of IndagApp on valued outcomes among elementary school students, such as conceptual understanding, development of positive attitudes, and scientific motivation is warranted (Aguilera & Perales-Palacios, 2020; Toma, R. B. 2021). Likewise, additional research is necessary to determine the most effective implementation of IndagApp. For example, examining the synergistic effects of combining virtual simulations with hands-on experiments or collaborative learning approaches would provide valuable insights (Manyilizu, 2022). Recent studies support these efforts, showing that combining virtual laboratories with demonstration methods improves scientific literacy (Lestari et al., 2023), and that a blend of lab resources and virtual laboratories has a significant impact on achievement (Hurtado-Bermúdez & Romero-Abril, 2023). Finally, future studies should translate and test the usability of IndagApp in other languages. This would make it available for non-Spanish speakers and contexts; hence, it would also increase its reach, impact, and adoption in different educational settings. These research directions for

IndagApp are worth considering to advance evidence for the usefulness of this educational resource.

4.5.4. Limitations

This study has limitations. It relied on controlled, lab-based usability testing, which may not reflect real-world engagement with the app. Thus, valuable insights about IndagApp in authentic settings (i.e., elementary classrooms) may have been missed. Additionally, the study focused on a specific group of pre-service teachers with inquiry teaching experience, limiting the generalizability of the results. Including a more diverse sample in further studies is warranted to explore its usability with novice users regarding inquiry methodologies. Furthermore, potential implementation challenges and barriers to using IndagApp in elementary school classes, such as teacher training, technical infrastructure, and resource availability, were not explicitly addressed. Future research should investigate these factors to offer practical guidance for educators regarding how to best use IndagApp in classrooms.

4.6. Conclusions

This study focused on designing and evaluating an app called IndagApp for inquiry-based science teaching. Pre-service elementary school teachers found the app highly usable and expressed potential benefits from using it. The study also incorporated feedback to improve the app, resulting in its final version. Notably, IndagApp is the first app that covers all required inquiry phases in science education literature. Considering the need for reform-oriented resources aligned with the new educational reform (LOMLOE, 2020), the app is made freely available. Therefore, this research is both timely and significant. Further research is needed to explore the impact of using IndagApp on outcomes such as conceptual understanding, learning retention, and the development of positive attitudes and motivation in science.

4.7. References

Adedoyin, O. B., & Soykan, E. (2020). Covid-19 pandemic and online learning: the challenges and opportunities. *Interactive Learning Environments*, *0*(0), 1–13. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1813180>

Aditomo, A., & 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., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, Á., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M., & 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>

Aguilera, D., & 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>

Ali, N., Ullah, S., & 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>

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean; adding an adjective rating. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123.

Baroudi, S., & 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>

Brooke, J. (1996). A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 207–212). Taylor & Francis.

Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., & Muñoz-Franco, G. (2016). Concepciones didácticas y práctica docente. In P. Cañal, G. Travé González, F. J. Pozuelos Estrada, A. M. Criado, & A. García-Carmona (Eds.), *La enseñanza sobre el medio natural y social. Investigaciones y experiencias2* (pp. 177–205). Díada.

Carrillo, C., & Flores, M. A. (2020). COVID-19 and teacher education: a literature review of online teaching and learning practices. *European Journal of Teacher Education*, 43(4), 466–487. <https://doi.org/10.1080/02619768.2020.1821184>

Chichekian, T., Shore, B. M., & 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., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education (8th edition)*. Routledge.

Correia, A. P., Koehler, N., Thompson, A., & Phye, G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: secondary school students' perceptions. *Research in Science and Technological Education*, 37(2), 193–217. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1487834>

Correia, C. F., & Harrison, C. (2019). Teachers' beliefs about inquiry-based learning and its impact on formative assessment practice. *Research in Science and Technological Education*, 00(00), 1–22. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1634040>

Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 515–541). Routledge.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research (3rd edition)*. Sage.

de Jong, T., Gillet, D., Rodríguez-Triana, M. J., Hovardas, T., Dikke, D., Doran, R., Dziabenko, O., Koslowsky, J., Korventausta, M., Law, E., Pedaste, M., Tasiopoulou, E., Vidal, G., & Zacharia, Z. C. (2021). Understanding teacher design practices for digital inquiry-based science learning: The case of Go-Lab. *Educational Technology Research and Development*, 69(2), 417–444. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09904-z>

de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence

– The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39(November 2022), 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>

Del Rocio Sevilla-Gonzalez, M., Loaeza, L. M., Lazaro-Carrera, L. S., Ramirez, B. B., Rodríguez, A. V., Peralta-Pedrero, M. L., & 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>

Emden, M. (2021). Reintroducing “the” scientific method to introduce scientific inquiry in schools?: A cautioning plea not to throw out the baby with the bathwater. *Science and Education*, 30(5), 1037–1073. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00235-w>

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>

García-Carmona, A., Criado, A. M., & Cruz-Guzmán, M. (2018). Prospective primary teachers' prior experiences, conceptions, and pedagogical valuations of experimental activities in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 237–253. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9773-3>

Hurtado-Bermúdez, S., & Romero-Abrio, A. (2023). The effects of combining virtual laboratory and advanced technology research laboratory on university students' conceptual understanding of electron microscopy. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 1126–1141. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1821716>

Koilil, V. K., & Achuthan, K. (2022). Longitudinal study of teacher acceptance of mobile virtual labs. *Education and Information Technologies*, 1–34. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11499-2>

Lestari, D. P., Supahar, Paidi, Suwarjo, & Herianto. (2023). Effect of science virtual laboratory combination with demonstration methods on lower-secondary school students' scientific literacy ability in a science course. *Education and Information Technologies*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11857-8>

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>

Lowdermilk, T. (2013). *User-centered design: A developer's guide to building user-friendly applications*. O'Reilly.

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. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/30/pdfs/BOE-A-2020-17264.pdf>

Lu, J., Schmidt, M., Lee, M., & Huang, R. (2022). Usability research in educational technology: a state-of-the-art systematic review. In *Educational Technology Research and Development* (Vol. 70, Issue 6). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10152-6>

Manylizu, M. C. (2022). Effectiveness of virtual laboratory vs. paper-based experiences to the hands-on chemistry practical in Tanzanian secondary schools. *Education and Information Technologies*, 28(5), 4831–4848. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11327-7>

MINEDUC. (2012). *Bases curriculares. Educación Básica*. https://archivos.agenciaeducacion.cl/biblioteca_digital_historica/orientacion/2012/bases_curriculares_basica_2012.pdf

NGSS Lead States. (2013). *The Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2015.07.014>

Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. In N. G. Lederman & 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., & 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>

Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., & Diwakar, S. (2021). What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre- and post-COVID-19: Focus on usage, behavior, intention and adoption. *Education and Information Technologies, 26*(6), 7477–7495. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10583-3>

Raman, R., Achuthan, K., Nair, V. K., & Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories- A historical review and bibliometric analysis of the past three decades. In *Education and Information Technologies* (Vol. 27, Issue 8). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11058-9>

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., & 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., Quesada, A., Abril, A. M., Sorensen, P., & 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>

Sauro, J., & Lewis, J. R. (2016). *Quantifying the user experience: Practical statistics for user research*. Morgan Kaufmann.

Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K., & 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., & Enderle, P. J. (2023). Scientific inquiry literacy: The missing link on the continuum from science literacy to scientific literacy. In Norman G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 749–782). Routledge.

Smetana, L. K., & 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>

Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education, 00*(00), 1–59. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>

Sundararajan, N. K., & Adesope, O. (2020). Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review, 32*(3), 707–734. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09522-4>

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics (5th ed)*. Pearson Education.

Toma, R. B. (2021a). Evidencias de validez de una medida de la motivación por las ciencias de la naturaleza [Validity evidence for a measure of motivation for science]. *Educación XX1, 24*(2), 351–374. <https://doi.org/10.5944/educXX1.28244>

Toma, R. B. (2021b). Measuring children's perceived cost of school science: Instrument development and psychometric evaluation. *Studies in Educational Evaluation, 70*, 101009. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2021.101009>

Toma, R. B. (2022a). 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>

Toma, R. B. (2022b). Effect of confirmation and structured inquiry on attitudes toward school science. *School Science and Mathematics, 122*(1), 16–23. <https://doi.org/10.1111/ssm.12505>

van der Graaf, J., Segers, E., & de Jong, T. (2020). Fostering integration of informational texts and virtual labs during inquiry-based learning. *Contemporary Educational Psychology, 62*(June), 101890. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101890>

Vlachogianni, P., & 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>

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science, 322*(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>

Yáñez-Pérez, I., Toma, R. B., Meneses-Villagrà, J. Á. (2024a). La brecha digital en la enseñanza de las ciencias en España durante las leyes educativas LOE y LOMCE [The digital gap in science education in Spain during the LOE and LOMCE educational laws]. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*

Yáñez-Pérez, I., Toma, R. B., Meneses-Villagrà, J. Á. (2024b). 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]. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 27*(2). <https://doi.org/10.5944/ried.27.2.39109>

Yaron, D., Karabinos, M., Lange, D., Greeno, J. G., & Leinhardt, G. (2010). The ChemCollective - virtual labs for introductory chemistry courses. *Science, 328*(5978), 584–585. <https://doi.org/10.1126/science.1182435>

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Mäeots, M., Siiman, L., & 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. (2018). Withholding answers during hands-on scientific investigations? Comparing effects on developing students' scientific knowledge, reasoning, and application. *International Journal of Science Education, 40*(4), 459–469. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1429692>

5. Artículo #4: Design and usability evaluation of a mobile app for elementary school inquiry-based science learning

Iraya Yáñez-Pérez, Radu Bogdan Toma, Jesús Ángel Meneses-Villagrá

Abstract

Teachers often struggle to implement inquiry-based science teaching. To support them, IndagApp –a 3D educational app that offers curriculum-aligned, inquiry-based lesson plans– was designed. The app is rooted in the inquiry phases recommended in best-practices literature, which arguably align with most international standards. This study describes IndagApp and evaluates its usability with fifth-graders from two elementary schools in Spain (N = 43). The System Usability Scale (SUS) and the Pictorial-SUS were used to collect students' feedback on usability. Both frequentist and Bayesian analyses were conducted to compare the mean SUS score with established benchmarks for usability. The results showed that IndagApp had high usability ratings, with most students rating it as the 'Best imaginable' or 'Good'. The mean SUS score was 84.816, which was significantly higher than the benchmark score of 68. There were no differences in usability between girls and boys, and students in private and public schools. These findings suggest that IndagApp is a valuable resource for inquiry learning in elementary grades and has significant implications for science education and science teacher professional development, as it helps teachers adopt reform-oriented teaching practices that align with the curricular standards and goals.

Keywords: inquiry, IndagApp, ICT resource, usability, elementary education.

5.1. Introduction

Inquiry-based science teaching is a student-centred approach that fosters hands-on, constructivist-oriented learning experiences (de Jong et al., 2023; Romero-Ariza et al., 2019). This pedagogical approach has become pivotal in elementary science education. It engages students in exploring scientific concepts through the adoption of scientific practices (Crawford, 2014; García-Carmona, 2020). These include asking questions, designing investigations, collecting and analysing data, and generating evidence-based arguments, among others (NGSS Lead States, 2013; Osborne, 2014). Through inquiry units, students develop a deeper understanding of scientific principles and also cultivate essential 21st-century skills, like problem-solving, teamwork, and improved attitudes toward science (Liou, 2021; Ma, 2023).

The benefits of inquiry-based science teaching are well-supported by research. Literature reviews and meta-analyses report benefits regarding improved attitudes toward science (Aguilera & Perales-Palacios, 2020) and performance success (Lazonder & Harmsen, 2016). Hence, curricula reforms worldwide have stressed the importance of enacting inquiry teaching for decades (Abd-El-Khalick et al., 2004; LOMLOE, 2020; NGSS Lead States, 2013).

5.1.1. Challenges in enacting inquiry

Despite the advantages of inquiry teaching and learning, there remain challenges in effectively implementing inquiry-based approaches (Romero-Ariza et al., 2019). Teachers face resource constraints and time limitations (Baroudi & Helder, 2019; Chichekian et al., 2016; Krämer et al., 2015). Developing and delivering inquiry-based lesson plans need adequate materials and careful planning. Striking a balance between curriculum coverage and facilitating student-centred inquiry practices is also demanding. Another notable difficulty lies in understanding what is inquiry teaching. The varying interpretations of inquiry-based methods (Rönnebeck et al., 2016) make it a challenging endeavour for teachers, which usually confuses it with hands-on, recipe-like laboratory experiments. Hence, teachers tend to adopt approaches that fall short of inquiry principles (Cañal et al., 2016; García-Carmona et al., 2018; Romero-Ariza et al., 2019).

5.1.2. Information-Communication-Technology (ICT) resources for inquiry teaching

To address challenges in inquiry teaching, teachers need explicitly designed resources to support inquiry methodologies. In the past decade, a surge in ICT resources has occurred (Oliveira et al., 2019; Raman et al., 2022). Such resources include educational apps, lab simulations, and interactive learning platforms.

Noteworthy initiatives have been undertaken, such as PhET Colorado (Wieman et al., 2008) and ChemCollective (Yaron et al., 2010). Their use has exhibited favourable outcomes for learning (Scalise et al., 2011), improving affective domains like attitudes and motivation (Marrero-Galván & Hernández-Padrón, 2022), and teaching students self-regulation strategies (Reginald, 2023). While these resources represent high-quality ICT, many resemble recipe-like laboratory practices, where students use simulation software to only confirm specific phenomena (Ali et al., 2022). Their focus, therefore, is on the experimental simulation, lacking contextualization and neglecting important inquiry phases such as the orientation or conceptualization phase (Pedaste et al., 2015).

Indeed, existing resources, like PhET Colorado are limited in supporting inquiry-based learning. For example, such tools are not rooted in a real-world problem and there is no explicit phase for research question formulation or hypothesis development. Furthermore, simulations do not explicitly identify dependent, independent, and control variables; this aspect may limit students' ability to design controlled investigations, which is an important inquiry skill to be developed (García-Carmona, 2020, de Jong et al., 2023). Likewise, data presentation is another shortfall; given absent tables and graphs, students miss opportunities to develop data analysis and interpretation skills. Finally, existing simulations lack guidance for students and explanations of the scientific phenomena represented, which may leave the learning experience incomplete.

5.1.3. The present study

Inquiry-based science teaching is strongly advocated by educational curricula and research. However, teachers face numerous obstacles in implementing this method effectively. Despite many ICT resources available, there is a significant shortage of tools that fully support inquiry teaching. Against this background, the authors of this study designed “IndagApp” [in Spanish, Inquiry-App], an innovative 3D educational app tailored for inquiry-based science teaching in elementary grades (Yáñez-Pérez et al., 2024a). IndagApp has been designed to overcome the limitations of the existing simulations mentioned above. Hence, it offers curriculum-aligned lesson plans rooted in the inquiry phases recommended by Pedaste et al. (2015), which resemble the vision of inquiry in most standards, such as the Next Generation Science Standards in the USA (NGSS Lead States, 2013), the MINEDUC (2012) curriculum in Chile or the LOMLOE (2020) educational law in Spain. The goal of IndagApp is to assist science teachers in using inquiry. Previous research with pre- and in-service teachers reported high levels of usability (Yáñez-Pérez et al., 2024b). The results show that IndagApp has a high level of technological and pedagogical usability. It was rated as easy to use, with good aesthetics and system efficiency, and provides support and guidance for inquiry-based teaching. Both pre-service and in-service teachers appreciated

its intuitive design, dynamic visual learning experience, and effective integration of user interface functions.

The importance of usability testing for educational resources cannot be overstated. The International Organization for Standardization (ISO, 2018) defined usability as the extent to which a system, product, or service can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency, and satisfaction in a specified context of use (ISO, 2018). Prior literature reviews indicate a focus on usability evaluations in higher education, with varying user perceptions based on the type of educational technology (Vlachogianni & Tselios, 2022; Lewis, 2018). Mobile applications and multimedia resources tend to achieve satisfactory usability levels compared to existing benchmarks.

The aim of this study, therefore, was to evaluate the usability of IndagApp with end users, elementary school students. By doing so, this research contributes valuable insights into the feasibility of using IndagApp for inquiry-based science teaching. Usability testing is essential for educational materials, ensuring they meet the needs of teachers and students effectively. Lewis (2014, 2018) emphasizes its role in the success of ICT tools. Without proper usability, assessing learning outcomes, motivation, and attitudes is challenging and untrustworthiness. The research questions are three-fold:

RQ1: How do elementary school students perceive the usability of IndagApp?

RQ2: To what extent does gender influence the perceived usability of IndagApp?

RQ3: To what extent do the types of schools (public vs. private) influence the perceived usability of IndagApp?

5.2. The Educational Resource: IndagApp

5.2.1. General characteristics

IndagApp is a 3D educational app designed for inquiry-based science education for upper elementary/middle grades, with students aged 10-14. It supports Android ≥ 5.0 smartphones or tablets and PCs with Windows 7+ or above software. The app is freely accessible in Spanish on Google Play [anonymized link] for Android and PC access can be requested from the corresponding author or the project website [anonymized link]. IndagApp comprises ten inquiry units about different phenomena: plant growth, crystal formation, forces, flooding, bacterial growth, photosynthesis, buoyancy, valley formation, light refraction, and balloon flight. As can be noted, the units are related to physics, chemistry, biology, and geology school subjects or curricula. The interface was adapted to the preferences of students aged 10-14 y/o,

featuring characters and graphics that resemble the video games that are commonly played by this age group; for example, **Figure 5.1** shows the main characters of an inquiry unit about balloon flight, with a style similar to the games Roblox or Minecraft.



Figure 5.1. Example of the Graphics for the Balloon Flight Inquiry Unit

To facilitate the use of IndagApp in the classroom, and as a result of previous usability testing studies with in-service and pre-service teachers (Yáñez-Pérez et al., 2024b), support resources are provided in the form of student workbooks (**Figure 5.2**). These workbooks are available for free download from the project website [anonymized link] and are compatible with PCs or Tablets as fillable PDF files, which minimizes the environmental impact. Alternatively, they can also be printed out if needed. At the moment of this submission, the app is in the process of being translated into English and Portuguese to enable its application in different educational contexts and to support its international implementation.

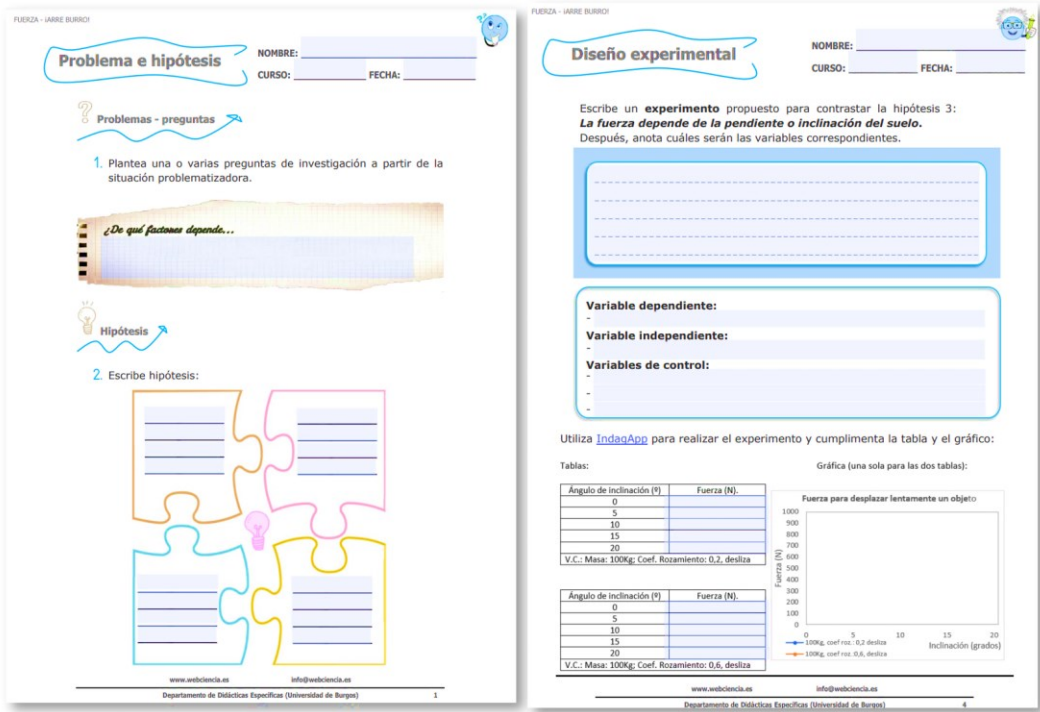


Figure 5.2. Example of Workbooks

5.2.2. Content and inquiry phases

Each inquiry unit is rooted in a standardized structure, adapted from Pedaste et al., (2015) literature review. Some phases were renamed after pilot studies to improve the comprehensibility of the inquiry process.

The orientation phase, referred to as the 'Statement of the Problem' engages students by presenting a story of an everyday life experience (Figure 5.3). For example, the inquiry regarding plant growth begins with a story about plants and their vital needs. Next, during the conceptualization phase, now called 'Research question and hypothesis' students are encouraged to ask research questions about the problem introduced. The aim is to ask scientific research questions that could be addressed through an experimental design. Then, students are presented with the research question and the four potential hypotheses, facilitating the process of hypothesis formulation.



Figure 5.3. Orientation Phase Screen Layout

The investigation phase of Pedaste et al., (2015) consists of two phases in IndagApp: ‘Experimental design’ and ‘Results and interpretation’. In the experimental design phase, students identify dependent, independent, and control variables to test the proposed hypotheses, hence learning about experiment design. In the results and interpretation phase, students test each hypothesis and interpret findings. To do so, virtual simulations were specially designed for IndagApp (Figure 5.4), with careful consideration to avoid excessive information or seductive details (e.g., flashy animations) that may produce cognitive load (Sundararajan & Adesope, 2020). Students gather five data sets by manipulating and controlling experimental variables. The collected data are organized into a table and figure for visual interpretation. Students assess their correct interpretation of the results by responding to questions related to the data.

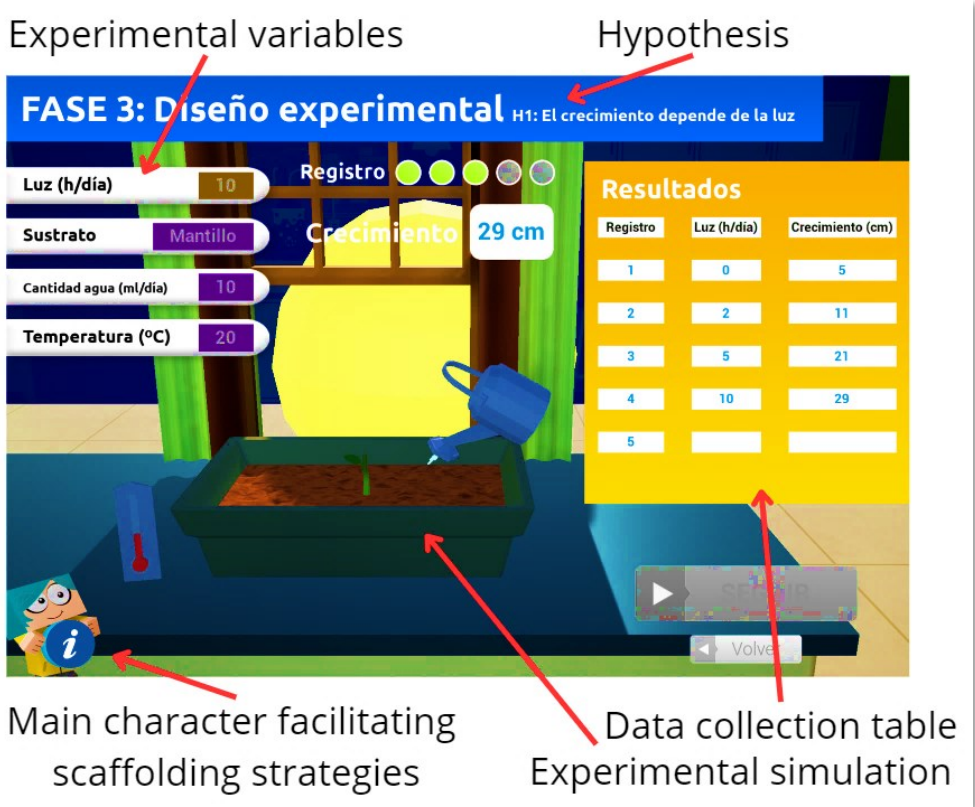


Figure 5.4. Screen Layout for the Experimental Simulation

Lastly, the conclusion phase, renamed 'Conclusions and reflection' assesses students' understanding. To do so, reinforcement and application questions are used. Essentially, this phase evaluates students' understanding of the phenomenon investigated and the subject matter content, as well as their ability to apply acquired knowledge to other real-life contexts.

5.2.3. Scaffolding strategies and guidance

IndagApp includes scaffolding strategies in video or text form (Zacharia et al., 2015). They help students in different phases of the inquiry process. The main character of the story guides the student along the way, giving instructions, advice, and short videos on various topics; for example, explaining the dependent, independent, and control variables. On the other hand, IndagApp comprises both guided and structured inquiry units. The inquiry learning process varies depending on the amount of teacher guidance (Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). In short, during a confirmation-type inquiry lesson, students confirm a phenomenon by following instructions and knowing the research question, procedure, and results beforehand. In structured inquiry, students receive the

research question and the experimental procedure, but not the results. In guided inquiry, students are given the research question, but they design the experimental procedure and do not know the results in advance. Finally, in open inquiry, students generate the research question, design the procedure, and gather results with minimal teacher guidance. Regarding IndagApp, all units include the research question and hypothesis to be tested. However, some units also provide the experimental design conditions for the control variables (hence, being a structured inquiry unit) while others leave it open to students' decisions (hence, resembling a guided inquiry unit). This is done to facilitate student understanding and teacher implementation of inquiry (Zacharia et al., 2015). Therefore, IndagApp aligns with recent evidence on the significance of scaffolding for inquiry teaching and learning (de Jong et al., 2023; Strat et al., 2023).

5.3. Method

5.3.1. Study design

This investigation tackles a real-world problem in authentic learning environments: the gap in ICT resources explicitly addressing all relevant phases of inquiry-based science teaching (Pedaste et al., 2015). The process involved iterative phases of design, implementation, evaluation, and refinement of the intended product, IndagApp (Pool & Laubscher, 2016). In previous studies, we used empirical evidence to continuously improve IndagApp, creating an effective educational innovation. Teachers' needs for implementing inquiry were identified, context analysis was performed, and existing inquiry literature was synthesized to provide best-practice guidelines. Based on this information, a series of app mock-ups were developed and refined with feedback from university experts in science education, inclusive education, and computer engineering. This resulted in the design of the first version of IndagApp. Next, the initial version of the app was tested iteratively, improving its design and content with each new iteration.

Specifically, the app underwent two rounds of formative evaluation before this study. First, a panel of science education experts and in-service teachers reviewed it and gave feedback for improvement. Then, pre-service teachers tested it and recommended minor changes. These led to the potential third and final version of IndagApp that this study evaluates. The design of the app will be deemed finalized, thus constituting the last and final version, if the usability testing conducted in this study with elementary school students yields satisfactory results against established benchmarks for the System Usability Scale, as explained below (Lewis, 2018).

5.3.2. Participants

This study used convenience sampling to recruit participants from two elementary schools in [anonymized], Spain, one state-funded ($n = 20$) and one private ($n = 23$). The schools are located in Castile and Leon, the Spanish region with the highest achievement in science and mathematics. According to TIMMS2019, the region scored 535 and 528 respectively, while the Spanish average was 511 and 502 (526 and 527 for OECD countries). The participants were fifth-graders. There were 18 girls (41.9%) and 24 boys (55.8%); one student's gender was unknown. The ages were 9 (14%), 10 (72.1%), and 11 (11.6%) years.

5.3.3. Instruments

The System Usability Scale (SUS) was used for data collection (Brooke, 1996). The SUS is a gold standard instrument for measuring ICT usability (Lewis, 2018). SUS provides user feedback on usability through an overall score. To enhance students' comprehension, we complemented the written SUS with the Pictorial-SUS (Baumgartner et al., 2021), which adds a pictorial representation of the written item (Figure 5.5). By doing so, usability assessment is more accessible and user-friendly, especially for students in primary education. McDonald's omega coefficient ($\omega = .673$), which is a better indicator of reliability for Likert-type items, revealed adequate internal consistency reliability for preliminary research (Hayes & Coutts, 2020).

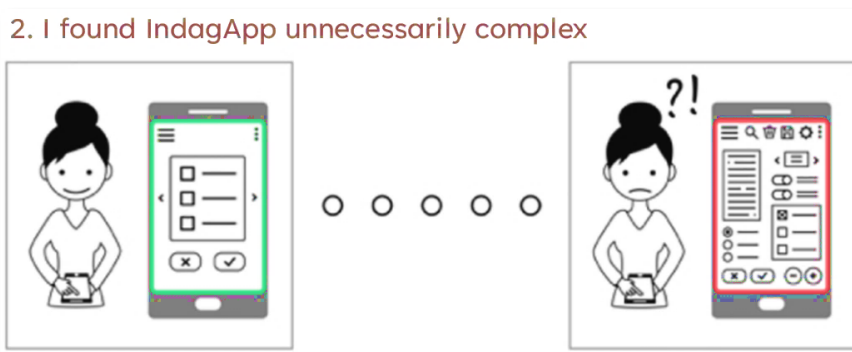


Figure 5.5. Format of the Pictorial-SUS Questionnaire Used

5.3.4. Procedure

The usability of IndagApp was evaluated in a real classroom environment. Students were organized into pairs. Each pair was given a 10' Tablet with the app installed. Students used the IndagApp resource as intended in its design. That is, following the teachers' instructions, in line with the principles of guided inquiry (Vorholzer & von Aufschnaiter, 2019). Two different inquiry units, about forces and

plant growth, were implemented in separate sessions to ensure extensive use of the app. These units were selected to engage both boys and girls in science learning, based on previous studies that indicated a gender difference in content preferences, with elementary school boys favouring physics topics, while girls tend to favour biology topics (Toma, 2022). Each implementation spanned three sessions, with each session lasting one hour. After completing the units, the students responded to the paper-and-pencil usability instrument anonymously and confidentially.

5.3.5. Data analysis

The SUS scoring method was used (Brooke, 2013), potentially ranging from 0 to 100. Scores equal to or greater than 68 indicate adequate usability. Bangor et al.'s (2009) adjective scale was next used for a qualitative interpretation of the findings, following recommended descriptors and cutoff values (Lewis, 2018): Worst imaginable (12.5), Awful (20.3), Poor (35.7), Fair (50.9), Good (71.4), Excellent (85.5), Best imaginable (90.9).

To examine whether the sample mean significantly differed from the cutoff value of 68, a frequentist and Bayesian one-sample Wilcoxon signed rank test was conducted since the Shapiro-Wilk test suggests a deviation from normality ($W = 0.654$, $p < 0.001$). To examine differences based on gender (girls and boys) and school type (public and private), frequentist and Bayesian Mann-Whitney U tests were conducted. Frequentist and Bayesian analyses are two distinct approaches with different assumptions and interpretations. Conducting both types of analyses provides a more comprehensive and nuanced understanding of the findings (for rationale, see Ioannidis, 2019; Ly et al., 2020).

5.3.6. Sample size and power analysis

The study adhered to sample size recommendations for quantitative measurements in usability testing. SUS studies require usually 20 to 30 users for sufficient precision, confidence, and variability; some previous SUS research achieved 100% agreement with 12 users (Lewis, 2018). A power analysis with G*Power software was conducted to ensure an adequate sample size. A one-sample Wilcoxon signed rank test with 80% power and medium effect size required at least 35 participants. Thus, this study, with $N = 43$, had enough statistical power to assess the usability of IndagApp against cutoff criteria (Perugini et al., 2018).

5.4. Results

5.4.1. Usability score

The SUS average score was 84.816 ($SD = 14.728$). The need for assistance ('I think that I would need the support of my teacher to be able to use IndagApp', $M = 3.24$, $SD = 1.50$) and frequency of use ('I think that I would like to use IndagApp frequently', $M = 3.79$, $SD = 1.23$) were the items with more negative ratings, despite both scores remaining adequate based on a 5-point scale. Conversely, ease of use ('I thought IndagApp was easy to use', $M = 4.53$, $SD = .77$) and integration of functionalities ('I found the various functions in IndagApp to be well integrated', $M = 4.70$, $SD = .56$) received the highest ratings.

A qualitative interpretation using Bangor et al.'s (2009) adjective scale suggested that the usability of IndagApp was the 'Best imaginable' for 67.44% of the students and 'Good' for 20.93%. Only 9.3% rated it as 'Fair' and one student as 'Poor'. None of them considered it as the 'Worst imaginable' or 'Awful'.

A frequentist one-sample Wilcoxon signed rank test indicated that the mean score was statistically significantly higher than the SUS cutoff score of 68 for adequate usability, $Z = 110.272$, $p < .001$. Similarly, Bayesian analysis yielded a high Bayes Factor ($BF_{10} = 370.6533$, $W = 857$), indicating strong evidence for the alternative hypothesis (H_1) which suggests that students' SUS scores are much higher than the cutoff score (van Doorn et al., 2021). The prior-posterior plot (Figure 5.6) shows that with 95% probability, the true effect size (δ) is in the range of 0.549 and 1.337, and the posterior median is 0.945, indicating a large effect (Ly et al., 2020).

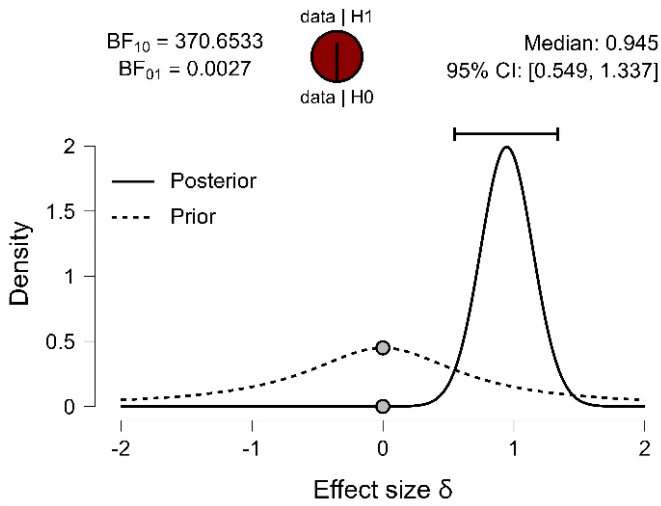
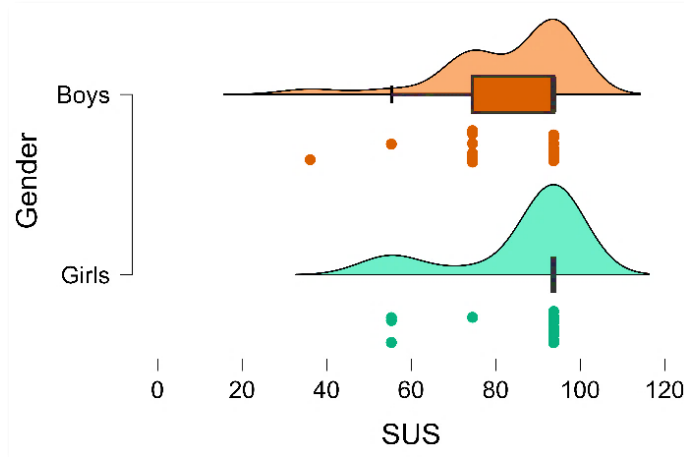


Figure 5.6. Bayesian One-Sample Wilcoxon Signed Rank Test

5.4.2. Gender and school comparisons

Frequentist Mann-Whitney U test indicated no statistically significant difference between girls' and boys' SUS scores, $W = 248.500$, $p = 0.329$ (Figure 5.7a), nor between students in public and private schools, $W = 166$, $p = 0.061$ (Figure 5.7b).

a) Gender



b) School

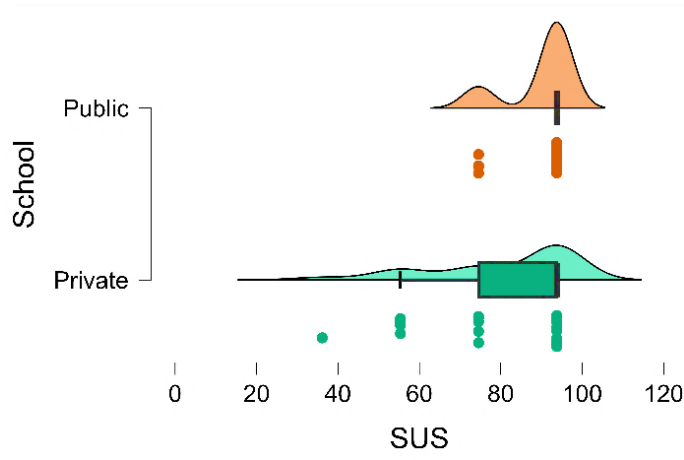
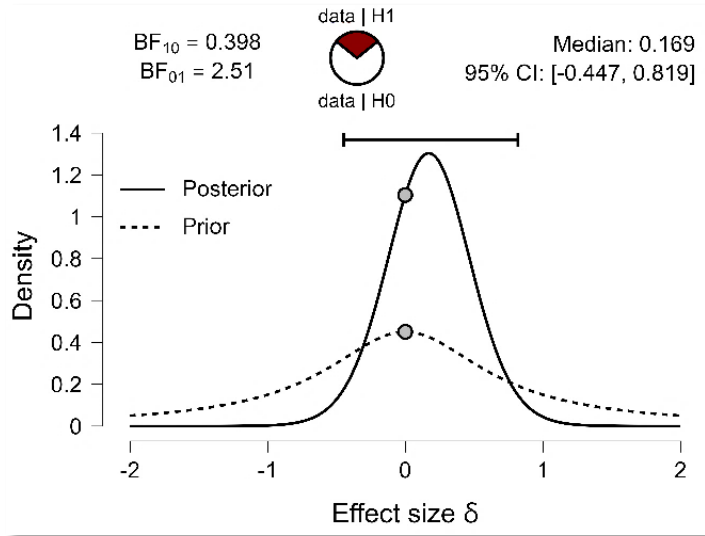


Figure 5.7. Frequentist Mann-Whitney U Tests

Bayesian analysis supported these findings. For gender (Figure 5.8a), $BF_{10} = 0.398$ and δ within 0.447 and 0.819 indicates evidence for the null hypothesis (H_0 = no gender differences). For school type (Figure 5.8b), $BF_{10} = 0.794$ and δ within -1.056 and 0.209 also indicate evidence for the null hypothesis of no school-type

differences. Taken together, these findings suggest that IndagApp's usability is consistently high across girls and boys in public and private schools.

a) Gender



b) School

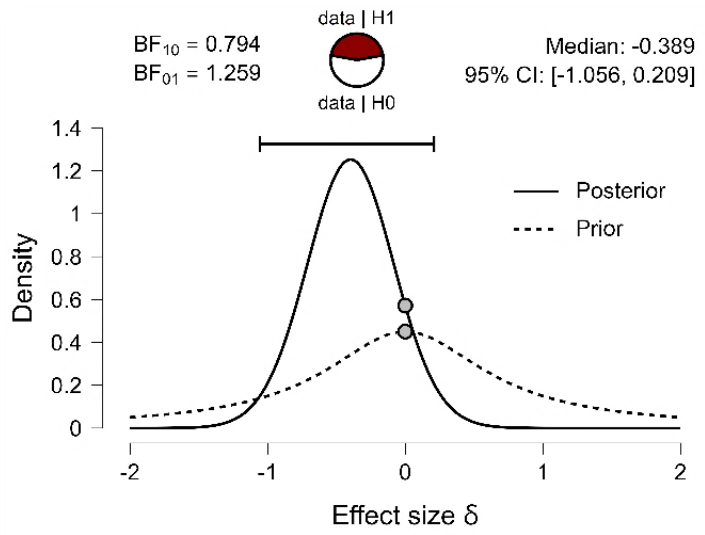


Figure 5.8. Bayesian Mann-Whitney U Tests

5.5. Discussion

This study focused on the usability evaluation of the educational application named IndagApp. The app was designed to address limitations in existing ICT resources, such as the lack of adherence to all phases of scientific inquiry or limitations regarding design features causing cognitive load (Ali et al., 2022; Scalise et al., 2011). IndagApp was specifically designed to facilitate inquiry-based science instruction within elementary grade levels by rooting the inquiry units into the steps of the inquiry cycle reported by Pedaste et al. (2015). After conducting a usability evaluation with elementary school students, the results indicate a notably high usability against standardized benchmarks. Scrutiny of the scores revealed that most students appraised the app as the 'Best Imaginable' and that no gender and school type (private or public) differences in usability were identified.

Taken together, these findings suggest that IndagApp exhibits a high level of usability among students aged 9-12. This usability evaluation builds upon previous research conducted with science education experts, and pre- and in-service teachers (Iraya-Yáñez et al., 2024a, 2024b). This study, therefore, underscores the potential of IndagApp as an effective tool to support inquiry-based science education. Teachers cite a lack of preparation time and instructional resources as major obstacles to implementing inquiry approaches (Baroudi & Helder, 2019). Thus, access to ready-to-use inquiry resources is important, especially in the Spanish context where teachers rely heavily on textbooks (Romero-Ariza et al., 2019) and hold conceptions aligned with traditional, lecture-based teaching approaches (García-Carmona et al., 2018).

5.5.1. Implications

The results have significant implications for both teachers and students. For in-service teachers, IndagApp can ease the adoption of inquiry-based science teaching. It contains curriculum-aligned lesson plans and a standardized structure rooted in extant literature (Pedaste et al., 2015). It also includes ready-to-use students' workbooks and scaffolding guidelines (Zacharia et al., 2015). Thus, it may help teachers use inquiry-driven lessons across various phenomena related to physics, chemistry, biology, and geology. Ultimately, this may align their teaching with reform-oriented practices and pedagogies (Fang, 2020; Romero-Ariza et al., 2019).

For pre-service teachers, IndagApp offers a valuable tool to learn about inquiry teaching methodology. Incorporating IndagApp into training plans may help them gain practical experience in such an approach and benefit their professional development. Extant literature suggests that prospective teachers

need to engage in inquiry lessons to be able to implement them (Toma et al., 2017; Capps et al., 2012; Zeivots et al., 2023).

Implications for students should also be taken into consideration. Since students rated the app highly usable, IndagApp may enhance their science learning experiences and encourage active participation. Indeed, reviews of the literature conclude that the use of ICT resources has been linked to improved learning-related outcomes (Scalise et al., 2011; Vlachopoulos & Makri, 2017) and attitudes (Lee & Tsai, 2013; Reeves & Crippen, 2021; Rutten et al., 2012). Therefore, IndagApp has the potential to positively impact these outcomes.

5.5.2. Limitations

A few limitations should be considered. First, this study only evaluated the app's usability, not its effects on students' learning or other outcomes. This is because this investigation is part of an ongoing DBR project that aims to establish the app's usability before large-scale implementations (Plomp, 2013). Consistent with the DBR methodology (Hoadley & Campos, 2022), future research will investigate the app's long-term impacts. Second, this study was conducted with a convenience sample, which limits the generalizability of the findings. Third, the usability evaluation was performed with students from a specific Spanish educational region, characterized by high PISA and TIMSS results in science and mathematics. The results, therefore, may vary across different regions and student populations with lower educational achievements. A more diverse sample would enhance the external validity of the conclusions. Finally, the authors of IndagApp acknowledge that the app does not represent the full scope and conceptualization of scientific inquiry (Crawford, 2014; Rönnebeck et al., 2016), but rather emphasizes investigations that require an experimental design. For example, IndagApp does not address important aspects of scientific practices, such as modelling. Yet, it should be noted that this decision to focus on experimental types of investigations is consistent with curricular reforms that highlight the importance of designing and conducting experimental investigations in science education (LOMLOE, 2020; NGSS Lead States, 2013).

Despite these limitations, this study provides evidence for the usability of IndagApp, highlighting its potential for inquiry-based science learning in elementary grades. The results regarding its usability, combined with its alignments with best practices in inquiry teaching, make it a valuable resource. Further research is being planned to gain a comprehensive understanding of its impact on student conceptual understanding, development of inquiry-procedural skills, and improvement of affective variables such as motivation and attitudes.

5.6. References

Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R. A., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, *88*(3), 397–419.

Aguilera, D., & 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>

Ali, N., Ullah, S., & 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>

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean; adding an adjective rating. *Journal of Usability Studies*, *4*(3), 114–123.

Baroudi, S., & 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>

Baumgartner, J., Ruettggers, N., Hasler, A., Sonderegger, A., & Sauer, J. (2021). Questionnaire experience and the hybrid System Usability Scale: Using a novel concept to evaluate a new instrument. *International Journal of Human Computer Studies*, *147*, 102575. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2020.102575>

Brooke, J. (1996). A quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 207–212). Taylor & Francis.

Brooke, J. (2013). SUS: A retrospective. *Journal of Usability Studies*, *8*(2), 29–40.

Cañal, P., Criado, A. M., García-Carmona, A., & Muñoz-Franco, G. (2016). Concepciones didácticas y práctica docente. In P. Cañal, G. Travé González, F. J. Pozuelos Estrada, A. M. Criado, & A. García-Carmona (Eds.), *La enseñanza sobre el medio natural y social. Investigaciones y experiencias2* (pp. 177–205). Díada.

Capps, D. K., Crawford, B. A., & Constan, M. A. (2012). A review of empirical literature on inquiry professional development: Alignment with best practices and a critique of the findings. *Journal of Science Teacher Education*, *23*(3), 291–318. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9275-2>

Chichekian, T., Shore, B. M., & 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>

Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, Volume II* (pp. 515–541). Routledge.

de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, *39*(November 2022), 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>

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>

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>

García-Carmona, A., Criado, A. M., & Cruz-Guzmán, M. (2018). Prospective primary teachers' prior experiences, conceptions, and pedagogical valuations of experimental activities in science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(2), 237–253. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9773-3>

Hayes, A. F., & Coutts, J. J. (2020). Use Omega rather than Cronbach's Alpha for estimating reliability. But.... *Communication Methods and Measures*, 14(1), 1–24. <https://doi.org/10.1080/19312458.2020.1718629>

Hoadley, C., & Campos, F. C. (2022). Design-based research: What it is and why it matters to studying online learning. *Educational Psychologist*, 57(3), 207–220. <https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2079128>

Ioannidis, J. P. A. (2019). What have we (not) learnt from millions of scientific papers with p values? *American Statistician*, 73(sup1), 20–25. <https://doi.org/10.1080/00031305.2018.1447512>

International Organization for Standardization (ISO). (2018). Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts (ISO 9241-11:2018). Switzerland.

Krämer, P., Nessler, S. H., & Schlüter, K. (2015). Teacher students' dilemmas when teaching science through inquiry. *Research in Science and Technological Education*, 33(3), 325–343. <https://doi.org/10.1080/02635143.2015.1047446>

Lazonder, A. W., & 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>

Lee, S. W. Y., & Tsai, C. C. (2013). Technology-supported learning in secondary and undergraduate biological education: Observations from literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 226–233. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9388-6>

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>

Liou, P. Y. (2021). Students' attitudes toward science and science achievement: An analysis of the differential effects of science instructional practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(3), 310–334. <https://doi.org/10.1002/tea.21643>

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 [Organic Law 3/2020, of December 29, 2020, which amends Organic Law 2/2006, of May 3, 2006, on Education. Official State Gazette, 340, of December 30, 2020.]*. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/30/pdfs/BOE-A-2020-17264.pdf>

Ly, A., Stefan, A., van Doorn, J., Dablander, F., van den Bergh, D., Sarafoglou, A., Kucharský, S., Derks, K., Gronau, Q. F., Raj, A., Boehm, U., van Kesteren, E. J., Hinne, M., Matzke, D., Marsman, M., & Wagenmakers, E. J. (2020). The Bayesian methodology of Sir Harold Jeffreys as a practical alternative to the P value hypothesis test. *Computational Brain and Behavior*, 3(2), 153–161. <https://doi.org/10.1007/s42113-019-00070-x>

Ma, Y. (2023). The Effect of Inquiry-Based Practices on Scientific Literacy: the Mediating Role of Science Attitudes. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21(7), 2045–2066. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10336-9>

Marrero-Galván, J. J., & 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>

MINEDUC. (2012). *Bases curriculares. Educación Básica*. https://archivos.agenciaeducacion.cl/biblioteca_digital_historica/orientacion/2012/bases_curriculares_basica_2012.pdf

NGSS Lead States. (2013). *The Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2015.07.014>

Oliveira, A., Feyzi Behnagh, R., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J., & 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. In N. G. Lederman & 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., & 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>

Perugini, M., Gallucci, M., & Costantini, G. (2018). A practical primer to power analysis for simple experimental designs. *International Review of Social Psychology*, 37(1), 1–23. <https://doi.org/10.5334/IRSP.181>

Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research - Part A: An introduction*. SLO.

Pool, J., & Laubscher, D. (2016). Design-based research: is this a suitable methodology for short-term projects? *Educational Media International*, 53(1), 42–52. <https://doi.org/10.1080/09523987.2016.1189246>

Raman, R., Achuthan, K., Nair, V. K., & Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories- A historical review and bibliometric analysis of the past three decades. In *Education and Information Technologies* (Vol. 27, Issue 8). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11058-9>

Reeves, S. M., & Crippen, K. J. (2021). Virtual laboratories in undergraduate science and engineering courses: A systematic review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 16–30. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0>

Reginald, G. (2023). Teaching and learning using virtual labs: Investigating the effects on students' self-regulation. *Cogent Education*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2172308>

Romero-Ariza, M., Quesada, A., Abril, A. M., Sorensen, P., & 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., & 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>

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, *58*(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>

Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K., & 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>

Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, *00*(00), 1–59. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>

Sundararajan, N. K., & Adesope, O. (2020). Keep it coherent: A meta-analysis of the seductive details effect. *Educational Psychology Review*, *32*(3), 707–734. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09522-4>

Toma, R. B., Greca, I. M., & Meneses-Villagr a, J. A. (2017). Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *14*(2), 443–457.

Toma, R. B. (2021). 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. (2022). Elementary school students' interests and attitudes towards biology and physics. *Journal of Biological Education*, 1–12. [10.1080/00219266.2022.2147208](https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2147208)

Y nez-Pérez, I., Toma, R. B., y Meneses-Villagr a, J.  . (2024). Diseño y usabilidad de IndagApp: una app para la enseñanza de las ciencias por indagación. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *27*(2). <https://doi.org/10.5944/ried.27.2.39109>

Y nez-Pérez, I., Toma, R. B., y Meneses-Villagr a, J.  . (2024). The IndagApp mobile app - an inquiry-based science teaching resource: usability evaluation with pre-service teachers. *Journal of New Approaches in Educational Research*, *13*(7). <https://doi.org/10.1007/s44322-024-00008-7>

van Doorn, J., van den Bergh, D., Böhm, U., Dablander, F., Derks, K., Draws, T., Etz, A., Marsman, M., Matzke, D., Komarlu Narendra Gupta, A. R., Sarafoglou, A., Stefan, A., Voelkel, J. G., & Wagenmakers, E. J. (2021). The JASP guidelines for conducting and reporting a Bayesian analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, *28*, 813–826. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01798-5>

Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *14*(22), 1–33. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0062-1>

Vlachogianni, P., & 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., & 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>

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, *322*(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>

Yaron, D., Karabinos, M., Lange, D., Greeno, J. G., & Leinhardt, G. (2010). The ChemCollective - virtual labs for introductory chemistry courses. *Science*, *328*(5978), 584–585. <https://doi.org/10.1126/science.1182435>

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Mäeots, M., Siiman, L., & 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>

Zeivots, S., Buchanan, J. D., & Pressick-Kilborn, K. (2023). Pre-service teachers becoming researchers: the role of professional learning groups in creating a community of inquiry. *Australian Educational Researcher*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13384-022-00589-2>

6. Conclusiones generales

6.1. Contribución de la tesis doctoral

El objetivo general de esta tesis doctoral fue el diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp, un recurso TIC para la enseñanza de las ciencias basada en la indagación.

El primer objetivo específico fue analizar la disponibilidad y el uso de recursos TIC para la enseñanza de las ciencias entre el profesorado de educación primaria en España, así como su formación en este ámbito (artículo #1). La tesis doctoral partió del preocupante panorama que revela el análisis secundario de los estudios TIMSS2011 y TIMSS2015 sobre el uso de las TIC en las aulas de ciencias en España. Los resultados son cuanto menos desalentadores ya que menos del 40% de los profesores de educación primaria tienen acceso a herramientas como ordenadores y tabletas. Además, la formación del profesorado en el uso pedagógico de estas tecnologías es escasa. Esto se traduce en un uso limitado con su alumnado, centrado principalmente en la búsqueda de información y con una frecuencia muy baja de una o dos veces al mes. A pesar de las reformas educativas aprobadas en España en las últimas dos décadas, no se observa un uso significativo de las TIC, lo que sugiere un impacto mínimo en las prácticas docentes.

El segundo objetivo específico de la tesis consistió en describir el diseño y desarrollo de IndagApp y en evaluar su usabilidad en docentes en ejercicio y profesorado universitario experto en esta temática (artículo #2). Dado los resultados del primer estudio, se presentó el diseño y desarrollo de IndagApp, un recurso TIC compuesto por diez secuencias de indagación. Asimismo, se evaluó su usabilidad con profesorado universitario y maestros de educación primaria en activo. A pesar de que los resultados de usabilidad fueron satisfactorios, se identificaron diversas áreas de mejora, como la corrección de errores, el rediseño de gráficos para adaptarlos a la edad del alumnado y la incorporación de andamiaje en forma de vídeos e instrucciones en forma de texto.

El tercer objetivo específico fue evaluar la usabilidad de IndagApp en maestros de educación primaria en formación inicial (artículo #3). Tras atender las áreas de mejora, se evaluó la usabilidad de IndagApp por parte de maestros de educación primaria en formación inicial. Los resultados mostraron que la versión mejorada de IndagApp alcanzó altos niveles de usabilidad, aunque también se identificaron algunos aspectos a optimizar. Las mejoras sugeridas estaban centradas en mejorar la claridad del texto (p.ej. evitando frases negativas), la interfaz de los

gráficos, la opción de su uso sin conexión y la simplificación del proceso de indagación (advirtiendo de los errores en lugar de borrar el progreso). Además, se detectó la necesidad de crear recursos de andamiaje, por lo que se incluyeron videos e instrucciones en IndagApp. Igualmente, se crearon fichas imprimibles para acompañar el uso de la aplicación.

El último objetivo específico de esta tesis consistió en evaluar la usabilidad de IndagApp en estudiantes de educación primaria (artículo #4). Los resultados demostraron que la versión definitiva de IndagApp posee una usabilidad excelente, superando ampliamente los estándares recomendados en la literatura. En conjunto, estos hallazgos revelan que se han alcanzado los objetivos formulados.

6.2. Implicaciones educativas

La relevancia de esta tesis doctoral reside en la necesidad de desarrollar recursos TIC para la enseñanza de las ciencias basados en la metodología de indagación. IndagApp es un recurso alineado con la conceptualización de la indagación de la literatura y demuestra tener altos niveles de usabilidad (Pedaste et al., 2015), por lo que se postula como una herramienta con el potencial de promover la enseñanza de las ciencias por indagación. De manera general, las implicaciones educativas de esta tesis doctoral se enmarcan en tres ámbitos principales.

En primer lugar, IndagApp tiene el potencial de mejorar las prácticas docentes tradicionales y dirigir las hacia una pedagogía basada en la indagación. Al mismo tiempo, también contribuye al desarrollo profesional docente. Debido a que la usabilidad de la aplicación fue probada tanto con maestros en activo como con maestros en formación inicial, IndagApp puede ser empleada para proporcionar a maestros principiantes o reacios a adoptar metodologías innovadoras una experiencia positiva con la indagación. Además, la inclusión de recursos analógicos y la minimización del tiempo de preparación previo a su implementación reducen significativamente las barreras para su utilización por parte de los docentes, quienes a menudo se enfrentan a limitaciones de tiempo (Baroudi y Helder, 2019; Fang, 2020; Romero-Ariza et al., 2019). Esta accesibilidad podría contribuir a mejorar la autoeficacia docente y a fomentar cambios en sus prácticas docentes.

En segundo lugar, de esta tesis también se derivan algunas implicaciones para la mejora del aprendizaje y del dominio afectivo del alumnado de educación primaria (Aguilera y Perales-Palacios, 2020). Los resultados de la última edición del Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA) muestran niveles de rendimiento en ciencias históricamente bajos entre los estudiantes españoles (MECD, 2023). Además, la literatura señala que al finalizar

la educación primaria, los estudiantes ya han desarrollado una actitud negativa hacia las ciencias (Toma y Lederman, 2022; Tytler y Ferguson, 2023). En este contexto, IndagApp surge como una herramienta innovadora con el potencial de revertir esta tendencia. Dada la evidencia sobre los beneficios de los laboratorios virtuales y las simulaciones (Bozzo et al., 2022; Correia et al., 2019; Lee y Tsai, 2013), IndagApp puede facilitar la comprensión de conceptos científicos complejos, lo que podría conducir a una mejora en el rendimiento académico. Por otro lado, la investigación sobre el uso de recursos TIC en la enseñanza de las ciencias también reporta beneficios en el ámbito afectivo, como el desarrollo de actitudes positivas y de la motivación (Lee y Tsai, 2013; Potkonjak et al., 2016; Smetana y Bell, 2012). De este modo, IndagApp también podría hacer que el aprendizaje de las ciencias sea percibido como más atractivo, fomentando el interés por el quehacer científico entre los estudiantes.

Por último, los estudios presentados en esta tesis doctoral tienen implicaciones en el desarrollo de futuros recursos educativos que permitan atender las demandas de las reformas curriculares. IndagApp surge en un contexto educativo español marcado por un creciente énfasis en la indagación y las TIC en la enseñanza de ciencias, tal y como reflejan las últimas reformas educativas (Real Decreto 157/2022). Su diseño y contenido se alinea con estas reformas, por lo que tiene el potencial de cubrir la brecha existente entre las demandas educativas y los recursos disponibles, contribuyendo así a la mejora de la enseñanza de ciencias en España.

6.3. Avenidas para futuras investigaciones

El diseño, desarrollo y evaluación de la usabilidad de IndagApp, presentados en esta tesis, sientan las bases para futuras investigaciones. Una línea prometedora para próximas investigaciones es el estudio del efecto de IndagApp en la formación docente. En este sentido, se podría investigar el desarrollo del conocimiento didáctico del contenido de los docentes en activo y en formación inicial tras el uso de IndagApp. Asimismo, también se podría analizar la influencia de IndagApp en las actitudes y la motivación docente para la adopción de la indagación. Por otro lado, el uso de IndagApp por parte de los docentes en entornos reales de aula requiere de futuros estudios que podrían arrojar luz sobre cómo emplear el recurso diseñado y qué dificultades se podrían encontrar con su uso. En última instancia, esto podría contribuir a mejorar IndagApp con el objetivo de responder a las necesidades reales de los profesores, que van más allá de las identificadas en esta tesis.

Otra línea de investigación prometedora es el uso extensivo de IndagApp con estudiantes de educación primaria. Futuros estudios podrían examinar en qué medida la aplicación de este recurso mejora la comprensión de conceptos

científicos por parte de los estudiantes, ayuda al desarrollo de habilidades indagatorias y potencia las actitudes y motivación del alumnado a la hora de aprender ciencias. Esta área de estudio es esencial para determinar los potenciales beneficios de IndagApp y, con ello, contribuir a la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias a través de la indagación, tal y como lo demandan las recientes reformas curriculares.

6.4. Limitaciones

Los resultados de esta tesis doctoral están sujetos a algunas limitaciones que han de tenerse en cuenta. En primer lugar, las técnicas de muestreo empleadas presentan algunas limitaciones. El estudio inicial se basó en datos de TIMSS, que emplea un muestreo estratificado, mientras que el segundo estudio adoptó un muestreo intencional para incluir participantes expertos en la temática. Sin embargo, los estudios posteriores de la usabilidad de IndagApp con maestros en formación y estudiantes de educación primaria se basaron en un muestreo de conveniencia. Para mitigar estas limitaciones, se utilizaron tamaños de muestra superiores a los mínimos recomendados en la literatura para estudios de usabilidad y se incorporaron escuelas públicas y concertadas. A pesar de estos esfuerzos, la dependencia de un muestreo de conveniencia limita la generalización de los resultados.

Por otro lado, la evaluación de la usabilidad de IndagApp también está sujeta a limitaciones. El cuarto estudio, enfocado en la usabilidad de la aplicación con alumnado de educación primaria, fue el único que permitió evaluar la usabilidad en un contexto de aula auténtico. Los estudios previos, realizados con maestros en activo y en formación, se llevaron a cabo en entornos controlados, donde los participantes utilizaron la aplicación de forma individual y no en el marco de una clase real. Esta diferencia en los contextos de evaluación podría afectar a la generalización de los resultados obtenidos, ya que no se ha podido observar la utilización de la aplicación en un entorno educativo auténtico, con todas las complejidades que ello conlleva.

Finalmente, existen limitaciones relacionadas con el diseño de IndagApp. Los distintos bocetos realizados revelaron la necesidad de una gran cantidad de información en pantalla para simular una experiencia de enseñanza por indagación verdadera. Esto genera un problema de usabilidad en dispositivos móviles con pantallas más pequeñas, donde los elementos de la interfaz pueden parecer demasiado pequeños e incluso dificultar la interacción con el usuario. Por ello, se recomienda utilizar IndagApp en dispositivos con pantallas de al menos 10 pulgadas, en monitores de PC o en las pizarras digitales del aula.

6.5. Referencias

- 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>
- 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>
- Correia, A. P., Koehler, N., Thompson, A., y Phye, G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: secondary school students' perceptions. *Research in Science and Technological Education*, 37(2), 193–217. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1487834>
- 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>
- Lee, S. W. Y., y Tsai, C. C. (2013). Technology-supported learning in secondary and undergraduate biological education: Observations from literature review. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 226–233. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9388-6>
- MECD. (2023). *PISA 2022. Programa para la evaluación internacional de los estudiantes. Informe español*. https://www.libreria.educacion.gob.es/libro/pisa-2022-programa-para-la-evaluacion-internacional-de-los-estudiantes-informe-espanol_183950/
- 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>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education*, 95, 309–327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- 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>
- 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>
- 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>
- Toma, R. B., y Lederman, N. G. (2022). A comprehensive review of instruments measuring attitudes toward science. *Research in Science Education*, 52, 567–582. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09967-1>
- Tytler, R., y Ferguson, J. P. (2023). Student attitudes, identity, and aspirations toward science. En N. G. Lederman, D. L. Zeidler, y J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume III* (pp. 158–192). Routledge.

