



Recibido: 3 febrero 2023
Revisado: 9 junio 2023
Aceptado: 15 junio 2023

Dirección autores:

¹ Departamento de Educación.
Facultad de Lenguas y Educación.
Universidad de Nebrija. Calle de
Sta. Cruz de Marcenado, 27, 28015
Madrid (España)

² Departamento de Didáctica de las
Lenguas, Artes y Educación Física.
Facultad de Educación – Centro de
Formación del Profesorado.
Universidad Complutense de
Madrid. Calle del Rector Royo-
Villanova, 1, 28040 Madrid (España)

³ Centro Singular de Investigación
en Química Biológica y Materiales
Moleculares (CIQUS). C/ Jenaro de
la Fuente s/n, Campus Vida,
Universidad de Santiago de
Compostela, 15782 Santiago de
Compostela (España)

E-mail / ORCID


sdelgado@nebrija.es

 <https://orcid.org/0000-0003-3731-2510>

sicarras@ucm.es

 <https://orcid.org/0000-0002-4950-669X>

rebeca.garcia.fandino@usc.es

 <https://orcid.org/0000-0002-5274-3928>

ARTÍCULO / ARTICLE

Grado de aceptación de los sistemas de evaluación digitales adaptados al uso de recursos tecnológicos educativos basados en Realidad Aumentada

Degree of acceptance of digital evaluation systems adapted to the use of educational technological resources based on Augmented Reality

Santiago Delgado-Rodríguez¹, Silvia Carrascal-Domínguez² y Rebeca García-Fandiño³

Resumen: El uso de las tecnologías inmersivas, especialmente la Realidad Aumentada (RA), es una de las principales tendencias tecnológicas en el ámbito educativo actual. Algunos estudios recientes, realizados durante los últimos años en este campo, destacan que, los sistemas de evaluación utilizados siguen siendo de corte tradicional y plantean la posibilidad de utilizar sistemas de evaluación adaptados. Esta investigación, basada en fuentes primarias de información, busca evidencias empíricas sobre la necesidad de utilizar sistemas de evaluación digitales, adaptados a recursos tecnológicos, en asignaturas de Ciencias y en etapas de Educación Secundaria Obligatoria. La metodología utilizada es de corte cuantitativo y se ha basado en el diseño y análisis estadístico de las respuestas ofrecidas por los estudiantes a un cuestionario creado ad hoc, administrado para que valorasen un recurso educativo de RA utilizado en clase para la explicación de un concepto clave de la asignatura de Ciencias. Los resultados obtenidos a través del análisis de las respuestas ofrecidas por los estudiantes, revelan un elevado nivel de aceptación del sistema de evaluación digital utilizado. El análisis de los datos obtenidos en este estudio permite establecer la hipótesis basada en que un sistema de evaluación digital, adaptado al uso de un recurso educativo tecnológico e inmersivo de RA, puede generar un impacto positivo sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

Palabras clave: Tecnología Educativa, Realidad Aumentada, Evaluación, Ciencias, Educación Secundaria.

Abstract: The use of immersive technologies, especially Augmented Reality (AR), is one of the main technological trends in the current educational field. Some recent studies, carried out in recent years in this field, highlight that the evaluation systems currently employed continue to be traditional and raise the possibility of using adapted evaluation systems. This research, based on primary sources of information, seeks empirical evidence on the need to use digital evaluation systems, adapted to technological resources in Science subjects and in stages of Compulsory Secondary Education. The methodology used is quantitative research and has been based on the design and statistical analysis of the responses offered by the students to a questionnaire created ad hoc, administered to assess an AR educational resource used in class for the explanation of a key concept of the subject. The results obtained through the exploratory factorial analysis of the answers offered by the students reveal, as a latent construct, a high level of acceptance of the digital evaluation system used. The analysis of the data obtained in this study allows us to establish the hypothesis based on the fact that a digital evaluation system, adapted to the use of an immersive AR technological resource, can generate a positive impact on the students' learning process.

Keywords: Educative Technology, Augmented Reality, Evaluation, Sciences, Secondary Education.

1. Introducción

Los sistemas sociales en los que vivimos actualmente se basan en el uso de tecnologías que facilitan el acceso casi ilimitado a la información. La información es un elemento esencial en una sociedad moderna y su interpretación permite generar conocimiento. Por lo tanto, se puede considerar que la sociedad de la información ha generado una sociedad del conocimiento. La interpretación objetiva de la información y el hecho de poder compartirla de manera sencilla utilizando los recursos tecnológicos disponibles como herramientas complementarias, está generando lo que algunos expertos en el ámbito educativo denominan una sociedad del aprendizaje (Cabero et al., 2016). Por lo tanto, en la sociedad del aprendizaje es fundamental la consecución de habilidades y estrategias características de la era digital. Este objetivo supone una de las principales dificultades y uno de los retos fundamentales a los que actualmente se enfrenta la ciudadanía en materia de competencia digital.

Este hecho se ha constatado desde la pandemia de COVID-19, a partir de la cual, la utilización de recursos digitales en la sociedad en general y en el ámbito educativo en particular, fue fundamental para poder continuar desarrollando los procesos formativos a distancia y cuyos efectos aún perduran. Las inversiones en tecnología educativa están aumentando de manera considerable y esto, a su vez, está originando importantes avances en el desarrollo tecnológico en general. De manera particular, está generando avances en las tecnologías inmersivas, como la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA) (Pelletier et al., 2021).

Investigaciones recientes, como la desarrollada por Alalwan et al. (2020), sostienen que los docentes muestran una predisposición mayor a la utilización de recursos tecnológicos educativos basados en la RA que hacia el uso de RV. Estas investigaciones concluyen la conveniencia de utilizar esta tecnología en contextos educativos. Todo ello, posiciona a la RA como un recurso educativo con un potencial elevado para su uso en procesos de enseñanza y aprendizaje.

Una de las principales ventajas que presenta la RA radica en que es una tecnología idónea para poder visualizar tanto fenómenos físicos, como conceptos con un nivel elevado de abstracción asociado. Así, esta tecnología facilita la interpretación de fenómenos complejos, de aquellos que conllevan la necesidad de visualizar un componente tridimensional, así como también resulta muy útil para la simulación o recreación de espacios formativos más seguros que los reales, como por ejemplo, los entornos de un laboratorio (Akçayır, Akçayır, Miraç, y Akif, 2016; Cai, Chiang, Sun, Lin, y Lee, 2017; Fombona y Pascual, 2017; Herpich, Fernanda da Silva, y Rockenbach, 2021; Tarnng, Ou, Lu, Shih, y Liou, 2018).

La RA es una tecnología con un potencial importante para su implantación en la educación debido principalmente a que puede aumentar la motivación de los estudiantes, generando así mejoras en sus resultados académicos. Todo ello, confiere a la RA un elevado potencial para poder utilizarla en distintas asignaturas y niveles formativos (Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo, y Fernández, 2019; Han, Jo, Hyun y So, 2015; Kim, Hwang, Zo y Hwansoo, 2014).

El desarrollo de habilidades y estrategias que se adquieren mediante el aprendizaje basado en el uso de recursos educativos tecnológicos no puede lograrse

sin el diseño y la implementación de metodologías activas que integren el uso de estos recursos educativos de manera eficiente y eficaz. Desde hace ya algunos años, expertos educativos como Livingstone (2012), incluso plantean la hipótesis de que, al evaluar los resultados de estos estudiantes con pruebas objetivas y exámenes de corte tradicional, los efectos en los resultados académicos puede que no sólo no varíen, sino que también pueden empeorar siendo, por lo tanto, contraproducentes. La realidad es que, hasta ahora, no se han utilizado metodologías innovadoras que incorporen sistemas de evaluación específicos y adaptados al uso de los nuevos recursos tecnológicos, sino que las evaluaciones se han basado en la utilización de sistemas de evaluación considerados tradicionales (Bacca et al., 2014; Brown, et al., 2020 y Nieto, 2016).

En este contexto, parece necesario adaptar los sistemas tradicionales de evaluación a las características de las nuevas metodologías activas que incorporan recursos educativos tecnológicos. Sin embargo, actualmente no se han determinado unos criterios concretos que sirvan para lograr estos objetivos, a pesar de haber un consenso claro a nivel institucional sobre la necesidad de definir exactamente cómo deberían implementarse los sistemas de evaluación en contextos de enseñanza y aprendizaje virtuales. Actualmente, la mayoría de las investigaciones efectuadas en este campo se han limitado a la evaluación de programas formativos basados en el e-learning (Blázquez, Alonso y Yuste, 2017). Existe, por lo tanto, un vacío bibliográfico y una necesidad real y justificada de realizar investigaciones basadas en fuentes primarias de información que permitan determinar la idoneidad de los usos específicos, las metodologías y las características concretas de los sistemas de evaluación digitales y adaptados al uso de tecnologías educativas, especialmente de las tecnologías inmersivas como la RA (Alkhatabi, 2017; Cabero-Almenara, Barroso-Osuna, Llorente-Cejudo y Fernández, 2019; Fombona y Pascual, 2017 y Prendes, 2015).

Esta investigación pretende ofrecer respuestas a las cuestiones planteadas anteriormente para conocer tanto la valoración de los estudiantes sobre el uso de un recurso tecnológico educativo inmersivo basado en RA, como para determinar el grado de aceptación de un sistema de evaluación digital y adaptado al uso de tecnología educativa inmersiva. Para ello, se ha efectuado un estudio actitudinal basado en el desarrollo y validación de un cuestionario creado ad hoc (Carrascal et al., 2023; Delgado, 2021). El análisis estadístico de las respuestas ofrecidas por los estudiantes a las cuestiones planteadas en el citado cuestionario, ha permitido conocer su opinión sobre el uso de tecnología educativa inmersiva para la explicación de conceptos clave de la asignatura. Pero también ha permitido determinar cuáles son los principales factores que intervienen y favorecen el proceso de aprendizaje basado en la utilización de recursos tecnológicos inmersivos de RA, y explorar también otros factores adicionales presentes en el proceso educativo como constructo latente.

2. Método

La metodología utilizada en el estudio es de corte cuantitativo. Se ha basado en el diseño y en el análisis estadístico de las respuestas ofrecidas por la muestra de estudiantes seleccionada a un cuestionario creado *ad hoc*.

El objetivo principal del estudio, consiste en conocer las valoraciones efectuadas por los estudiantes sobre el uso de un recurso tecnológico educativo inmersivo basado en RA y utilizado para la mejora de su rendimiento académico a través del análisis de

las respuestas ofrecidas por los estudiantes y de factores concretos como el nivel de motivación, el grado de aceptación del recurso tecnológico utilizado y el grado de comprensión del concepto clave explicado en clase. Dentro de este objetivo, se pretende también concretar de manera exploratoria la estructura interna del cuestionario para identificar la posible existencia de otros factores adicionales en la estructura subyacente del mismo.

Teniendo en cuenta las características concretas y la singularidad del estudio, se han considerado las características generales de la población. También se han considerado las características específicas de la muestra de sujetos participantes, ya que la muestra condicionará en gran medida la selección de los métodos utilizados para la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación.

La muestra de estudiantes participantes en el estudio ($n = 199$) está compuesta por estudiantes de la asignatura de Ciencias de Biología y Geología de cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria, pertenecientes a 16 centros educativos tanto públicos como concertados, situados en la Región de Cantabria. La elección de la muestra se ha realizado a partir del conjunto de estudiantes que participaron en un estudio de rendimiento previo. Todos los estudiantes participantes en el estudio actitudinal, habían utilizado en clase previamente una aplicación de RA que representaba un concepto clave de la asignatura de Ciencias. Por lo tanto, y teniendo en cuenta los criterios establecidos por expertos como Sáez (2017), la muestra seleccionada para el desarrollo del estudio actitudinal, se puede considerar representativa respecto de la población a la que representa.

Con la intención de conocer también la opinión de los estudiantes participantes en el estudio sobre aspectos concretos relacionados con la metodología y con la tecnología utilizada en el aula, se diseñó un instrumento basado en un cuestionario ad hoc. El instrumento se diseñó a medida para poder integrarlo en el proceso de investigación y está basado en una adaptación que se efectuó de otros modelos propuestos previamente por otros autores, para poder determinar tanto el nivel de motivación, como el grado de aceptación generados en los estudiantes por el uso de recursos tecnológicos en entornos educativos.

Por una parte, con el objetivo de determinar el grado de aceptación de la tecnología por parte de los estudiantes respecto al uso de una metodología educativa innovadora, basada en la combinación de un recurso tecnológico de RA para la explicación de los conceptos clave de la asignatura y en un sistema de evaluación digital adaptado, se eligió como referencia el denominado "Modelo de Aceptación de la Tecnología" o Technology Acceptance Model (TAM). Dicho modelo, que fue propuesto por Davis (1989), se sigue utilizando en la actualidad en diversas investigaciones en el marco de la aplicabilidad de la tecnología educativa (Cabrero, Barroso y Gallego, 2018). En resumen, Davis (1989) autor del modelo TAM, sugiere que los individuos que utilicen una aplicación tecnológica en la que perciben una relación positiva entre su uso y rendimiento, también mejorarán su grado de aceptación hacia la misma, lo que puede propiciar a su vez una mejora de los resultados académicos.

El número de ítems que conforman esta dimensión son un total de nueve (cinco ítems para el indicador Utilidad percibida y cuatro ítems para el indicador Facilidad de uso percibida). Por otra parte, con el objetivo de determinar el grado de motivación producido en los estudiantes por el uso de una metodología innovadora, basada en la

utilización de un recurso tecnológico de RA para la explicación de los conceptos clave de la asignatura, combinado con un sistema de evaluación digital adaptado, se ha tomado como referencia el "Cuestionario de Motivación de Materiales de Instrucción" o Instructional Materials Motivation Survey (IMMS). Con dicho cuestionario, propuesto por el experto en educación Keller (2010), se pretenden estimar las actitudes basadas en la motivación de los estudiantes, generadas durante el proceso de aprendizaje por el uso de recursos tecnológicos. Para ello, el cuestionario fue adaptado al caso concreto de estudio.

Esta dimensión, a su vez, está conformada por un total de 13 ítems (cuatro ítems para el indicador Atención, tres para el indicador Relevancia, tres para el indicador Confianza y otros tres para el indicador Satisfacción). Además de recoger información sobre las dos dimensiones mencionadas, nivel de motivación y grado de aceptación, también se añadió una tercera dimensión al instrumento, a la que se denominó inicialmente como grado de comprensión. La citada dimensión estaba representada por un solo indicador al que denominamos como facilidad percibida para entender conceptos clave que, a su vez, estaba compuesto por seis ítems.

En conjunto, el instrumento quedó conformado por un total de tres dimensiones, con siete indicadores y 35 ítems, a los que se añadieron variables categóricas relativas a los estudiantes y a los centros educativos como el sexo, la edad, la ubicación geográfica, etc. En el cuestionario, administrado en formato online, se planteaban a los estudiantes, cuestiones relacionadas tanto con la propia aplicación de RA, como con el sistema de evaluación que habían utilizado en clase. De esta manera, se cumple tanto con las recomendaciones sobre el diseño de instrumentos como con la ratio relativa a la cantidad mínima de observaciones que son necesarias en este tipo de estudios (Hair, Black, Babin y Anderson, 2018).

La redacción de las preguntas o ítems se efectuó teniendo en cuenta los criterios y recomendaciones establecidas por expertos educativos como Sáez (2017), para el diseño de esta clase de cuestionarios. En este sentido, en la redacción de la versión inicial del cuestionario, se tuvieron en cuenta una serie de cuestiones fundamentales: Con la administración del cuestionario, además de la opinión de los alumnos, también se pretendía conocer la actitud de los estudiantes relativa al uso de una metodología innovadora basada en la utilización de un recurso de RA y de un sistema de evaluación adaptado para la mejora en la comprensión de los conceptos clave de la asignatura. Según algunos autores como Sáez (2017), la actitud se puede considerar como un constructo que se puede observar objetivamente de manera directa, ya que la aptitud como rasgo psicológico se adquiere y estructura mediante la práctica, por lo que cada sujeto responde de una determinada manera ante estímulos concretos.

En este sentido, para obtener información relacionada con las actitudes de los alumnos, se utilizó una escala actitudinal, de manera que cada estudiante pudiera valorar sus respuestas a través de un sistema de valoraciones estructurado en intervalos entre las puntuaciones que conforman la escala. En concreto, se utilizó una escala actitudinal tipo Likert, graduada en intervalos de respuesta de 1 a 5, siendo 1 el valor mínimo que indica completo desacuerdo y 5 el valor máximo que indica completo acuerdo. Para la elección del número de respuestas a las preguntas, se tuvo en cuenta que con un mayor número de respuestas se obtendría una mayor fiabilidad en la escala. Por otra parte, y considerando el contexto y el nivel educativo al que

pertenecían la muestra de estudiantes que iban a participar en el estudio, también se tuvo en cuenta la necesidad de no incluir un número de respuestas elevado, para no superar la capacidad de discriminación de los alumnos a la hora de responder.

De acuerdo con los docentes consultados, se consideró también la necesidad de establecer un tiempo máximo para la cumplimentación del cuestionario de 20 minutos, tiempo considerado suficiente para que los estudiantes pudieran responder con calma al conjunto de las cuestiones planteadas. Para poder obtener evidencias que garantizaran la validez de contenido del instrumento creado *ad hoc*, por un lado, se realizó una revisión de la bibliografía relacionada con las descripciones sobre dimensiones e indicadores respectivamente (Davis, 1989; Keller, 2010).

Por otra parte, también se analizó la validez de contenido a través de un juicio de expertos. Para ello, se seleccionó a un grupo formado por 10 expertos con experiencia en diseño de instrumentos y análisis de datos, pertenecientes a especialidades en diferentes campos. La versión inicial del cuestionario conformada por 26 ítems, se envió al grupo de jueces expertos para su revisión y análisis (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones, indicadores e ítems del instrumento enviado al grupo de expertos.

Dimensiones	Indicadores	Ítems
Grado de motivación	Atención	1-4
	Confianza	5-7
	Satisfacción	8-10
	Relevancia	11-13
Nivel de aceptación de la tecnología de RA	Utilidad Percibida	14-17
	Facilidad de Uso Percibida	18-20
Grado de comprensión de conceptos clave	Facilidad Percibida para la comprensión de conceptos clave	21-26

Con el objetivo de poder determinar exactamente el nivel de competencia experta de los jueces a los que se pidió que analizaran el cuestionario actitudinal inicial, se utilizó el denominado "Coeficiente de Competencia Experta" o "Coeficiente K". Una vez analizadas las respuestas recibidas por los expertos a las preguntas planteadas y teniendo en cuenta el criterio establecido por autores como Cabero y Barroso (2013), de no considerar las opiniones de aquellos expertos cuyo Coeficiente de Competencia Experta (K) fuese inferior a 0,8 ($k < 0,8$), finalmente se consideraron las valoraciones efectuadas por nueve de los 10 expertos iniciales (Tabla 2).

Con la intención de valorar los análisis efectuados por el grupo de jueces expertos seleccionado, sobre el conjunto de los 26 ítems propuestos en la versión inicial del cuestionario, se optó por utilizar el coeficiente "V de Aiken" o "Aiken V coefficient". Propuesto por Aiken (1980), y utilizado durante los últimos años por expertos en investigaciones desarrolladas en diferentes campos como la psicología, la medicina o la educación (Sáez-López, Román-González y Vázquez-Cano, 2016).

Tabla 2. Valores del Coeficiente de competencia (K).

Experto	Coeficiente de conocimiento (Kc)	Coeficiente de argumentación (Ka)	Coeficiente de competencia experta (K)
1	0,90	1,00	0,95
2	0,90	0,90	0,90
3	0,80	0,80	0,80
4	0,80	1,00	0,90
5	0,60	0,70	0,65
6	0,90	0,90	0,90
7	0,80	1,00	0,90
8	0,80	1,00	0,90
9	0,80	1,00	0,90
10	0,90	1,00	0,95

Las conclusiones y los resultados obtenidos a través del análisis de las respuestas y las recomendaciones efectuadas por los expertos coinciden con los resultados del análisis de los datos obtenidos por las valoraciones efectuadas por el conjunto de jueces. Por lo tanto, teniendo en cuenta todo esto, se procedió a modificar la versión inicial del cuestionario, siguiendo las recomendaciones y los criterios establecidos por los expertos, obteniendo finalmente un cuestionario revisado y corregido, estructurado en tres dimensiones, siete indicadores y un total de 35 ítems:

- Dimensión: Grado de motivación. Indicadores: Atención (ítems 1 a 7), Confianza (ítems 8 a 11), Satisfacción (ítems 12 a 16) y Relevancia (ítems 17 a 21).
- Dimensión: Nivel de aceptación de la tecnología de RA. Indicadores: Utilidad percibida (ítems 22 a 26) y, Facilidad de Uso Percibida (ítems 27 a 30).
- Dimensión: Grado de comprensión de los conceptos clave. Indicadores: Facilidad percibida para la comprensión de conceptos clave (ítems 31 a 35).

Mediante el estudio actitudinal, se intentaba responder a las siguientes preguntas fundamentales: primero, si el uso de una metodología innovadora basada en un recurso de RA y en un sistema de evaluación adaptado, pueden generar un impacto sobre la motivación y sobre el grado de aceptación de la tecnología, y segundo, si el uso de tecnología basada en RA como recurso educativo complementario, favorece la comprensión de cualquier concepto clave, por parte de los estudiantes de asignaturas de Ciencias en general.

Una vez analizadas las respuestas de los estudiantes a las cuestiones que se les plantean en el cuestionario, se pudo establecer la fiabilidad del instrumento para determinar la consistencia interna del mismo. Con este fin, de acuerdo con expertos como Hair, Black, Babin y Anderson (2018) se ha utilizado el procedimiento de Alfa de Cronbach, ya que la escala del cuestionario utilizado es politómica.

Una vez analizados los resultados obtenidos e interpretado el Alfa global del instrumento, se obtuvo un valor de 0,980 (Alfa de Cronbach) de manera que, siguiendo

con el criterio descrito por autores como Sáez (2017), se puede considerar la consistencia interna del conjunto del instrumento como excelente, ya que el valor obtenido de Alfa $\geq 0,9$. En este sentido, hay que señalar también los excelentes valores parciales obtenidos para cada una de las dimensiones que configuran el instrumento: nivel de motivación, grado de aceptación de la tecnología de RA y grado de comprensión de conceptos clave, todos ellos, con valores de Alfa de Cronbach elevados: $\geq 0,9$.

3. Resultados

Siguiendo los criterios de relevantes expertos como Hair, Black, Babin, y Anderson (2018), para poder determinar la validez de constructo, y con el objetivo de establecer las posibles relaciones entre las variables y las dimensiones o factores, se realizó un Análisis Factorial Exploratorio (AFE) (Carrascal et al., 2023; Delgado, 2021). La utilización de este tipo de análisis está justificada teniendo en cuenta que, uno de los objetivos planteados mediante la realización del estudio actitudinal, es la pretensión de averiguar de manera exploratoria la estructura interna del cuestionario a través de sus componentes principales y determinar la existencia de otros posibles factores en su estructura subyacente. Con la pretensión de verificar la idoneidad de utilizar este tipo de análisis estadístico concreto, previamente se comprobaron los coeficientes de la matriz de correlaciones, comprobándose de esta manera las relaciones entre los pares de variables. Para ello, se utilizó la prueba o test de esfericidad de Bartlett y el índice de la prueba de Kaiser Meyer Olkin (KMO) para la medida de adecuación de muestreo, obteniendo un valor de 0.000 ($p < 0.05$) en el primer caso y un valor de 0.956 ($p > 0.5$) en el segundo caso. Así se pudo verificar que se cumplían todas las condiciones para poder efectuar un AFE.

Posteriormente y una vez comprobado que se cumplían las condiciones necesarias, se procedió a realizar el análisis factorial a través del método de Componentes Principales, mediante el cual el primer factor permite explicar la mayor parte de la varianza de las variables. Una vez determinado el primer factor, sobre el resto de la variabilidad disponible, se seleccionaron los demás factores. Debido a que la interpretación de los factores en ocasiones no es sencilla, ya que éstos correlacionan con múltiples variables, se ha utilizado la rotación Varimax, con el objetivo de conseguir que, en la medida de lo posible, cada uno de los factores seleccionados estuviera representado fuertemente por un conjunto de variables específicas y así poder hacer más sencilla la interpretación de su significado en términos teóricos. Mediante la aplicación de este método, inicialmente, se obtuvieron cuatro factores principales.

Teniendo en cuenta las evidencias resultantes del análisis de los datos incluidos en la Tabla 3, se pudo comprobar la conveniencia de extraer sólo tres factores principales. Se consideró que este número de factores era suficiente ya que reduce notablemente la cantidad de factores iniciales, pero también porque permite explicar prácticamente el 70% del total de la varianza.

Considerando los criterios establecidos por relevantes expertos en el campo de la medición como Abad et al. (2011), si se extraen un número mayor de factores de los necesarios, puede suceder que una única variable represente a varios de ellos, aunque suele mantenerse la estructura adecuada.

Tabla 3. Factores principales y total de varianza explicada.

Compo- nente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de va- rianza	% acumu- lado	Total	% de varianza	% acumu- lado	Total	% de varianza	% acu- mulado
1	21,361	61,033	61,033	21,361	61,033	61,033	11,453	32,722	32,722
2	1,774	5,068	66,101	1,774	5,068	66,101	9,563	27,324	60,046
3	1,072	3,063	69,165	1,072	3,063	69,165	3,191	9,119	69,165
4	1,039	2,967	72,132						
5	,829	2,367	74,499						
6	,787	2,248	76,747						
7	,739	2,111	78,858						
8	,622	1,778	80,636						
9	,542	1,549	82,185						
10	,535	1,528	83,714						
11	,514	1,468	85,182						
12	,471	1,346	86,527						
13	,414	1,182	87,709						
14	,353	1,010	88,719						
15	,346	,988	89,708						
16	,322	,921	90,628						
17	,321	,918	91,547						
18	,290	,830	92,377						
19	,267	,764	93,140						
20	,232	,664	93,804						
21	,230	,657	94,461						
22	,222	,634	95,095						
23	,208	,595	95,690						
24	,205	,585	96,275						
25	,180	,513	96,788						
26	,164	,470	97,258						
27	,163	,465	97,723						
28	,138	,395	98,118						
29	,121	,347	98,465						
30	,116	,331	98,796						
31	,107	,305	99,101						
32	,096	,274	99,375						
33	,084	,239	99,614						
34	,071	,203	99,817						
35	,064	,183	100,000						

Por otra parte, la elección de tres factores principales se justifica ya que la selección de un cuarto factor no incrementaría notablemente el ajuste del modelo, pero sí introduciría un elemento de complejidad mayor para su correcta interpretación. Para la interpretación de los factores obtenidos se han tenido en cuenta las recomendaciones de expertos como Lorenzo-Seva y Ferrando (2013) que consideran que cada factor debe estar representado al menos por dos elementos o ítems relacionados teóricamente.

Se estudiaron las variables que correlacionaban en mayor grado con cada uno de los citados factores para poder ponerlos nombre. Los resultados obtenidos en el análisis efectuado, permiten nominar los factores (componentes), como se detalla a continuación:

- Primer Factor: Nivel de motivación.
- Segundo Factor: Grado de aceptación de la tecnología de RA.
- Tercer Factor: Grado de aceptación de sistema de evaluación digital adaptado.

Mediante el estudio descriptivo de los ítems que conforman el cuestionario se ha podido analizar con un alto nivel de detalle las valoraciones efectuadas por el conjunto de estudiantes. El análisis detallado de los datos obtenidos a través de las respuestas ofrecidas por los estudiantes, revela promedios en las puntuaciones superiores a la media teórica de la escala, en las tres dimensiones que conforman el cuestionario.

Los estudiantes opinan que, el uso habitual de recursos tecnológicos inmersivos complementarios basados en RA, por parte de los docentes, redundaría en una mejora de su rendimiento académico, debido principalmente a que perciben una mayor facilidad en el grado de comprensión de los conceptos clave que les explica su profesor, en comparación con otras metodologías que utilizan el libro de texto o incluso tecnologías no inmersivas. Similares valoraciones obtienen también el método digital adaptado que se ha aplicado a los alumnos para la evaluación de sus conocimientos adquiridos, de manera que los estudiantes consideran importante la utilización de este sistema como método necesario y complementario al uso de un recurso tecnológico inmersivo como la RA, para mejorar tanto su rendimiento académico como también sus calificaciones. Por lo tanto, tras el análisis de los ítems efectuados, se ha podido comprobar la funcionalidad del cuestionario para detectar y determinar la opinión de los alumnos relativa al uso de una metodología educativa innovadora, basada en la combinación de un recurso de RA y de un sistema de evaluación digital adaptado.

Para profundizar en el análisis de las valoraciones efectuadas por los estudiantes, se analizó también la homogeneidad en las respuestas dadas a cada uno de los ítems. Los datos obtenidos, en este caso, constituyen un indicador de la fiabilidad de las citadas valoraciones. Esto, a su vez, permite determinar la relevancia del instrumento para conocer cuáles son los aspectos más robustos relacionados con el uso de un recurso educativo basado en tecnología de RA, combinado con un sistema de evaluación digital adaptado, como pilares esenciales de una metodología educativa innovadora.

En este sentido, cabe destacar que el análisis de los datos obtenidos de las respuestas de los estudiantes mostró valores bajos en las desviaciones típicas relativas a las valoraciones efectuadas por los alumnos, tanto en las valoraciones parciales de cada uno de los ítems, como en el promedio del conjunto de las mismas. Todo ello, indicó la existencia de una homogeneidad media en cuanto a las respuestas obtenida, lo que, a su vez, mostraba una evidente uniformidad en las respuestas, en cuanto a la opinión que tienen los estudiantes sobre el uso de la metodología educativa innovadora que se utilizó en el caso concreto en este estudio.

Por todo lo expuesto, el análisis efectuado sobre las respuestas ofrecidas por los estudiantes ha permitido comprobar la funcionalidad del cuestionario como instrumento válido para conocer su opinión. Adicionalmente, también ha permitido determinar tanto los aspectos más robustos, como los más vulnerables en cuanto al uso de una metodología educativa innovadora concreta, basada en el uso de recursos tecnológicos con fines educativos y evaluativos, como uno de los objetivos fundamentales de este estudio.

4. Conclusiones

El análisis de los datos obtenidos en este estudio sobre la estructura factorial del cuestionario administrado a los estudiantes, revelan la existencia de un factor, relativo al grado de aceptación de los sistemas de evaluación digitales, adaptados al uso de recursos tecnológicos educativos basados en RA, valorado de manera positiva por los participantes en el estudio en general. Los datos constatan que el conjunto de los tres factores formados por: el nivel de motivación, el grado de aceptación tecnológico y el grado de aceptación de un sistema de evaluación digital adaptado, representan mejor la estructura de los datos como constructo (Carrascal et al., 2023; Delgado, 2021). Estos datos sugieren la necesidad de incorporar los sistemas de evaluación adaptados como parte de las estrategias metodológicas educativas que se basan en el uso de tecnología educativa en general y de recursos inmersivos basados en RA de manera particular. Este hallazgo es congruente con la hipótesis propuesta por expertos en tecnología digital como Livingstone (2012) y sugerida por informes publicados por organismos internacionales (OCDE, 2015) y mantenida por expertos educativos como Nieto (2016); Blázquez, Alonso y Yuste (2017) en términos de posibilitar un efecto positivo producido por el uso de una metodología innovadora en combinación con un sistema de evaluación digital y adaptado, de manera que permiten inducir cambios metodológicos profundos que favorecen la mejora de los procesos de enseñanza aprendizaje en las asignaturas de Ciencias. Dichos cambios se basan en la adquisición de habilidades concretas y estrategias específicas, relacionadas con el recurso tecnológico educativo, que de otra manera no pueden producirse ni cuantificarse de manera eficaz y efectiva con sistemas de evaluación de corte tradicional.

La principal contribución de la investigación consiste en que los hallazgos obtenidos permiten validar empíricamente la hipótesis central del modelo teórico planteado. Esta hipótesis se fundamenta en que el uso de una metodología educativa innovadora, basada en el uso combinado de un recurso inmersivo de RA y de un sistema digital de evaluación adaptado, produce mejoras y ganancias en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de Ciencias de Educación Secundaria Obligatoria.

Estos hallazgos, aportan evidencia empírica y vienen a completar el vacío existente actualmente en la bibliografía señalado por autores como Alkhatabi (2017); Cabero-Almenara et al. (2019) y Fombona y Pascual (2017), en cuanto a las características concretas que deben caracterizar a las metodologías activas educativas basadas en recursos tecnológicos inmersivos y a la necesidad de incorporar sistemas de evaluación digitales integrados en las citas metodologías.

El nivel de dificultad que implica el diseño, desarrollo e implementación de una metodología educativa innovadora basada en el uso de recursos tecnológicos, supone que los datos obtenidos mediante el proceso de investigación deban de ser ampliados con el desarrollo de otras investigaciones complementarias. Los estudios que se realicen, deberán incluir un Análisis Factorial Confirmatorio (AFC), con el objetivo principal de verificar con resultados adicionales el grado de ajuste del modelo propuesto en este estudio. En este sentido, cabe señalar que, debido a las características intrínsecas propias de este tipo de estudios, a la complejidad en su diseño, al acceso a los grupos de sujetos que conforman la muestra seleccionada, etc., la investigación se ha desarrollado íntegramente en centros educativos ubicados únicamente en la región de Cantabria. Se considera necesario poder comparar los datos obtenidos en este estudio con los que se puedan obtener de su desarrollo en otros territorios y también con otras muestras de estudiantes y en otros centros educativos diferentes.

5. Referencias

- Abad, F., Olea, J., Ponsoda, V., y García, C. (2011). *Medición en ciencias sociales y de la salud*. Síntesis.
- Aiken, L. (1980). Content Validity and Reliability of Single Items or Questionnaires. *Educational and Psychological Measurement*, 40(4), 955-959.
<https://doi.org/10.1177/001316448004000419>
- Akçayır, M., Akçayır, G., Miraç, H., y Akif, M. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samraie, H., Yousef, R., Alzahrani, A., y Sarsam, S. (2020). Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization among Primary School Teachers: A Developing Country Perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66(100876).
<https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100876>
- Alkhatabi, M. (2017). Augmented Reality as E-learning Tool in Primary Schools' Education: Barriers to Teachers' Adoption. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 12(2), 91-100.
<https://doi.org/10.3991/ijet.v12i02.6158>
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., y Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Educational Technology & Society*, 17(4), 133-149.
- Blázquez, F., Alonso, L., y Yuste, R. (2017). *La evaluación en la era digital*. Síntesis.
- Brown, M., McCormack, M., Reeves, J., Brooks, C., Grajek, G., Alexander, B., Bali, M., Bulger, S., Dark, S., Engelbert, N., Gannon, K., Gauthier, A., Gibson, D., Gibson, R., Lundin, B., Veletsianos, G., y Weber, N. (2020). *2020 EDUCAUSE Horizon Report, Teaching and Learning Edition*. Louisville, CO: EDUCAUSE. <https://library.educause.edu>
- Cabero, J., y Barroso, J. (2013). La utilización del Juicio de Experto para la evaluación de TIC: El Coeficiente de Competencia Experta. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 65(2), 25-38.
<https://doi.org/10.13042/brp.2013.65202>

- Cabero, J., Barroso, J., y Gallego, Ó. (2018). La producción de objetos de aprendizaje en realidad aumentada por los estudiantes. Los estudiantes como prosumidores de información. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*(11), 15-16. Obtenido de <https://tecnologia-ciencia-educacion.com/index.php/TCE/article/view/221>
- Cabero, J., Leiva, J., Moreno, N., Barroso, J., y López, E. (2016). *Realidad Aumentada y educación. innovación en contextos formativos* (1ª ed.). Octaedro.
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C., y Fernández, M. (2019). Educational Uses of Augmented Reality (AR): Experiences in Educational Science. *Sustainability*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11184990>
- Cai, S., Chiang, F.-K., Sun, Y., Lin, C., y Lee, J. (2017). Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction. *Interactive Learning Environments*, 25(6), 778–791. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1181094>
- Carrascal, S., Delgado-Rodríguez, S., y García-Fandiño, R. (2023). Design, Development and Validation of an Educational Methodology Using Immersive Augmented Reality for STEAM Education. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 12(1), 19-39. <https://doi.org/10.7821/naer.2023.1.1250>
- Davis, F. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Delgado, S. (2021). *Diseño, desarrollo y validación de un modelo metodológico educativo basado en software inmersivo de Realidad Aumentada como recurso didáctico. Mejora en el aprendizaje de ciencias en Educación Secundaria* (Tesis Doctoral). Universidad Camilo José Cela, Madrid, España. www.ucjc.edu
- Fombona, J., y Pascual, M. (2017). La producción científica sobre Realidad Aumentada, un análisis de la situación educativa desde la perspectiva SCOPUS. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 6(1), 39-61. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v6i1.5807>
- Hair, J., Black, W., Babin, B., y Anderson, R. (2018). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Cengage Learning, EMEA.
- Han, J., Jo, M., Hyun, E., y So, H.-j. (2015). Examining young children's perception toward augmented reality-infused dramatic play. *Education Technology Research Development*, 63(3), 455-474. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9374-9>
- Herpich, F., Fernanda da Silva, P., y Rockenbach, L. (2021). Efecto de las interacciones de estudiantes de ciencias con laboratorios virtuales de realidad aumentada para el desarrollo de visualización espacial. *Revista Latinoamericana De Tecnología Educativa - RELATEC*, 20(2), 29-47. <https://doi.org/10.17398/1695-288X.20.2.29>
- Keller, J. (2010). *Motivational Design for Learning and Performance. The ARCS Model Approach*. Springer.
- Kim, K., Hwang, J., Zo, H., y Hwangsoo, L. (2014). Understanding users' continuance intention toward smartphone augmented reality applications. *Information Development*, 32(2), 161-174. <https://doi.org/10.1177/0266666914535119>
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford Review of Education*, 38(1), 9-24.
- Lorenzo-Seva, U., y Ferrando, P. J. (2013). Factor 9.2: A comprehensive program for fitting exploratory and semiconfirmatory factor analysis and IRT models. *Applied Psychological Measurement*, 37(6), 497–498. <https://doi.org/10.1177/0146621613487794>
- Nieto, E. (2016). El papel de las tecnologías en el desarrollo de los aprendizajes y en la mejora del rendimiento académico. En M. Rodríguez, E. Nieto, y R. Sumozas, *Las tecnologías en educación. Hacia la calidad educativa* (pp. 17-33). Síntesis.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2015). *Students, Computers and Learning: Making the*

- Connection*. PISA, OECD Publishing.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- Pelletier, K., Brown, M., Brooks, D., McCormack, M., Reeves, J., Arbino, N., Bozkurt, A., Crawford, S., Czerniewicz, L., Gibson, R., Linder, K., Mason, J., y Mondelli, V. (2021). *2021 EDUCAUSE Horizon Report, Teaching and Learning Edition*. Boulder, CO: EDUCAUSE Publications.
<https://library.educause.edu>
- Prendes, C. (2015). Realidad Aumentada en educación: Análisis de experiencias prácticas. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*(46), 187-203.
<https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Sáez, J. (2017). *Investigación educativa. Fundamentos teóricos, procesos y elementos prácticos* (1ª ed.). UNED.
- Sáez-López, J., Román-González, M., y Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using "Scratch" in five schools. *Computers & Education*, 97, 129-141.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.003>
- Tarng, W., Ou, K.-L., Lu, Y.-C., Shih, Y.-S., y Liou, H.-H. (2018). A Sun Path Observation System Based on Augment Reality and Mobile Learning. *Mobile Information Systems*, 2018, 1-10.
<https://doi.org/10.1155/2018/5950732>